

ecoscienza

SOSTENIBILITÀ E CONTROLLO AMBIENTALE

Rivista di Arpae
Agenzia regionale
prevenzione, ambiente ed energia
dell'Emilia-Romagna
N° 5/6, dicembre 2022, anno XIII

UNA NUOVA CONSAPEVOLEZZA SU ARIA E SALUTE

DAGLI STUDI SUGLI EFFETTI
DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO
ALLE LINEE GUIDA OMS

LA PROPOSTA DI NUOVA
DIRETTIVA EUROPEA

LE RELAZIONI CON IL
CAMBIAMENTO CLIMATICO

PROGETTO PULVIRUS
I RISULTATI DEGLI STUDI SU
COVID-19 E INQUINAMENTO





**“E SE IL CAMMINO VERSO
UN DOMANI PIÙ SOSTENIBILE
INIZIASSE GIÀ DA OGGI?”**

**Agenda 2030:
ci stiamo lavorando,
facciamolo insieme.**

Scopri la strategia regionale su:
www.regione.emilia-romagna.it/agenda2030

DALLA POLICRISI AI COBENEFICI

Giuseppe Bortone • Direttore generale Arpae Emilia-Romagna



“Policrisi” è una delle parole indicate dal network radio Npr (Usa) tra quelle che saranno più utilizzate nel 2023 a livello globale. Non si tratta di un bel segnale, visto che il concetto, piuttosto chiaro, è quello di una situazione che mette insieme emergenze sanitarie globali, cambiamento climatico, crisi economiche, incertezze geopolitiche, crescenti diseguaglianze. Il termine non è nuovo, fu utilizzato per la prima volta dal filosofo Edgar Morin nel 1999, ma come spesso accade la società non ha subito colto la realtà di una situazione preoccupante. Ripreso nel 2016 dall’allora presidente della Commissione europea Jean-Claude Juncker per descrivere il problematico stato dell’Unione europea, recentemente è stato riportato in auge a livello internazionale dallo storico dell’economia (e opinionista molto seguito sui temi della situazione finanziaria e politica internazionale) Adam Tooze e anche al recente forum internazionale di Davos è stato spesso utilizzato.

Non è un caso che l’accezione originale di Morin prendesse spunto dal mondo naturale e dalla crisi ambientale: sappiamo bene infatti che in campo ambientale le interconnessioni sono molto forti e ancora di più se estendiamo lo sguardo alla relazione tra stato dell’ambiente, salute e benessere umano. Il paradigma che si sta delineando per affrontare una crisi che interessa tanti ambiti diversi è quello del *Planetary Health*, che fissa come priorità la salute integrale e olistica del pianeta. È un concetto che evolve dall’approccio *One Health*, che metteva insieme salute

umana e salute animale (dalla tutela della biodiversità all’attenzione per la medicina veterinaria) prevalentemente per la prevenzione delle zoonosi, e dall’approccio *Eco Health*, che richiede un’attenzione più ampia alla salute degli ecosistemi.

L’obiettivo è sempre quello di un maggiore benessere umano, ma includendo la riflessione sui limiti del pianeta e sulla possibilità del sistema naturale di rigenerarsi e di garantire per il futuro il mantenimento di condizioni ottimali per la vita.

Nell’affrontare le sfide che ci troviamo davanti, dobbiamo sempre più fare scelte che puntano ai cobenefici: nella dimensione della policrisi, nella dimensione olistica della *Planetary Health* non è più possibile (se mai lo è stato) affrontare i problemi uno alla volta, ma occorre orientarsi a strategie che portano benefici su dimensioni diverse. Per restare nel campo ambientale, il superamento del sistema basato sui combustibili fossili può portare benefici al clima (riducendo le emissioni di gas serra), alla qualità dell’aria (eliminando molti inquinanti, minimizzando le combustioni), alla tutela della biodiversità (se si riesce a creare forme di energia che richiedono minore uso di risorse, di consumo del territorio e di spostamento da una parte all’altra del pianeta). Insomma, per rispondere alle policrisi occorre trovare delle soluzioni integrate, abbracciare la complessità intrinseca in tutti i sistemi e tenere in considerazione i tanti saperi scientifici che ci hanno portato nel tempo a conoscere meglio i meccanismi di funzionamento dei singoli

aspetti e le interrelazioni sistemiche. Un cambiamento epocale dei percorsi formativi delle nostre nuove generazioni, per il mondo della scienza che deve avere la capacità di integrare le specializzazioni con la visione multisettoriale e per i decisori politici nell’attuare le strategie.

C’è un altro neologismo balzato recentemente all’attenzione internazionale, tanto da essere indicato come “parola dell’anno 2022” dal dizionario inglese Collins: “permacrisi”. Il rischio concreto è che l’incapacità di adottare soluzioni e strategie di largo respiro ci faccia restare in una situazione in cui le molteplici crisi si prolungano per lungo tempo rendendo sempre più difficile uscirne prima che altre criticità insorgano.

Le società hanno già dimostrato che collaborando e mettendo in comune risorse e capacità è possibile raggiungere risultati eccezionali in tempi inaspettati. Come le crisi di diversa natura sono diventate sempre più tra loro correlate, così lo dovranno essere anche le risposte.

Consiglio a tutti la visione di una delle recenti puntate di “Caro Marziano” di Pif su Rai 3, con la storia di Genny, un ragazzino di 11 anni premiato come Alfiere della Repubblica dal Presidente Mattarella per aver convinto quaranta famiglie a unirsi per dare vita a un progetto di comunità energetica che, oltre al tema ambientale delle fonti rinnovabili e a un concreto risparmio in bolletta, offre al quartiere di San Giovanni a Teduccio, a Napoli, un’importante occasione di coesione sociale. Ripartiamo da lì!





ISSN 2039-0424

Rivista di Arpae
Agenzia regionale
prevenzione, ambiente ed
energia dell'Emilia-Romagna

Numero 5/6 • Anno XIII
Dicembre 2022

arpae
agenzia
prevenzione
ambiente energia
emilia-romagna

DIRETTORE
Giuseppe Bortone

DIRETTORE RESPONSABILE
Stefano Folli

Segreteria:
Ecoscienza, redazione
Via Po, 5 40139 - Bologna
Tel 051 6223887
ecoscienza@arpae.it

In redazione:
Daniela Merli
Barbara Galzigna

Progetto grafico
Miguel Sal & C.

COMITATO EDITORIALE
Coordinatore

Erierto De' Munari

Impaginazione,
grafica e copertina
Mauro Cremonini (Odova srl)

Paola Angelini

Raffaella Angelini

Giuseppe Battarino

Vito Belladonna

Francesco Bertolini

Gianfranco Bologna

Giuseppe Bortone

Roberto Coizet

Nicola Dall'Olio

Paolo Ferrecchi

Matteo Mascia

Michele Munafò

Giancarlo Naldi

Giorgio Pineschi

Attilio Raimondi

Karl Ludwig Schibel

Andrea Segrè

Stefano Tibaldi

Alessandra Vaccari



Tutti gli articoli, se non altrimenti specificato,
sono rilasciati con licenza Creative Commons
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Chiuso in redazione: 30/01/2023

Stampa su carta
Cocoon Offset



RICICLATO
Carta prodotta da
materiale riciclato
FSC® C107186

SOMMARIO

- 3 **Editoriale**
Dalla policrisi ai cobenefici
Giuseppe Bortone

Qualità dell'aria

- 6 **Le nuove linee guida Oms sulla qualità dell'aria**
Andrea Ranzi
- 9 **Aria e salute, al via un nuovo progetto in Emilia-Romagna**
- 10 **Le linee guida Oms sulla qualità dell'aria**
- 12 **La nuova proposta di direttiva europea sull'aria**
Giorgio Cattani, Guido Lanzani, Vanes Poluzzi
- 15 **Le relazioni tra clima e inquinamento atmosferico**
Lara Aleluia Reis
- 18 **Nuove evidenze su inquinamento e salute**
Pier Mannuccio Mannucci
- 20 **Inquinamento atmosferico e cambiamenti climatici**
Sandro Fuzzi
- 23 **Clima e aria, uno studio sulla mortalità prematura**
Melania Michetti, Antonio Piersanti
- 26 **L'esposizione a inquinanti a basse concentrazioni**
Massimo Stafoggia
- 29 **Veg-Gap, un progetto per clima e aria migliori in città**
Valeria Stacchini
- 32 **I vantaggi della vegetazione sulla qualità dell'aria**
Giulia Carriero, Rita Baraldi, Osvaldo Facini, Luisa Neri
- 34 **L'aria in Emilia-Romagna, le criticità negli ultimi anni**
Chiara Agostini, Simona Maccaferri, Vanes Poluzzi
- 38 **Il trend dell'ozono in Emilia-Romagna**
Simona Maccaferri, Chiara Agostini, Vanes Poluzzi
- 46 **Aria in Emilia-Romagna, cosa pensano i cittadini?**
Marco Ottolenghi, Michele Bartolomei, Gianluca Iannuzzi
- 49 **L'impegno dell'associazione dei medici per l'ambiente**
Eva Rigonat, Claudia Paoletti, Martino Abrate, Daria Scarciglia, Giuseppe Albertini, Paolo Lauriola
- 51 **Una migliore integrazione tra salute e ambiente**
Alessandro Miani, Prisco Piscitelli
- 54 **Ora serve un cambiamento di linea significativo**
Davide Ferraresi

Progetto Pulviris

- 56 **Un'alleanza scientifica per il futuro nata in tempi drammatici**
- 57 **Qualità dell'aria in Italia, gli effetti del lockdown**
Obiettivo 1
- 60 **Lockdown e variazioni delle emissioni inquinanti**
Obiettivo 2
- 64 **L'analisi delle simulazioni con modelli di calcolo**
Obiettivo 2
- 67 **Covid-19 e composizione degli inquinanti nell'aria**
Obiettivo 3
- 72 **Post lockdown, gli effetti delle misure anti Covid-19**
Obiettivo 3
- 74 **La variazione di CO₂ a Lampedusa nel lockdown**
Obiettivo 4.1
- 77 **Covid-19, economia ed energia in Italia, quale impatto?**
Obiettivo 4.2
- 80 **Quello strano rapporto fra coronavirus e particolato**
Obiettivo 5
- 83 **Interazioni tra particolato e virus Sars-Cov-2**
Obiettivo 5.1
- 86 **Protocolli operativi e sistemi di allerta precoce**
Obiettivo 6

Attualità

- 88 **Snpa**
Crisi energetica, rischi e opportunità per l'ambiente
- 90 **Gestione delle crisi idriche nel bacino di Ridracoli**
Jessica Amadio, Emanuele Romano, Andrea Duro
- 92 **Disastri e dissesto? Urgente cambiare paradigma**
Francesco Malucelli, Paolo Tamburini
- 94 **La mitigazione della conflittualità ambientale**
Stefano Martello
- 96 **La relazione conclusiva della Commissione bicamerale d'inchiesta sulle ecomafie**

Rubriche

- 98 **Legislazione news**
100 **Osservatorio ecreati**
101 **Mediateca**

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

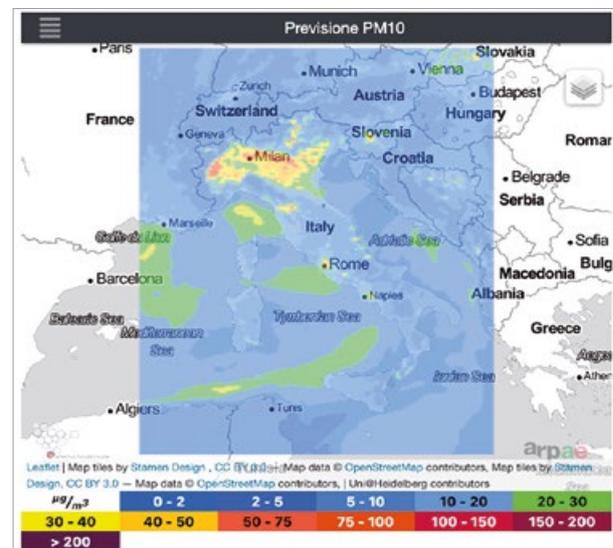
DISPONIBILI LE PREVISIONI SULLA QUALITÀ DELL'ARIA SU TRE GIORNI IN TUTTA ITALIA

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

<p>BC/EC (black carbon/ carbonio elementare)</p>	<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.
<p>Ufp (particelle ultrafini)</p>	<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.
<p>Sds (particelle derivanti da tempeste di polvere e sabbia)</p>	<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:

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

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

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

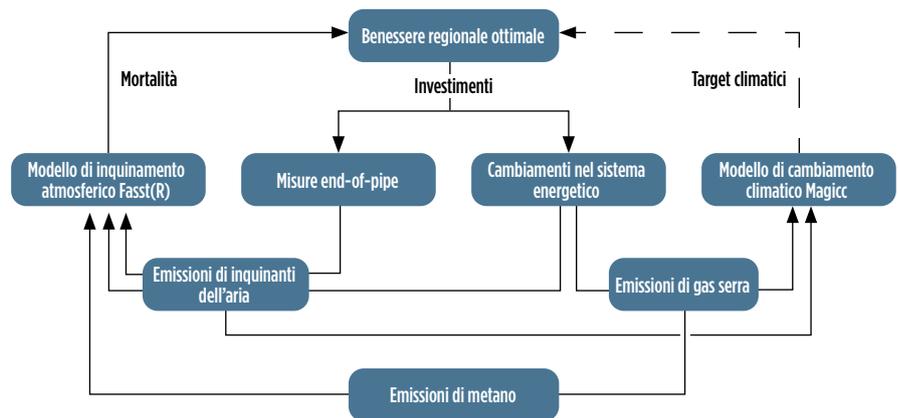


FIG. 1 MODELLO WITCH

Il modello di valutazione integrata Witch (*World induced technical change hybrid*), collegato al modello climatico Magicc e al modello sull'inquinamento atmosferico Fasst(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

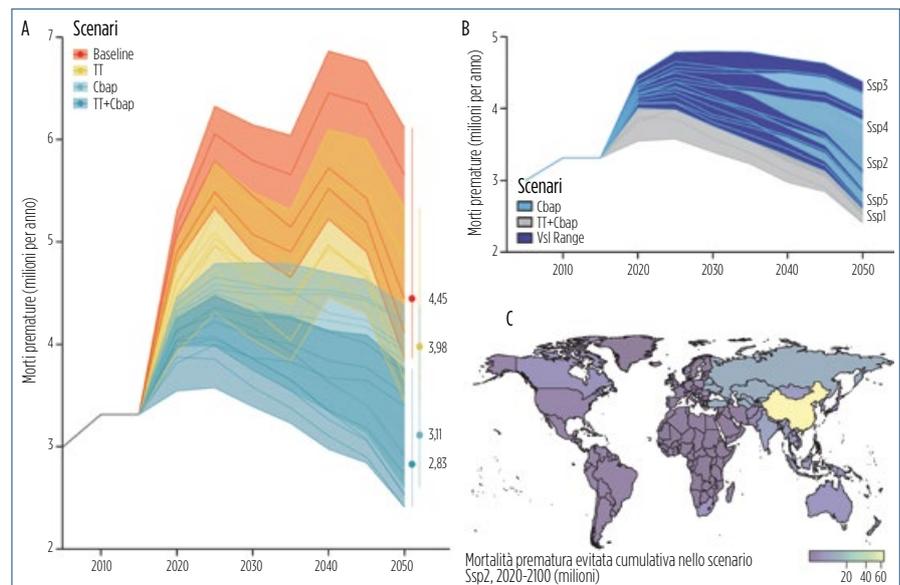


FIG. 2 INQUINAMENTO ATMOSFERICO E MORTALITÀ PREMATURA

(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 Ssp) 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

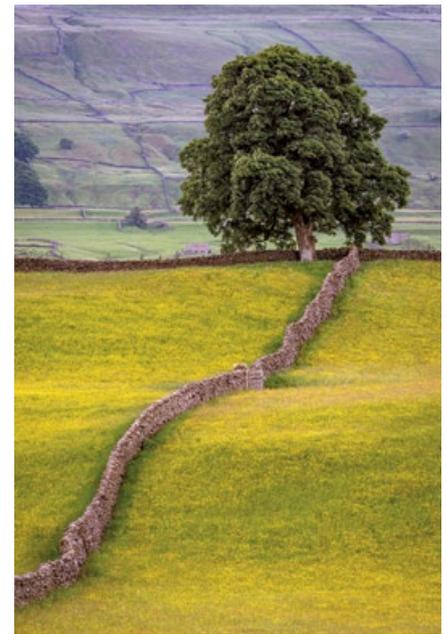
questo tipo di azioni può evitare circa 1,62 milioni di morti premature, a livello globale al 2050, un numero tre volte superiore a quello dei soli co-benefici climatici. Ciò significa che in un quadro di massimizzazione del benessere, le informazioni sulle esternalità sono importanti e spingono i responsabili 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,

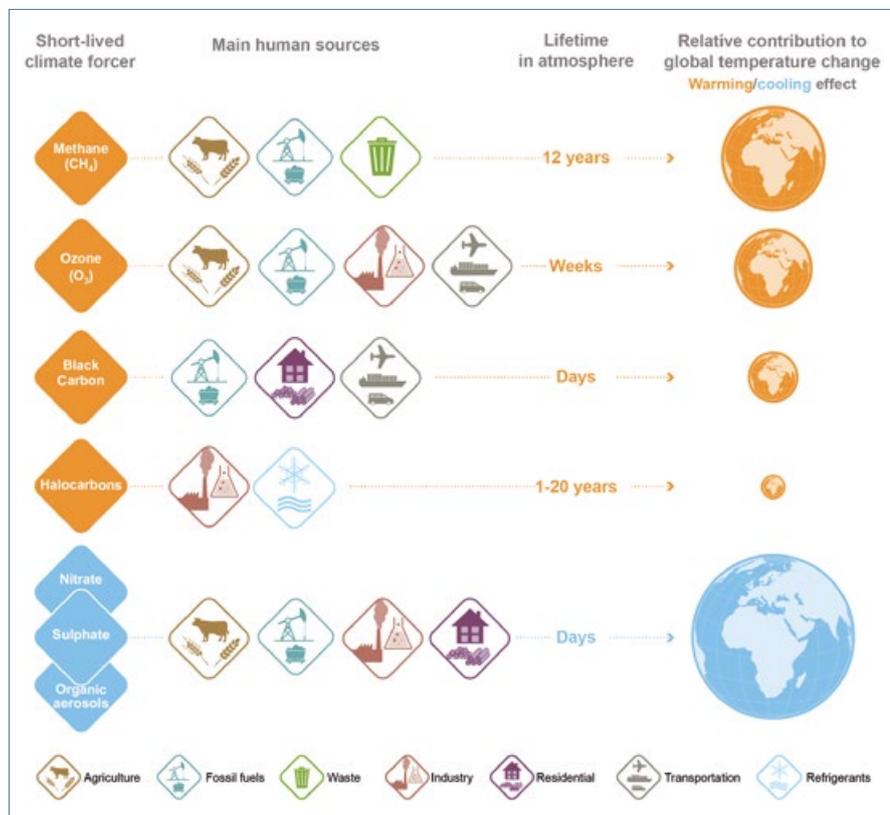


FIG. 1 FORZANTI DI BREVE DURATA
Principali *short-lived climate forcers* (Slcf), loro sorgenti, tempo di permanenza in atmosfera e loro contributo al cambiamento di temperatura della Terra (area del globo terrestre) nel periodo dal 1750 (convenzionalmente preso come l'inizio della rivoluzione industriale) 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 *win-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 *win-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.



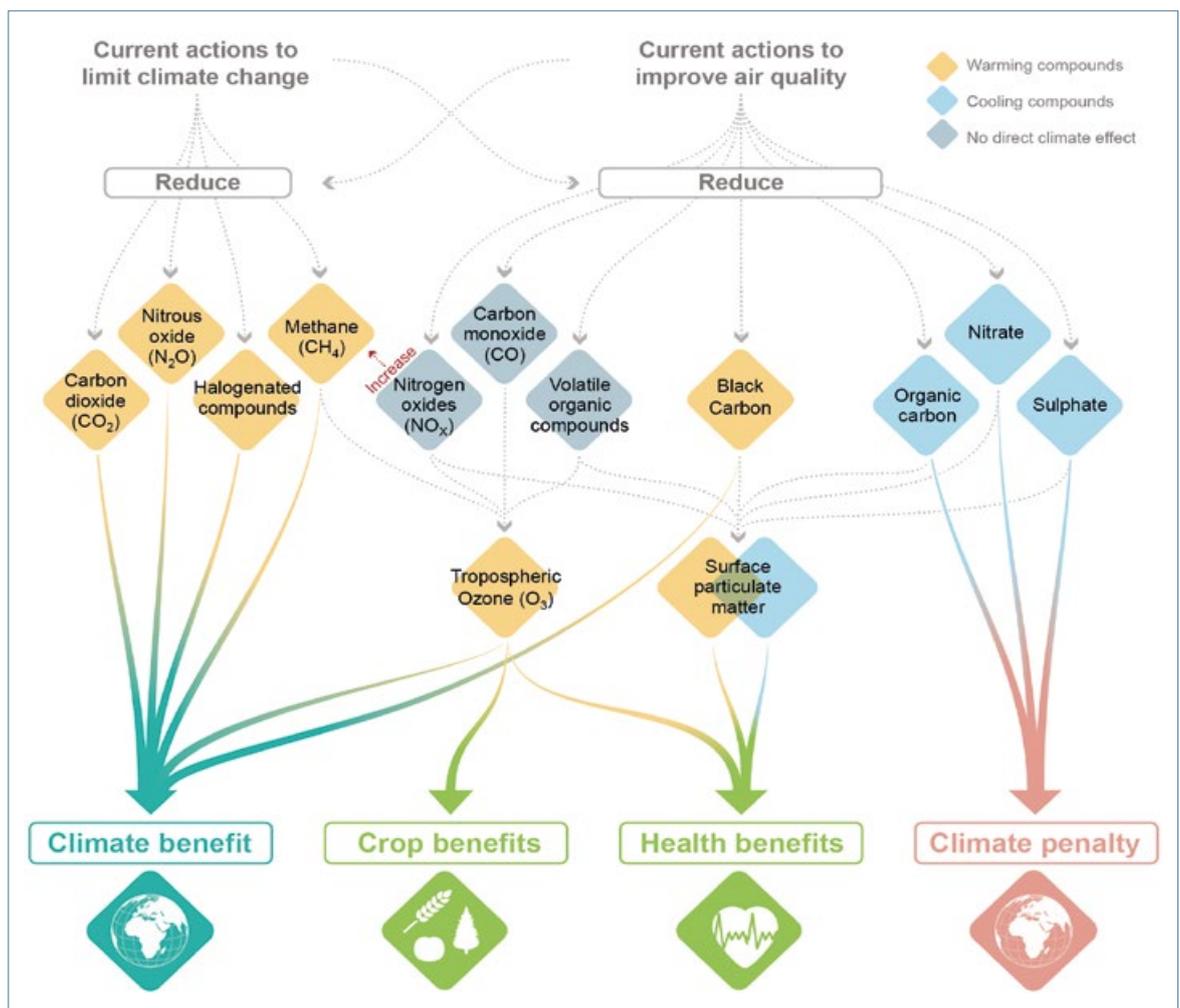
Il caso del metano

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].

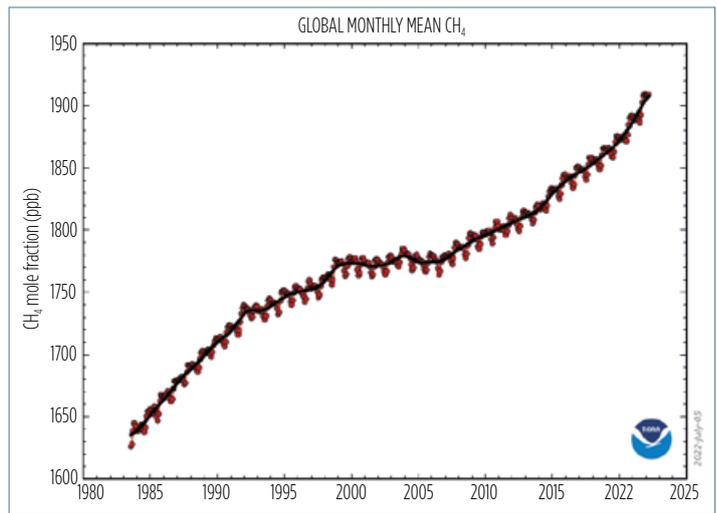
Sandro Fuzzi

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.

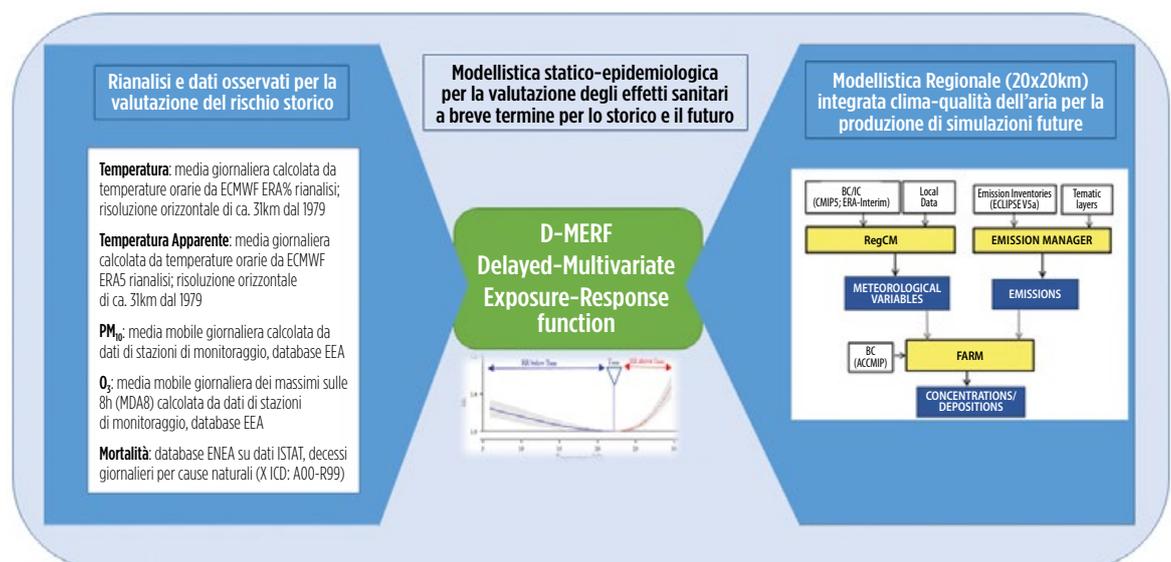
Valutazione degli effetti sulla salute umana

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

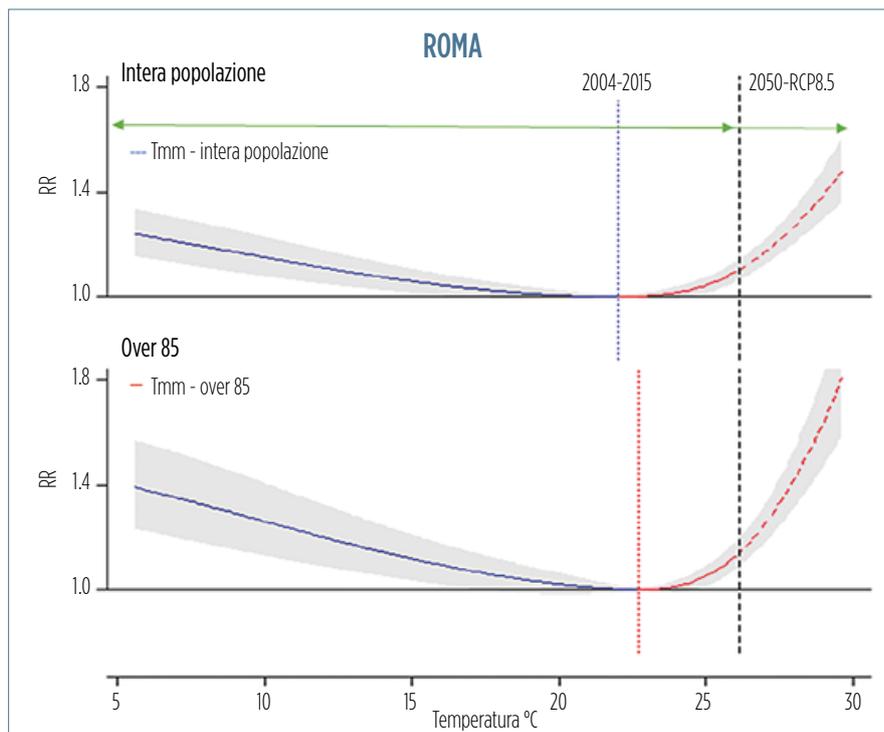


FIG. 2 STORICO E SCENARI ROMA

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.

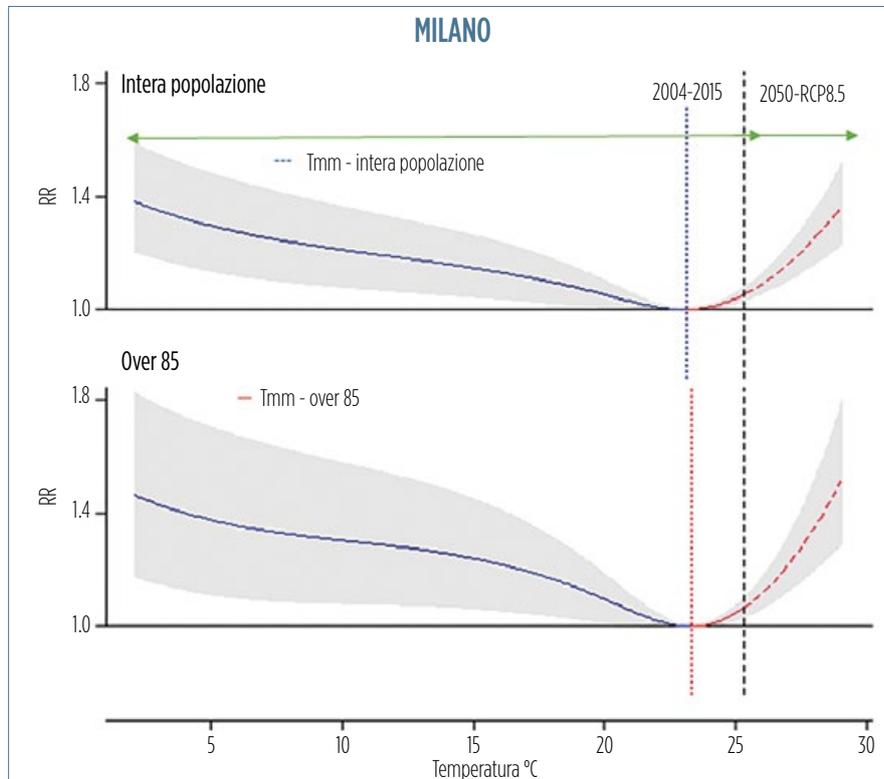


FIG. 3 STORICO E SCENARI MILANO

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

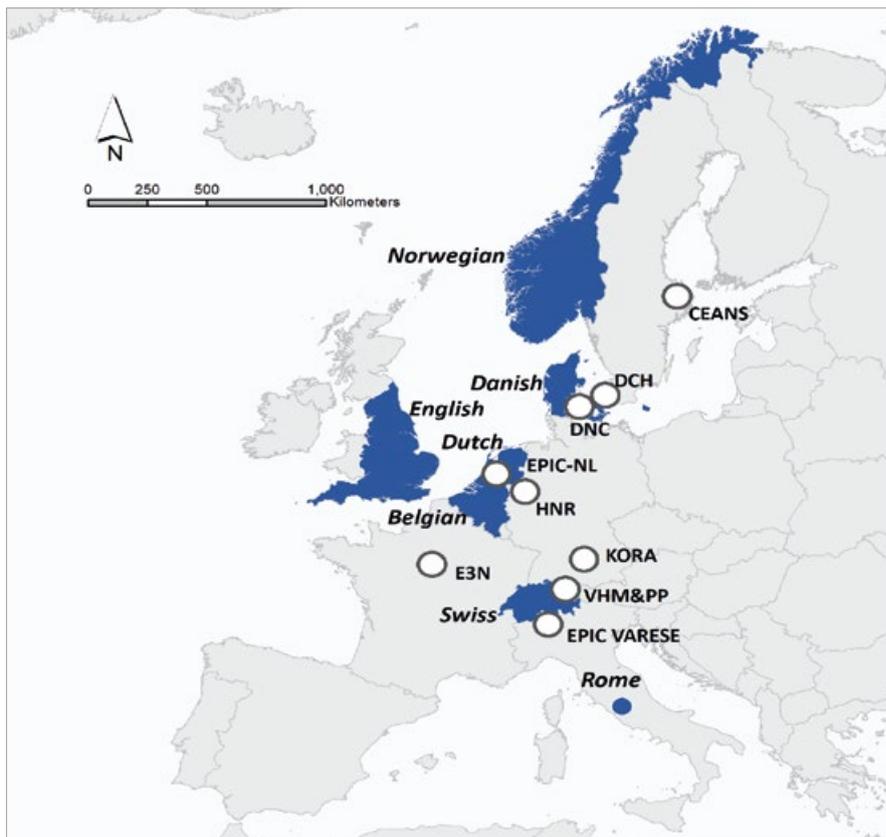


FIG. 1 COORTI
Localizzazione geografica delle coorti incluse nel progetto Elapse. In bianco le coorti tradizionali, in blu le coorti amministrative.

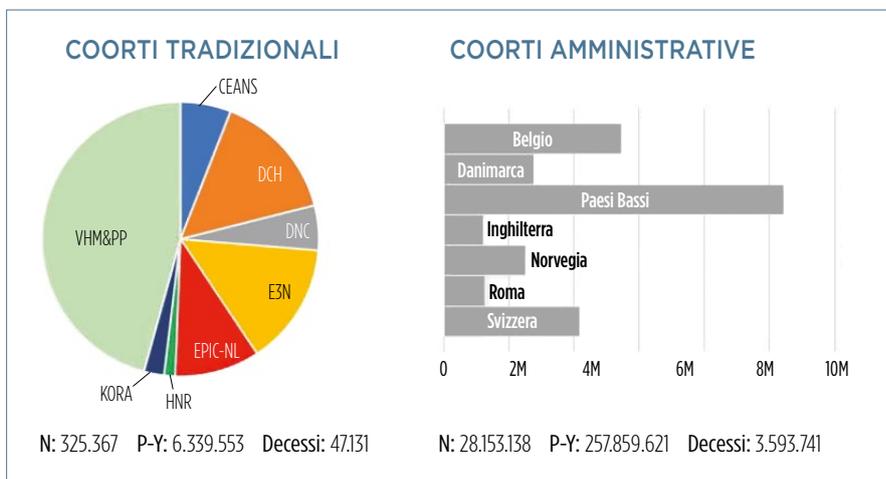


FIG. 2 COORTI
Numerosità, anni-persona e numero di decessi per cause non accidentali nelle coorti del progetto Elapse.

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.

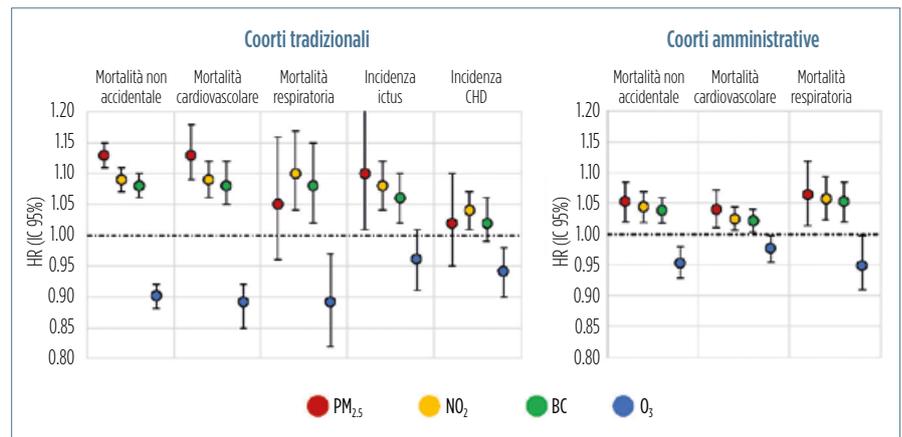


FIG. 3 QUALITÀ DELL'ARIA E SALUTE

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.

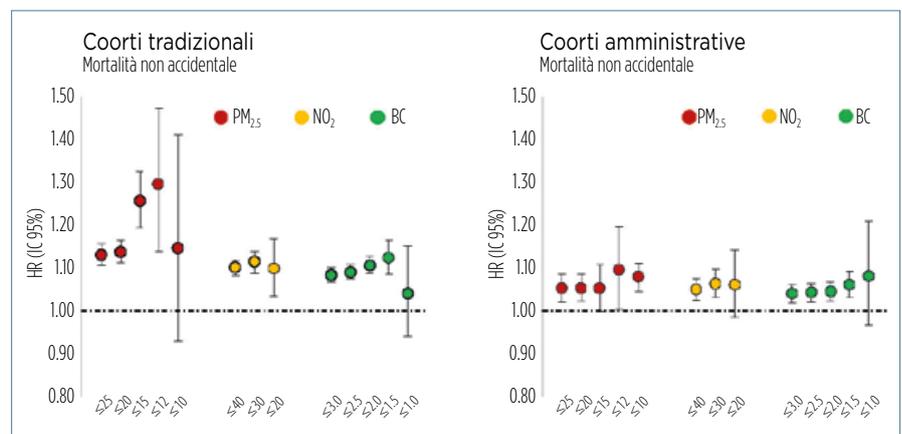


FIG. 4 QUALITÀ DELL'ARIA E MORTALITÀ

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.

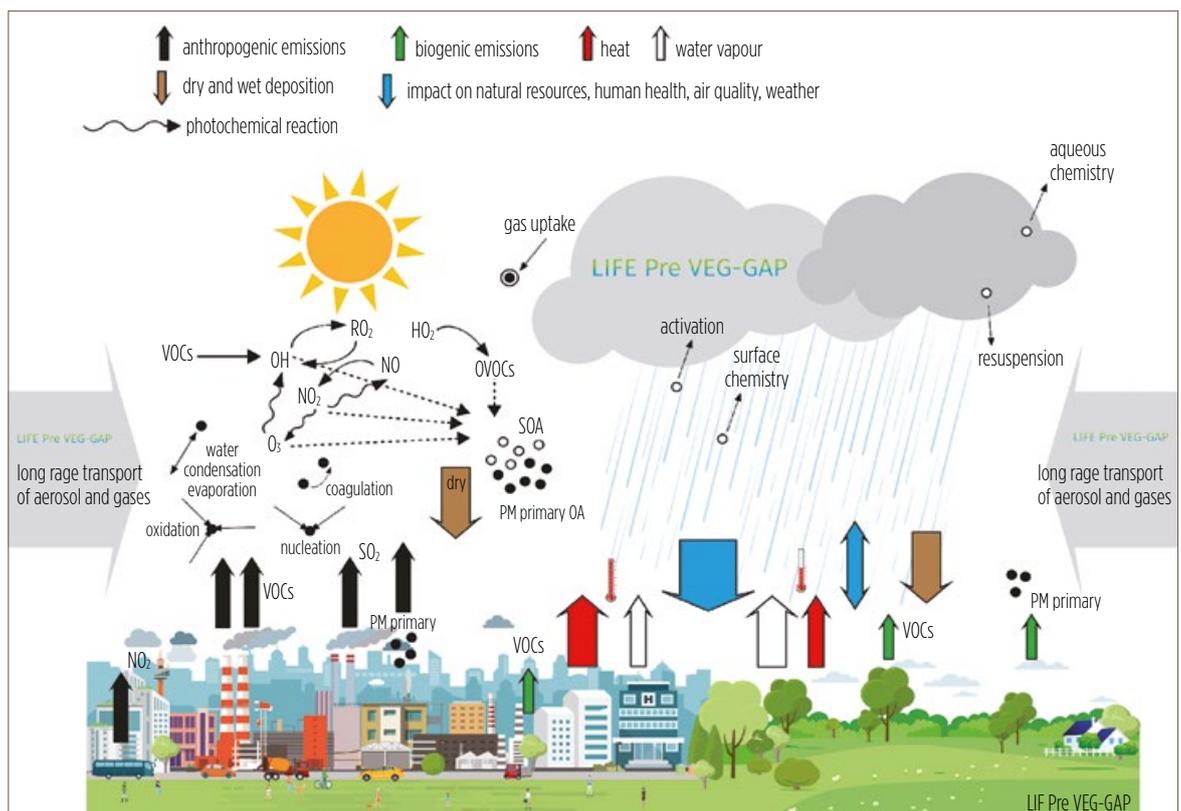
Grazie alle attività realizzate, i modelli scientifici sono stati trasformati in strumenti operativi che possono essere utilizzati dalle autorità locali per pianificare e monitorare le loro politiche ambientali in modo più efficace.

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

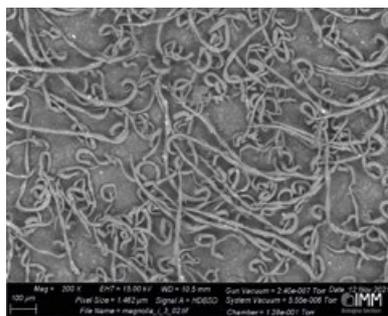
ambientale, poiché esercitano numerosi effetti positivi anche nelle aree urbane e forniscono un'ampia gamma di servizi ecosistemici a beneficio dell'ambiente, del clima e del benessere psicofisico dei cittadini. Le piante infatti sono in grado di ridurre l'effetto "isola di calore urbano" attraverso 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.

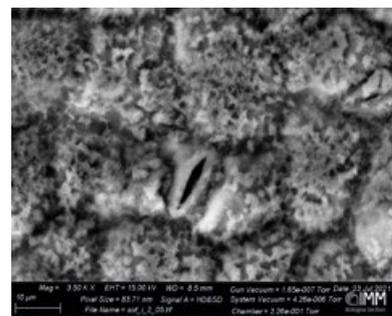
Non tutti gli alberi però sono uguali! La capacità decontaminante è correlata in particolare alle caratteristiche morfologiche e micro-morfologiche delle foglie (El-Khatib et al., 2011; Sæbø et al., 2012; Baraldi et al., 2019a); gli inquinanti gassosi come l'ozono vengono assorbiti attraverso gli stomi, 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

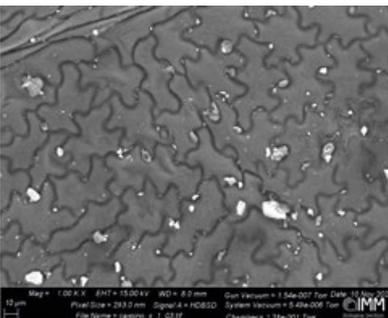
Foto a diversa magnificazione ottenute mediante un microscopio elettronico a scansione ambientale (Esem). Tutte le foto sono di Luisa Neri, Ibe-Cnr.



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

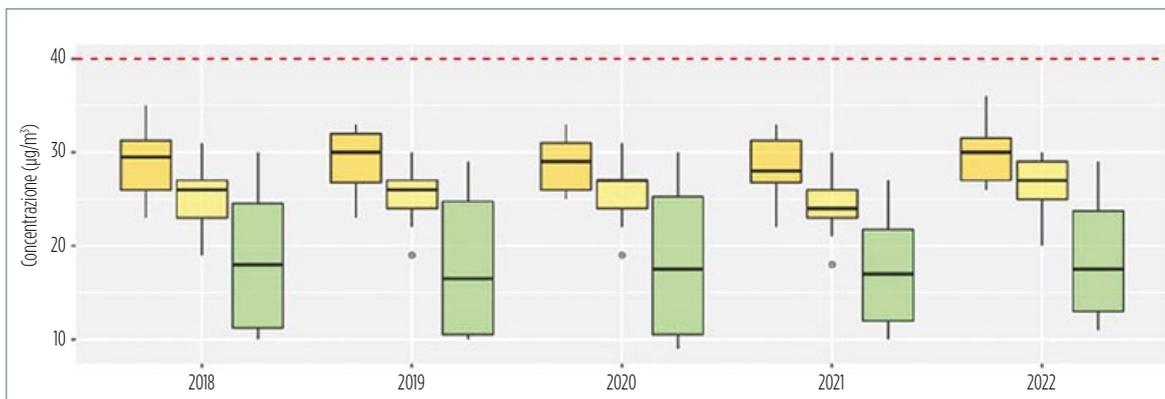
Nelle figure di questo articolo, la linea rossa indica il valore limite annuale.

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.

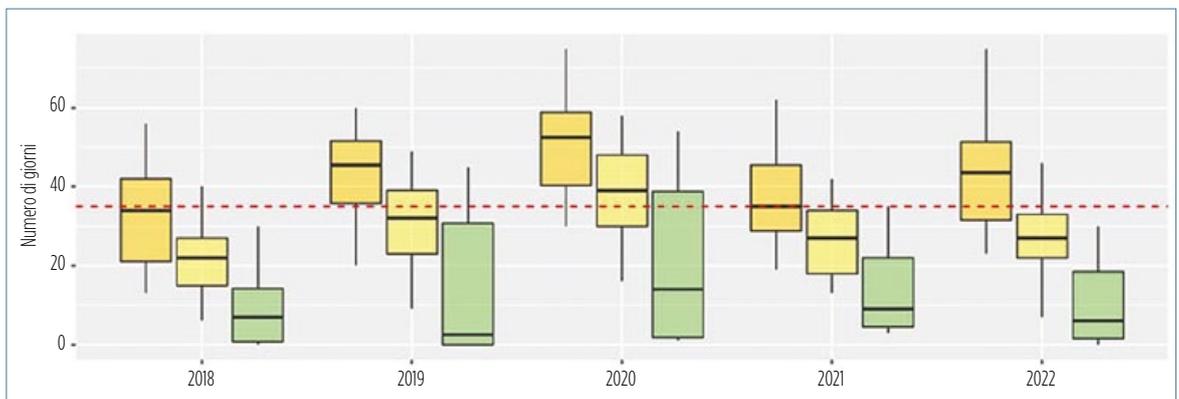
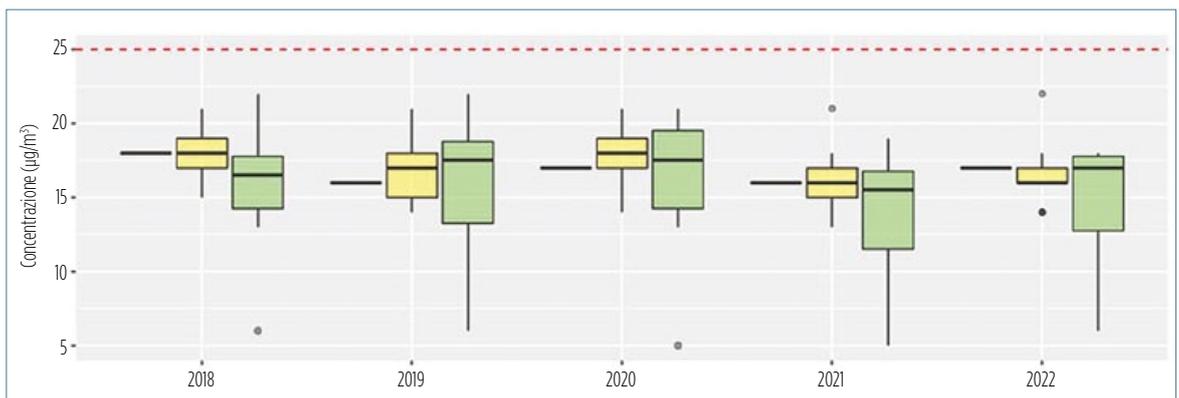


FIG. 3
PM_{2,5} LIMITI
ANNUALE

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

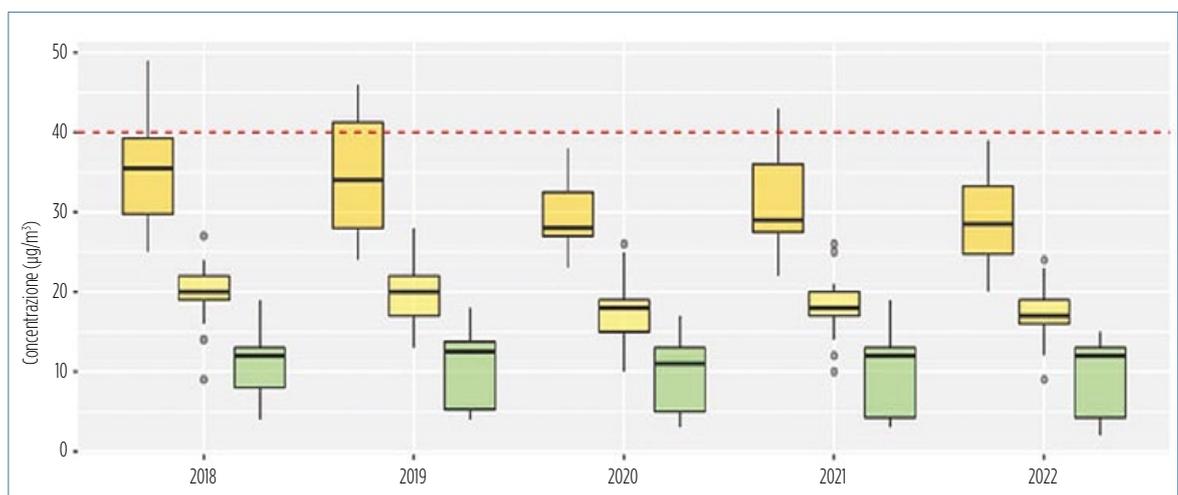


FIG. 4
NO₂ MEDIA ANNUALE

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.

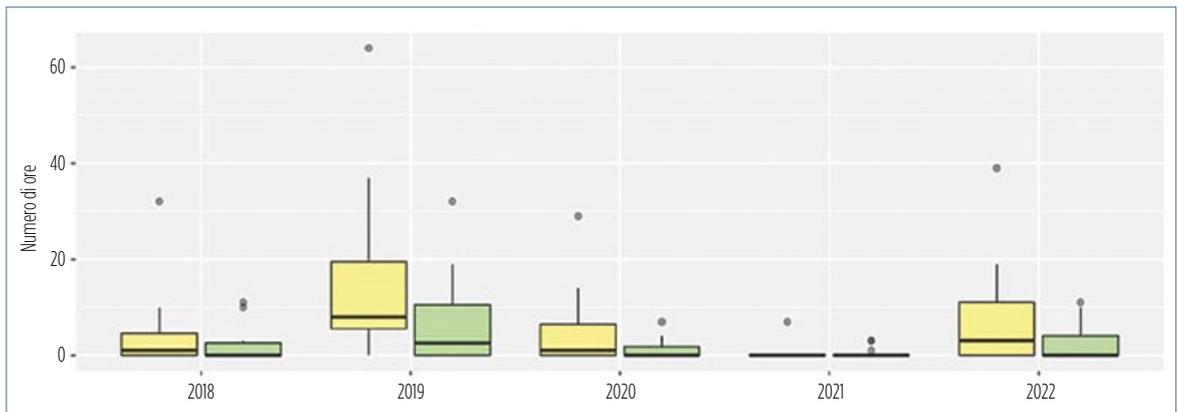
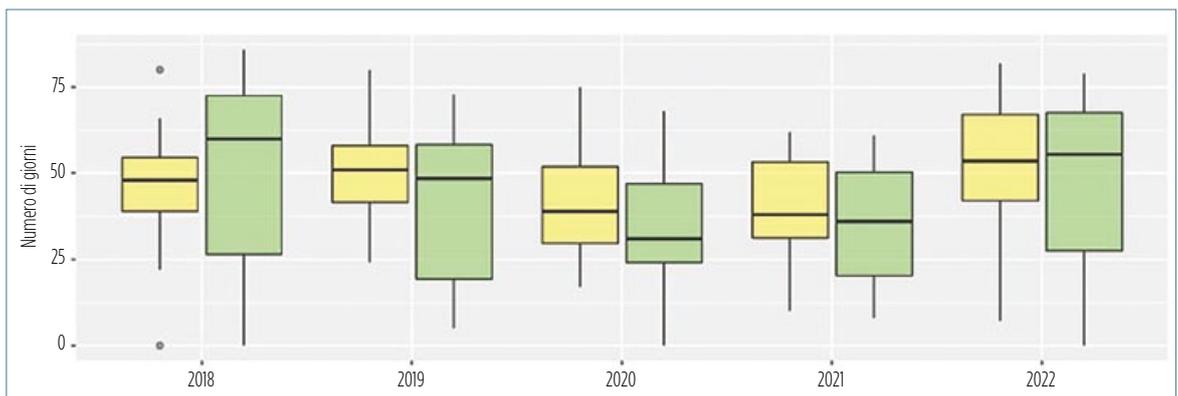


FIG. 6
OZONO,
SUPERAMENTI
DELL'OBIETTIVO A
LUNGO TERMINE

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

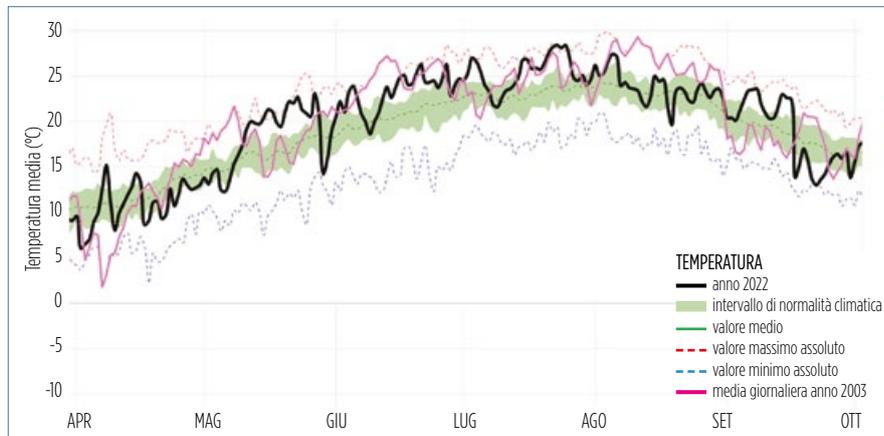


FIG. 1 TEMPERATURA MEDIA 2003 E 2022
Andamento della temperatura media giornaliera in Emilia-Romagna per gli anni 2003 e 2022. La linea rosa rappresenta l'andamento per l'anno 2003, la linea nera l'andamento per il 2022, le linee tratteggiate rossa e blu sono rispettivamente il valore massimo e minimo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

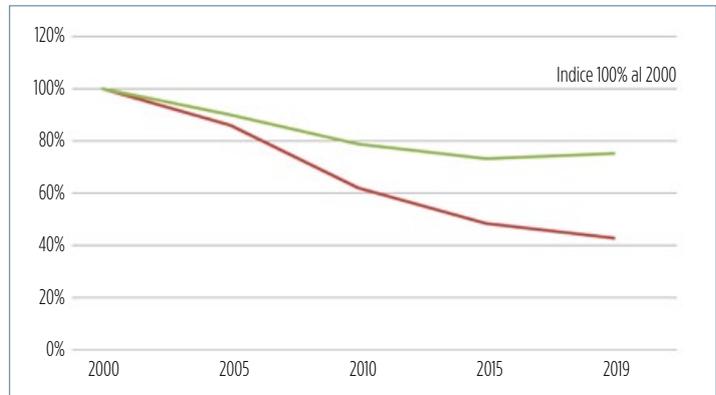


FIG. 3
RAPPORTO
NMVOC/NO_x

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

Fonte: dati Ispra, elaborazione Arpae.

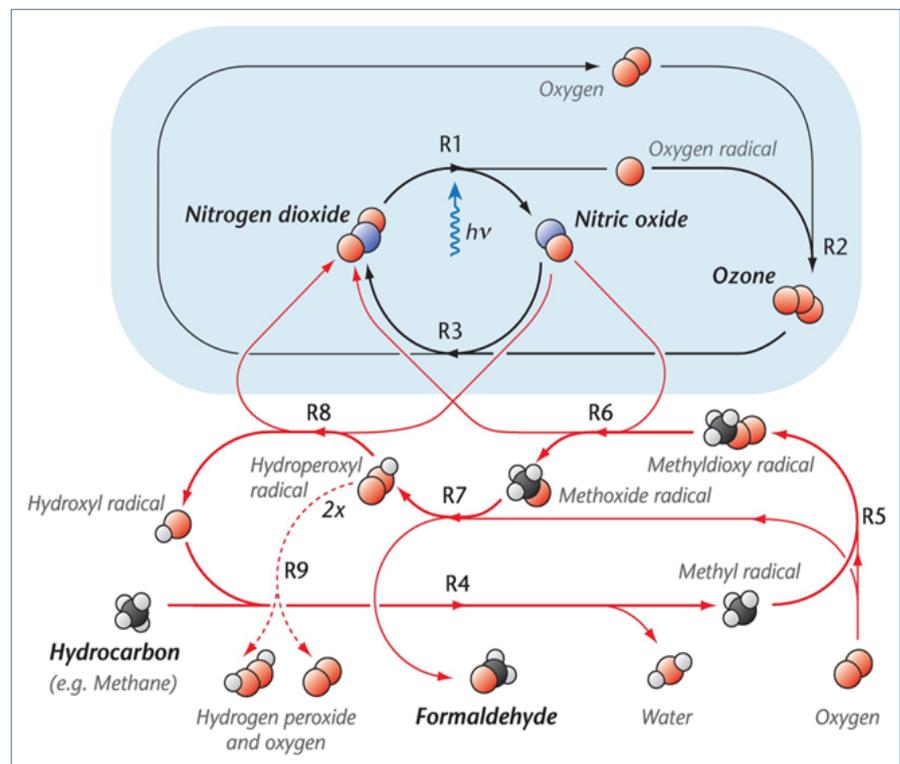
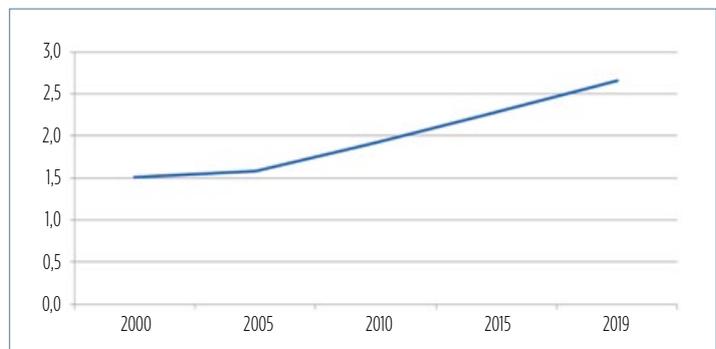


FIG. 4 POSSIBILE SET DI REAZIONI CHE PORTANO ALLA FORMAZIONE DI OZONO

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 di 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 isopletrico 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.

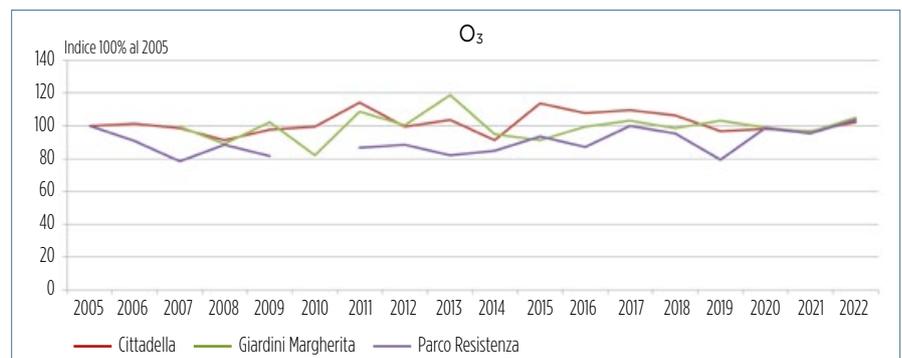
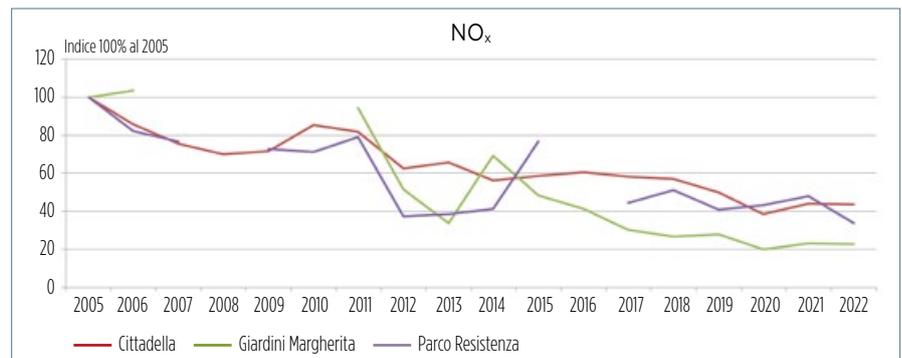
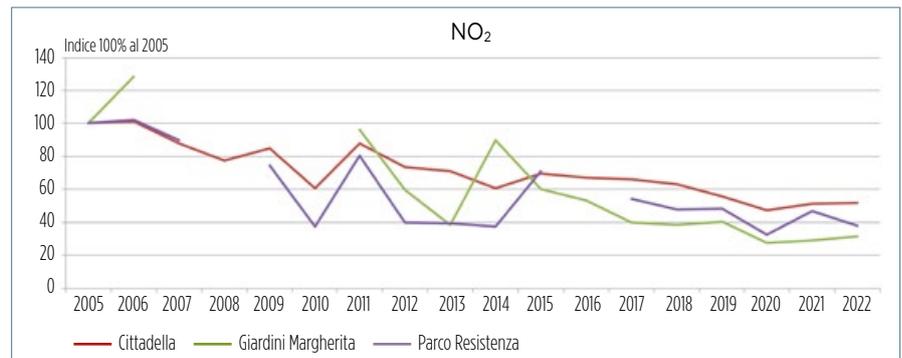
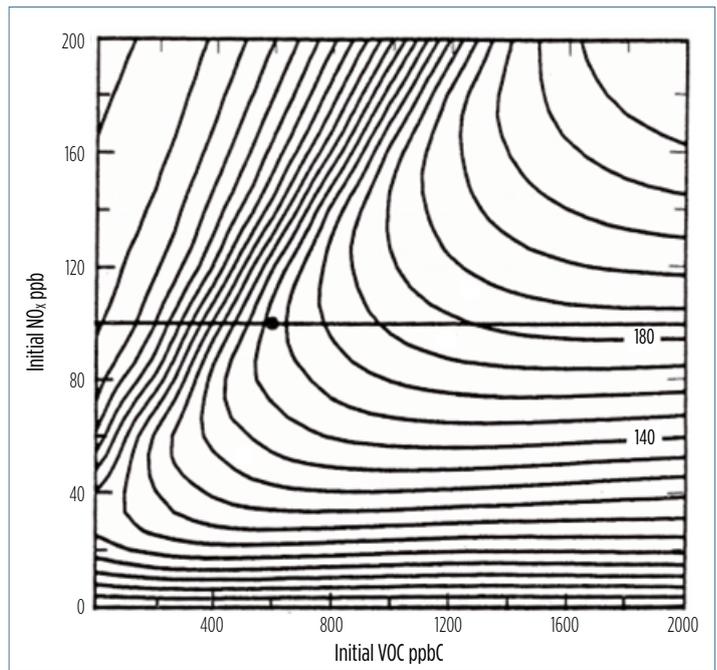


FIG. 6 MEDIE NO_2 , NO_x E OZONO

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 NO_2 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

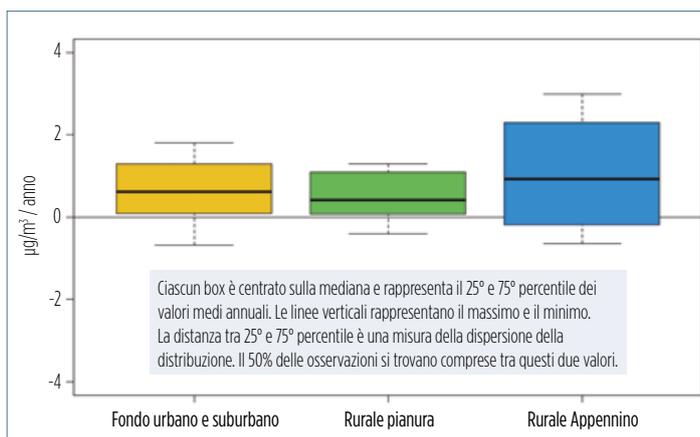
parametro nella popolazione). Il ricorso agli intervalli di confidenza fornisce oltre alla significatività statistica della stima, anche l'ampiezza della scala di valori al cui interno sicuramente si colloca quello reale, visualizzando così l'entità



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.

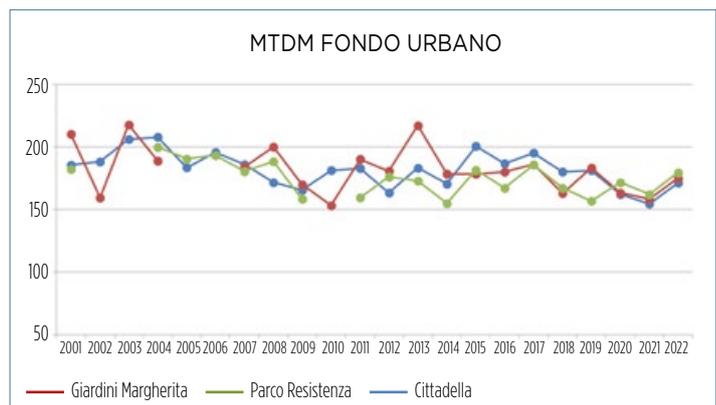
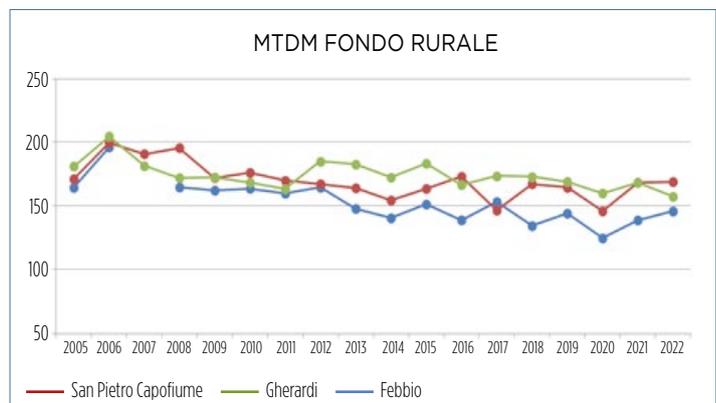


FIG. 10
MTDM FONDO RURALE

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

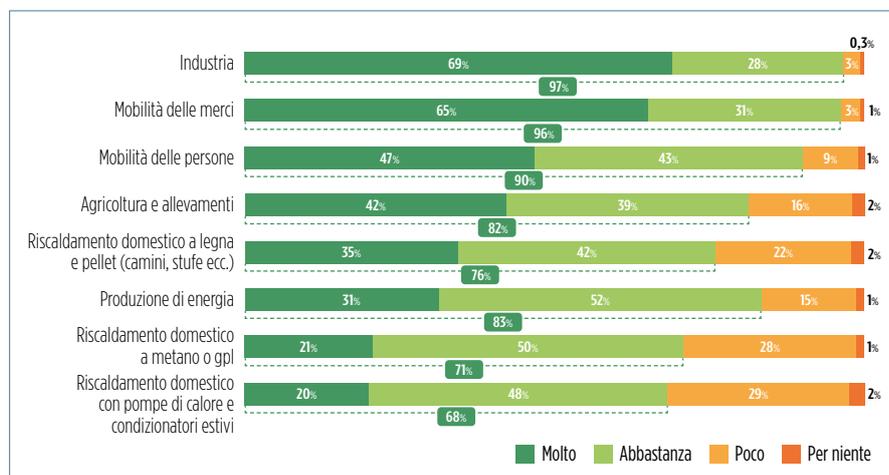


FIG. 1 PERCEZIONI SULLA QUALITÀ DELL'ARIA
Percezione dei cittadini in riferimento alle attività maggiormente inquinanti.

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.

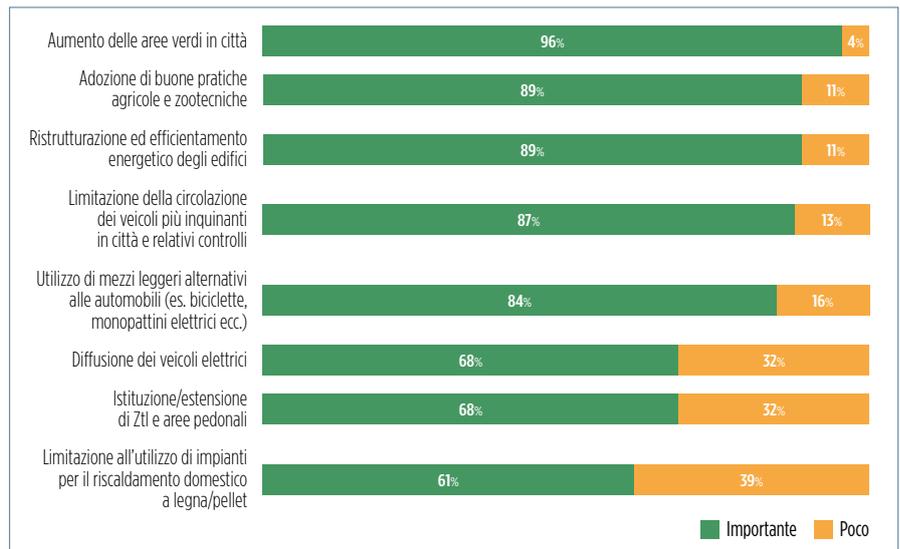


FIG. 2 MISURE DI MIGLIORAMENTO

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.

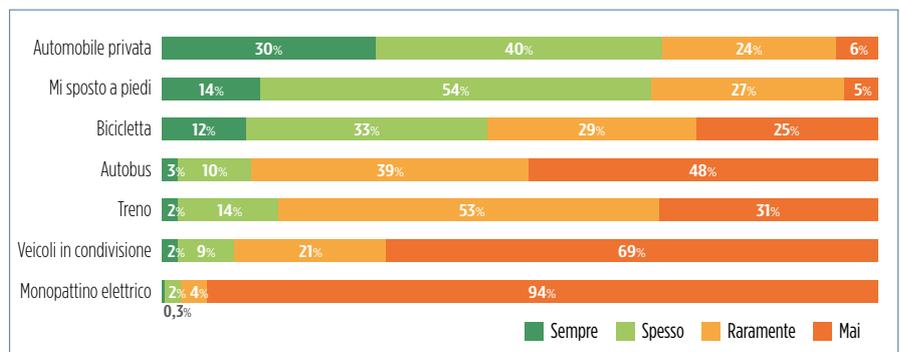


FIG. 3 MEZZI DI TRASPORTO

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

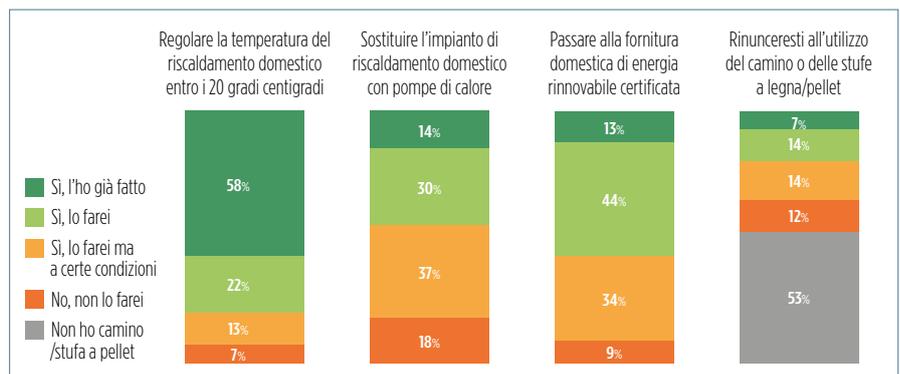


FIG. 4 DISPONIBILITÀ AL CAMBIAMENTO

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 direttore 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

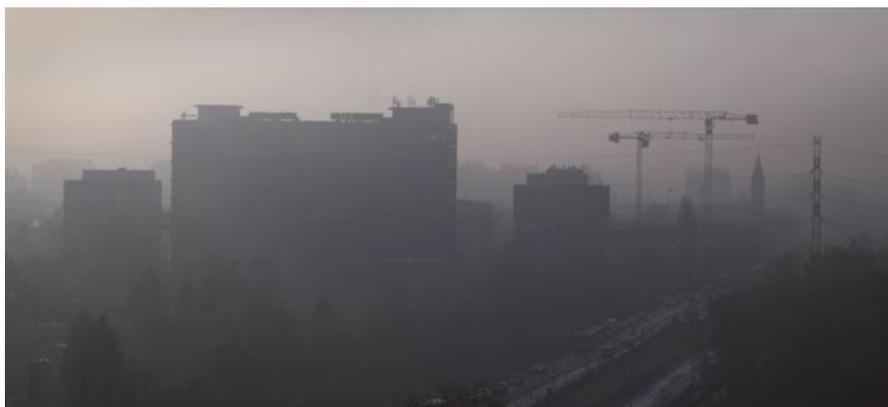
- World Health Organization; Occupational and Environmental Health Team, *Air Quality Guidelines for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide: Global Update 2005: Summary of Risk Assessment*, Geneva, Switzerland, 2006, http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69477/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf.
- 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., Rauchfuss 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:I32042>.

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.

PROGETTO PULVIRUS

UN'ALLEANZA SCIENTIFICA PER IL FUTURO NATA IN TEMPI DRAMMATICI

Nel periodo iniziale della pandemia di Covid-19 è circolata l'ipotesi della connessione tra il virus Sars-cov-2 e la presenza di elevate concentrazioni di particolato nell'atmosfera. In quel momento i meccanismi di diffusione del contagio non erano ben chiari e ignote erano le interazioni con problemi molto studiati come l'inquinamento dell'aria. Sorgevano quindi molte domande e la comunità scientifica si è da subito messa in azione per cercare le risposte più plausibili.

Proprio in quel momento è nato il progetto Pulvirus, prodotto della collaborazione fra le principali istituzioni tecnico-scientifiche del Paese che agiscono a livello nazionale e a livello locale e che hanno la responsabilità di informare i decisori politici e l'opinione pubblica: Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (Enea), Sistema nazionale per la protezione dell'ambiente (Snpa) e Istituto superiore di sanità (Iss).

Il progetto, partito nella primavera del 2020 e concluso a luglio 2022, si è configurato da subito come un'alleanza scientifica inedita e innovativa, che può diventare un esempio a livello nazionale e internazionale. L'obiettivo è stato quello di approfondire il legame fra inquinamento atmosferico e Covid-19, le interazioni fisico-chimiche-biologiche fra polveri atmosferiche e virus, gli effetti del *lockdown* sulle concentrazioni atmosferiche degli inquinanti e dei gas serra. I risultati di Pulvirus sono stati presentati a Roma il 24 ottobre 2022. In questo servizio di *Ecoscienza* ne presentiamo una sintesi dando la parola alle ricercatrici e ai ricercatori che hanno direttamente collaborato nei team al lavoro sui 6 obiettivi principali individuati.

“Abbiamo avviato una collaborazione durante i momenti drammatici nel pieno della crisi pandemica, con riunioni a distanza, quando il virus sembrava ci stesse mettendo in ginocchio”, ha ricordato durante l'evento di presentazione dei risultati Stefano Laporta, presidente di Ispra. “In quei momenti la nostra preoccupazione è stata quella di garantire i servizi di tutela e protezione dell'ambiente e cercare risposte mantenendo l'approccio lucido dell'approfondimento scientifico e puntando sull'importanza della ricerca pubblica per comprendere i fenomeni”.

Le domande a cui si è cercato di rispondere sono ambiziose e importanti per il futuro. Come sono cambiate durante il *lockdown*, deciso nel picco della pandemia da Covid-19, le emissioni e le concentrazioni di inquinanti atmosferici e di gas a effetto serra? Qual è stata l'influenza sulla composizione

chimica del particolato atmosferico? Esiste un'associazione tra particolato atmosferico e bioaerosol attraverso il quale si trasferisce il virus Sars-cov-2?

“L'obiettivo generale del progetto è stato quello di effettuare un'analisi seria e approfondita su queste tematiche, che fosse fondata su protocolli scientifici verificabili, così da fornire a istituzioni e cittadini informazioni attendibili utili per la migliore comprensione di ciò che stava accadendo e per l'assunzione delle opportune decisioni”, ha sottolineato Alfredo Pini, responsabile scientifico del progetto per il Snpa.

Il valore del progetto Pulvirus, che sul tema del possibile legame tra inquinamento atmosferico e pandemia si interseca anche con un altro progetto avviato nello stesso periodo, Epicovair, è quello di un'iniziativa di portata nazionale che ha messo a fattor comune rilevanti insiemi di competenze e dati di cui dispongono le tre istituzioni, esperienze e collaborazioni tecnico-scientifiche che permettono di raffinare e perfezionare i modelli, gli strumenti di analisi e i sistemi di allerta che la comunità scientifica può proporre a supporto concreto delle politiche ambientali e sanitarie, per la tutela della salute e per il benessere e il futuro delle comunità.

Gilberto Dialuce, presidente di Enea, nel corso della presentazione romana, ha ricordato l'ottima collaborazione che si è sviluppata tra le istituzioni e la necessità di continuare a lavorare insieme e “con un approccio integrato alle nuove sfide che dovremo affrontare, anche considerando l'effetto combinato tra cambiamento climatico, inquinamento atmosferico e salute”.

I risultati completi del progetto Pulvirus sono a disposizione di tutti sul sito www.pulvirus.it, ma il lavoro è tutt'altro che terminato.

“Abbiamo di fronte tematiche che emergeranno e che non hanno più confini disciplinari, sia dal punto di vista della conoscenza e dei determinanti sia dal punto di vista delle soluzioni possibili”, ha affermato Silvio Brusaferrò, presidente dell'Istituto superiore di sanità. “È necessario dialogare, collaborare, mettere in condivisione le conoscenze e la passione per la ricerca. Pulvirus è un ottimo esempio della capacità del nostro Paese, con i propri organi tecnici e scientifici, centrali e periferici, di lavorare insieme, affrontare i problemi e dare risposte. In una logica di *Planetary Health*, le sfide che oggi ci aspettano sono complesse, di lunga durata e vanno affrontate con una visione unitaria, ognuno con le proprie competenze”.

QUALITÀ DELL'ARIA IN ITALIA, GLI EFFETTI DEL LOCKDOWN

LA PANDEMIA DA COVID-19 CHE HA COLPITO L'ITALIA NEL 2020 HA PERMESSO LO STUDIO DI UN REALE SCENARIO DI RIDUZIONE DEI FLUSSI DI TRAFFICO PUBBLICO E PRIVATO CHE PRIMA POTEVA SOLO ESSERE SIMULATO. PER POTER PROCEDERE CON CONFRONTI CON ALTRI PERIODI, SI È RICORSO AI METODI STATISTICI PER LA NORMALIZZAZIONE DELLE VARIABILI.

Come noto, il 31 dicembre 2019 l'Oms *China Country Office* è stato informato della presenza di casi di polmonite di eziologia sconosciuta, per un totale di 44 pazienti, rilevati nella città di Wuhan, nella provincia cinese di Hubei.

Con il diffondersi dell'epidemia in Italia, a partire dal 31 gennaio 2020 il Governo e diverse Regioni hanno emanato provvedimenti via via più severi per limitare la diffusione del contagio tra la popolazione. Questa situazione di riduzione delle principali attività produttive e commerciali, unita alla riduzione dei flussi di traffico di veicoli privati, del trasporto pubblico e del trasporto delle merci su strada, via mare e del trasporto aereo è stata un evento del tutto inusuale per il nostro Paese.

In un contesto così drammatico, scandito dal rapido succedersi degli esiti sanitari, e dalla febbrile ricerca di soluzioni atte almeno a contenere e gestire l'afflusso dei pazienti nelle strutture di cura, il tema dell'inquinamento atmosferico si è rivelato strategico, sia pure a latere dell'elemento principale che è stata la diffusione del virus Sars-cov-2, per due sostanziali motivi. Il primo riguarda le ipotesi di possibili relazioni tra esposizione all'inquinamento atmosferico e suscettibilità all'infezione, a tutt'oggi oggetto di diversi studi e

approfondimento da parte della comunità scientifica internazionale.

Il secondo legato al fatto che, oggettivamente, la situazione che si è venuta a creare ha stimolato l'interesse di addetti ai lavori e non, riguardo agli effetti che una riduzione estesa a diverse sorgenti antropiche e generalizzata sul territorio nazionale potesse avere sulla qualità dell'aria.

Tale interesse non rappresenta una mera curiosità. In realtà l'Italia, come gli altri Stati membri dell'Unione europea, è impegnata nell'intraprendere azioni efficaci per ridurre le emissioni dei principali inquinanti e in particolare quelle del materiale particolato e dei suoi precursori (ammoniaca, composti organici volatili, ossidi di azoto).

La valutazione degli effetti delle misure di risanamento della qualità dell'aria attraverso l'analisi degli andamenti delle concentrazioni rilevate nelle stazioni di monitoraggio è complessa in ragione della natura dei meccanismi che regolano la diffusione, il trasporto, la trasformazione, e la deposizione delle sostanze inquinanti e la relazione tra questi, il punto o area di emissione e il punto di osservazione. I fattori determinanti di questa complessità, per un dato inquinante, sono fondamentalmente le condizioni meteorologiche su scala

locale e mesoscala e la relativa variabilità temporale nel periodo di osservazione; l'orografia nell'intorno del punto di misura; la modulazione temporale delle sorgenti emissive, nonché la complessità delle reazioni chimiche che avvengono in atmosfera.

Sulla base delle sole osservazioni provenienti dalle reti di monitoraggio del Sistema nazionale per la protezione dell'ambiente (Snpa) è emerso un primo dato macroscopico ed esteso all'intera penisola: la riduzione delle concentrazioni degli ossidi di azoto (monossido, che è la forma prevalente emessa direttamente, e biossido, in parte emesso direttamente e in parte formato in atmosfera), del monossido di carbonio e del benzene.

Tale riduzione, attestata per il biossido di azoto mediamente intorno al 40%, andava, nel periodo osservato, da pochi punti percentuali a valori superiori al 70% in alcuni siti localizzati in prossimità di importanti arterie stradali (stazioni classificate come "traffico urbano"). In generale nelle stazioni di fondo urbano, suburbano e rurale la riduzione delle concentrazioni degli ossidi di azoto e del benzene è meno marcata fino a essere in alcuni casi non significativa. Anche a fronte di una riduzione così ampia, il confronto con periodi analoghi



di anni precedenti rimane affetto da ampia incertezza dovuta alla variabilità delle condizioni meteorologiche che si possono verificare tra un anno e l'altro. Inoltre, molto meno chiara appariva la situazione relativa al materiale particolato (PM_{10} , $PM_{2,5}$). Occorre ricordare in questo caso che si tratta di una miscela complessa di particelle solide e liquide disperse in atmosfera.

La principale debolezza degli studi "osservazionali" risiede nel fatto che essi si basano essenzialmente sul confronto tra i dati misurati durante il *lockdown* e quelli misurati nel periodo immediatamente precedente o su quelli misurati nello stesso periodo di anni precedenti; in sostanza manca la valutazione dell'effetto della meteorologia che in periodi diversi può essere favorevole o sfavorevole alla dispersione degli inquinanti determinando quindi una sottostima o una sovrastima degli effetti del *lockdown*. L'obiettivo 1 del progetto Pulviris, che ha visto la collaborazione di numerosi ricercatori degli enti coinvolti, ha proposto l'applicazione di tecniche statistiche di normalizzazione meteorologica sulle serie di dati rilevati dalle stazioni delle reti di monitoraggio nazionale, finalizzata a "isolare" o "controllare" il ruolo della variabilità meteorologica sugli andamenti degli inquinanti nei periodi ex-ante Covid-19 ed ex-post¹.

Per la valutazione dell'effetto del *lockdown* sulla variazione della concentrazione degli inquinanti, sono stati utilizzati modelli statistici e algoritmi di intelligenza artificiale.

A partire da un'ampia revisione della letteratura scientifica, sono stati selezionati tre diversi approcci.

Il primo è basato sull'uso di modelli statistici additivi generalizzati (*Generalized additive models*, Gams). Questi consentono di normalizzare, a livello meteorologico, le serie storiche pluriennali delle concentrazioni degli inquinanti in atmosfera e di valutare il contributo nel tempo di specifiche variabili esplicative di tipo numerico o categoriale.

Il metodo utilizzato si è dimostrato molto efficace nel rilevare l'effetto del *lockdown* al netto del contributo della meteorologia. Permette anche di associare alle stime la relativa significatività statistica.

È stato possibile osservare e stimare quantitativamente a livello di singola stazione una significativa diminuzione dei livelli di NO_2 su tutto il territorio italiano come effetto del *lockdown* nei

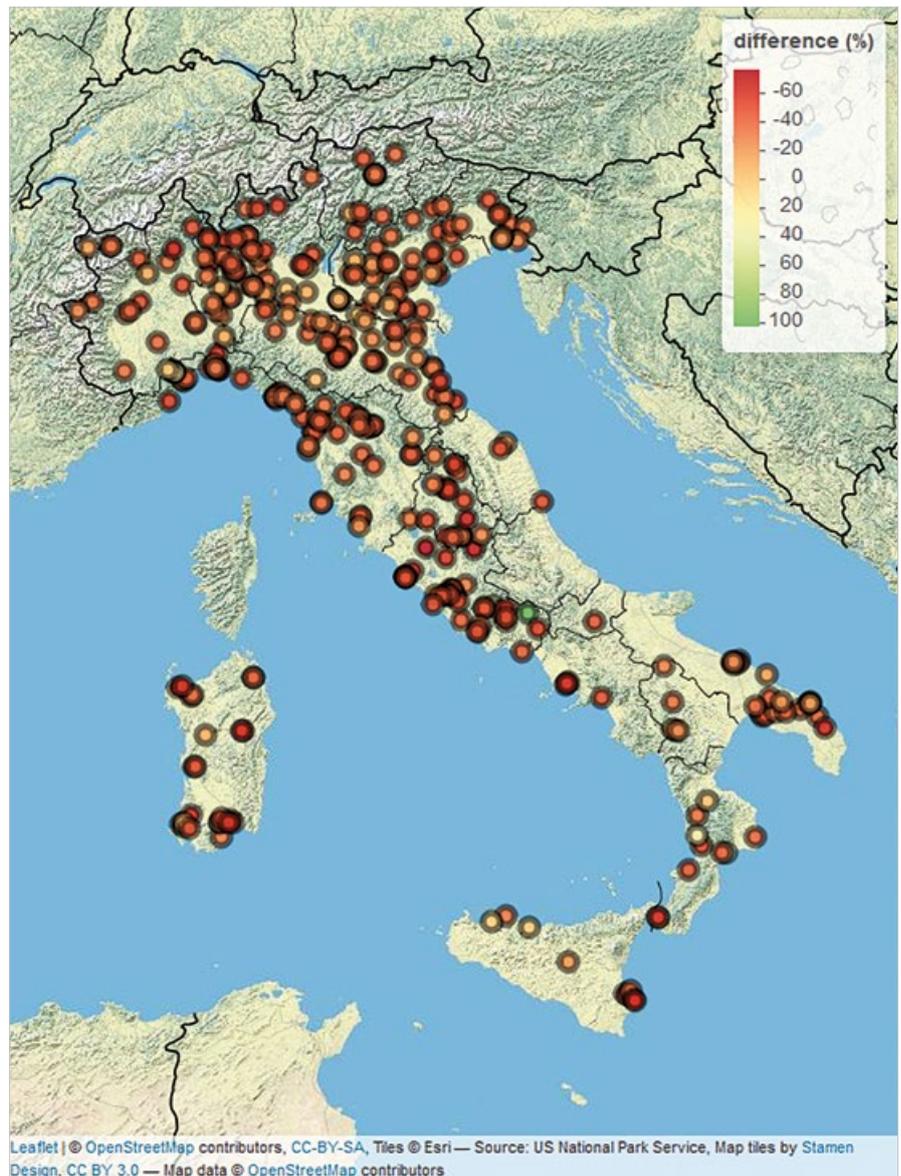


FIG. 1 MAPPA BISSIDO DI AZOTO

Differenze percentuali tra concentrazione media stimata dal modello *random forest* (condizioni *Bau*) e concentrazione media osservata (1 marzo - 30 aprile 2020).

mesi di marzo e aprile 2020. Per il PM_{10} e il $PM_{2,5}$, i risultati evidenziano solo per un limitato set di punti di misura una riduzione significativa delle concentrazioni, in un quadro generale di non significatività statistica dei contributi del *lockdown* alle concentrazioni dei quattro mesi considerati. Limitatamente al solo mese di aprile 2020 è stato rilevato un aumento delle concentrazioni di ozono attribuibile al *lockdown*, localizzato prevalentemente nell'area settentrionale del Paese [1]. I risultati sono visualizzabili nella *dashboard* interattiva alla pagina www.pulviris.it/dashboard.

Il secondo approccio è stato basato sull'uso di algoritmi di intelligenza artificiale che, negli studi di *intervention analysis*, è ben descritto in letteratura. Abbiamo colto l'occasione

per sperimentare l'uso di modelli di *machine learning* (ML), e in particolare della tecnica *random forest* (Rf). Per quantificare, al netto della variabilità indotta dalle condizioni meteorologiche, la variazione della concentrazione dei principali inquinanti determinata dai provvedimenti adottati per ridurre la diffusione del contagio, abbiamo confrontato i valori stimati da modelli Rf in condizioni *business-as-usual* (*Bau*), ovvero i livelli che sarebbero stati osservati nel 2020 in assenza del *lockdown*, nelle condizioni meteorologiche reali, in ogni stazione di misurazione, con i livelli di concentrazioni effettivamente osservati (figura 1).

Il metodo utilizzato è molto efficace nel rilevare l'effetto del *lockdown* al netto del contributo della meteorologia. Permette anche di associare alle stime la relativa

significatività statistica ed è relativamente facile da implementare. Sconta tuttavia una generale tendenza a sovrastimare il dato per valori di concentrazione bassi e di sottostimare per valori alti. I risultati ottenuti con questo metodo sono in generale coerenti con quelli ottenuti con i modelli additivi generalizzati. L'NO₂ presenta una significativa diminuzione delle concentrazioni su tutto il territorio italiano, non solo durante il periodo del *lockdown* primaverile, ma anche in tutti i mesi da marzo in poi, a indicare un effetto anche delle misure di contenimento successive (riguardanti principalmente gli spostamenti). Una diminuzione di entità inferiore è mostrata da C₆H₆ e CO, seppure in maniera disomogenea tra le diverse tipologie di stazioni. Anche il particolato (PM₁₀ e PM_{2,5}) ha mostrato una diminuzione più contenuta e solo in alcuni mesi. È interessante però notare come anche per questi inquinanti cali di diversa entità si siano osservati anche in molti mesi successivi al *lockdown* primaverile [2].

Indipendentemente dalla strategia modellistica scelta le serie di dati possono essere analizzate separatamente o congiuntamente. Questa seconda soluzione permette una stima dei parametri più efficace e una maggiore performance predittiva, considerato il largo volume di dati disponibile. Inoltre, rileva il fatto che poiché i punti di misura sono distribuiti nello spazio risulta conveniente tenere conto non solo della correlazione temporale ma anche della correlazione spaziale al fine di spiegare fino in fondo la variabilità dei residui. È stato quindi sviluppato, a partire dall'approccio introdotto recentemente dagli stessi autori [3], per la valutazione della variabilità spaziale e temporale delle concentrazioni di PM₁₀ in Italia, un *framework* metodologico per stimare in modo continuo nello spazio e nel tempo l'effetto del *lockdown* sulla qualità dell'aria. L'obiettivo di ricerca è fondato sull'ipotesi che la disponibilità di mappe 2D di concentrazione ad alta risoluzione spaziale possa aiutare a valutare se l'effetto del *lockdown* sia stato omogeneo in una data area (ovvero a comprendere quale sia stato il grado di disomogeneità). L'esercizio è stato condotto sull'inquinante biossido di azoto in quanto è stato chiaramente tra gli inquinanti per i quali le misure introdotte hanno determinato una significativa riduzione delle emissioni e per il

quale quindi è attesa una significativa variazione attribuibile al *lockdown*. In particolare, includendo una componente spaziale stocastica il modello sviluppato permette di tenere conto della correlazione spaziale tra le osservazioni; le superfici di predizione così generate appaiono continue spazialmente e permettono di valutare l'effetto del *lockdown*, tenendo conto della meteorologia e di altri fattori confondenti, anche nelle aree remote o montuose dove non sono disponibili dati puntuali per la mancanza di stazioni di monitoraggio. L'approccio modellistico usato può essere generalizzato allo studio di casi diversi da quello oggetto del progetto Pulviris, ovvero qualora si sia interessati a valutare gli effetti su larga scala di misure di risanamento della qualità dell'aria. Abbiamo dimostrato la possibilità di ottenere con il metodo proposto un quadro credibile e matematicamente quantificabile dell'evoluzione delle concentrazioni di NO₂ in Italia al

netto del fattore confondente della meteorologia [4]. La variabilità spazio-temporale delle concentrazioni di NO₂ nei mesi di marzo e aprile 2020 rispetto agli stessi mesi del 2019 è illustrata mediante mappe spazialmente continue e normalizzate meteorologicamente su intervalli settimanali divise per giorni feriali e festivi, consultabili attraverso una *dashboard* interattiva sul sito del progetto (<http://pulviris.inla.isprambiente.it>).

A cura del gruppo di lavoro per la realizzazione dell'obiettivo 1 del progetto Pulviris

NOTE

¹ Per approfondire sono consultabili sul sito le relazioni dettagliate relative alle varie fasi del lavoro svolto: www.pulviris.it/index.php/documentazione-obiettivo-1/

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Leone G., Morelli R., Cattani G., Cusano M., Gaeta A., Galosi A., Gandolfo G., Scotto F., 2022, "Valutazione tramite un modello GAM dell'effetto del lockdown sui livelli di alcuni inquinanti rilevati nelle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria in Italia", in *Atti del X Convegno sul particolato atmosferico*, Bologna, 18-20 maggio 2022.
- [2] Reatini M.A., Scotto F., D'Elia I., D'Isidoro M., Algieri A., 2022, "Progetto Pulviris: Applicazione del machine learning per la normalizzazione meteorologica su scala nazionale nel 2020", in *Atti del X Convegno sul particolato atmosferico*, Bologna, 18-20 maggio 2022. <https://pm2022.iasaerosol.it/wp-content/uploads/2022/07/LIBRO-DEI-PROCEEDINGS-PM2022-VD.pdf>
- [3] Fioravanti G., Martino S., Cameletti M., Cattani G., 2021, "Spatio-temporal modelling of PM₁₀ daily concentrations in Italy using the Spde approach", *Atmospheric environment*, 248, 118192. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118192>
- [4] Fioravanti G., Cameletti M., Martino S., Cattani G., Pisoni E., 2022, "A spatiotemporal analysis of NO₂ concentrations during the Italian 2020 Covid-19 lockdown", *Environmetrics*, 2022 Jun;33(4):e2723. doi: 10.1002/env.2723. Epub 2022 Mar 12. PMID: 35574514; PMCID: PMC9087439.

GRUPPO DI LAVORO OBIETTIVO 1 PULVIRIS

Referenti Gdl obiettivo 1 Pulviris: Giorgio Cattani (coordinamento), Federica Aldighieri, Guido Fioravanti, Gianluca Leone, Raffaele Morelli, Maria Antonietta Reatini (Ispra)

Componenti del Gdl:

- Andrea Algieri, Umberto Dal Santo, Guido Lanzani, Anna Di Leo (Arpa Lombardia)
- Fabiana Scotto, Arianna Trentini (Arpa Emilia Romagna)
- Andrea Bolignano, Silvia Barberini (Arpa Lazio)
- Ilaria D'Elia, Massimo D'Isidoro, Maria Gabriella Villani (Enea)
- Mariacarmela Cusano, Alessandro Di Menno di Bucchianico, Maria Francesca Fornasier, Piero Frascchetti, Alessandra Gaeta, Raffaela Gaddi, Alessandra Galosi, Giuseppe Gandolfo, Francesca Lena, Walter Perconti, Emanuela Piervitali (Ispra)
- Maria Eleonora Soggiu (Iss)

Hanno contribuito:

- Sara Martino (Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway)
- Andrea Pisoni (European Commission, Joint Research Centre, Ispra, Italy)

LOCKDOWN E VARIAZIONI DELLE EMISSIONI INQUINANTI

L'EFFETTO SULLA VARIAZIONE DELLE EMISSIONI DEI PRIMI PROVVEDIMENTI RESTRITTIVI CAUSATI DALLA PANDEMIA È STATO VALUTATO PER LA PRIMA VOLTA A LIVELLO NAZIONALE DAL PROGETTO PULVIRUS. SONO STATE ELABORATE ANALISI DETTAGLIATE DELLE VARIAZIONI PER REGIONE, MESE E SETTORI COINVOLTI.

All'inizio del 2020, il mondo si è trovato ad affrontare una emergenza sanitaria legata alla diffusione del virus Sars-cov-2. Le misure intraprese dai governi dei diversi Paesi per ostacolare la diffusione del virus hanno profondamente inciso sulla vita degli individui e delle diverse comunità, stravolgendone abitudini e stili di vita. Nel progetto Pulviris si è iniziato a discutere degli effetti di tali misure sulla variazione delle emissioni e concentrazioni dei gas serra e degli inquinanti atmosferici (polveri sottili PM_{10} e $PM_{2,5}$), ossidi di azoto (NO_x), ossidi di zolfo (SO_x), composti

organici volatili non metanici (Covnm), ammoniaca (NH_3), monossido di carbonio (CO).

Una delle finalità di Pulviris è stata di investigare l'effetto di riduzione delle emissioni legato al primo stringente periodo di *lockdown*, attuato tra febbraio e maggio 2020 in tutte le regioni italiane. Nei mesi che hanno preceduto e seguito l'avvio del progetto, molte Regioni hanno condotto proprie simulazioni modellistiche per valutare l'effetto delle misure del *lockdown* sulla qualità dell'aria. Le Regioni del progetto Prepair e la Regione Lazio, per esempio, hanno

sviluppato una propria metodologia di stima delle variazioni emissive registrate nei primi mesi dell'anno 2020.

In particolare, Arpa Lombardia ha sviluppato una prima versione di un catalogo di indicatori (ad esempio variazione mobilità, riduzione voli aerei, variazione presenza domestica ecc.) utile all'implementazione della metodologia di calcolo delle emissioni giornaliere e messa in condivisione sia nel progetto Prepair sia in Pulviris (Marongiu et al., 2022). Parallelamente, all'interno del progetto Pulviris sono state condotte a livello nazionale ulteriori ricerche per condividere non solo la metodologia ma

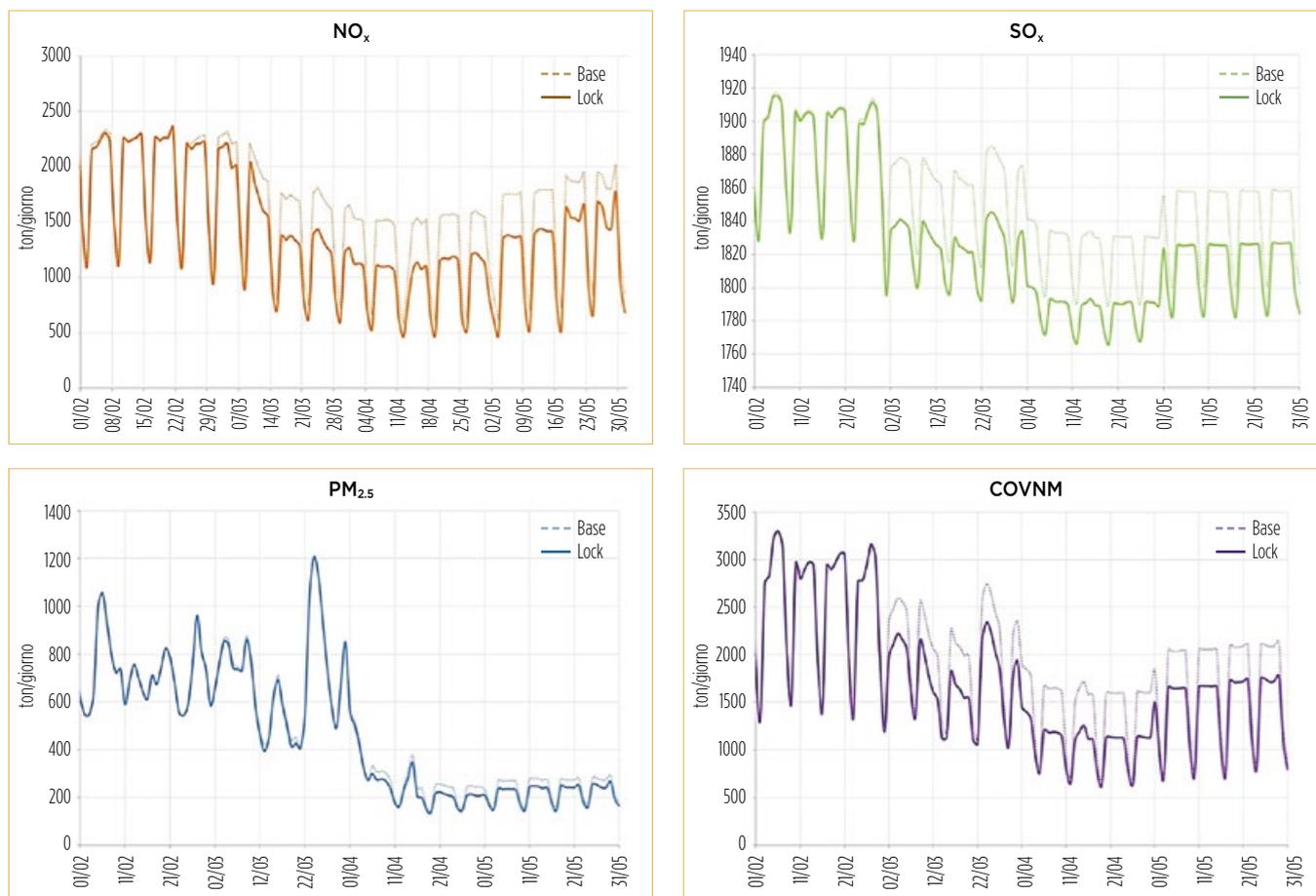


FIG. 1A VARIAZIONI INQUINANTI
Variazione emissioni nazionali giornaliere per inquinante (NO_x , SO_x , $PM_{2,5}$, Covnm) dal 1 febbraio al 31 maggio 2020, in tonnellate.

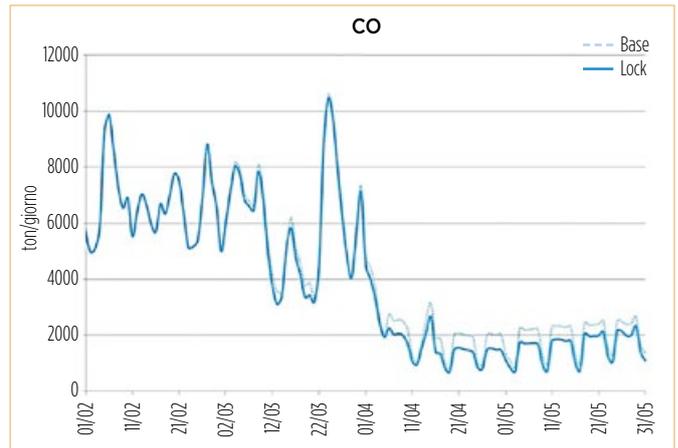
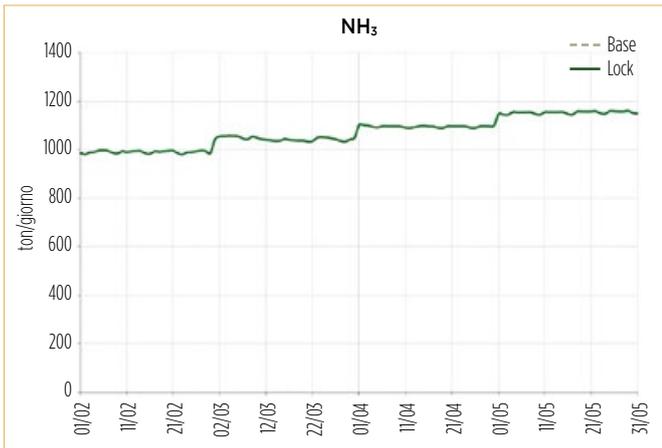


FIG. 1B VARIAZIONI INQUINANTI

Variazione emissioni nazionali giornaliere per inquinante (NH₃, CO) dal 1 febbraio al 31 maggio 2020, in tonnellate.

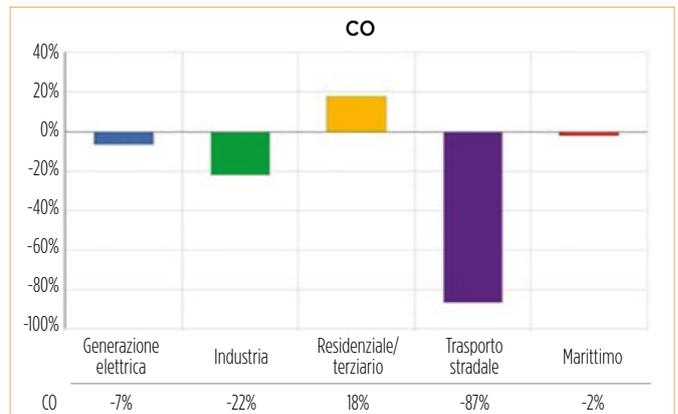
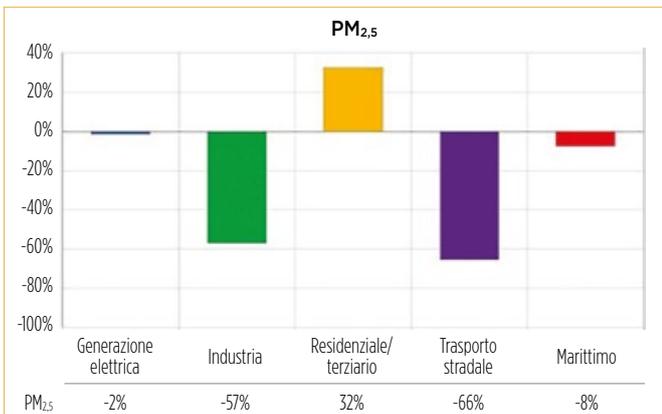
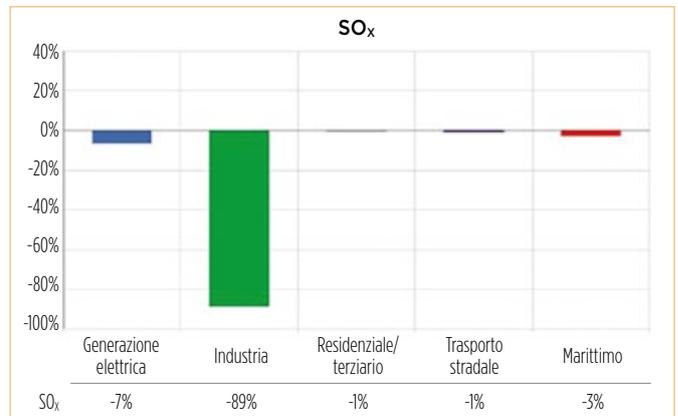
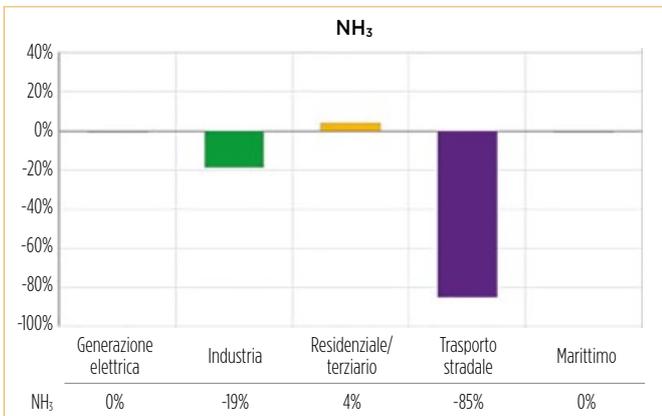
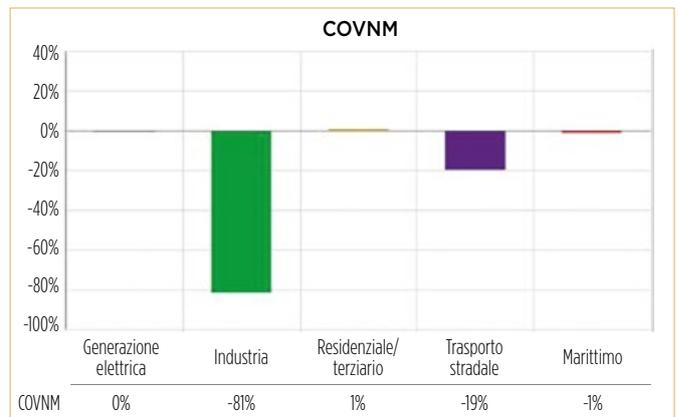
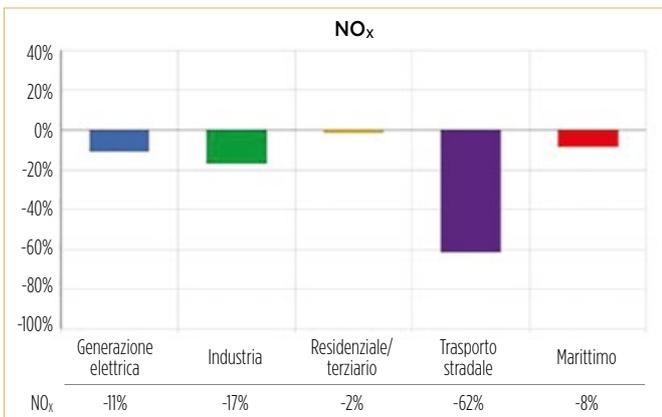


FIG. 2 RIDUZIONE EMISSIONI

Contributo di ogni settore alla riduzione delle emissioni totali per inquinante.

anche le fonti che fornissero informazioni su tutto il territorio nazionale. L'ipotesi formulata nella metodologia sia regionale sia nazionale è che la variazione emissiva sia stimata attraverso alcune variabili proxy relative al settore emissivo. Tale metodologia è stata utilizzata anche a livello europeo dai modelli partecipanti alle attività del Servizio previsionale di qualità dell'aria di Copernicus (Cams) (Guevara et al., 2021).

Il progetto Pulviris ha elaborato un database, liberamente scaricabile (www.pulviris.it/index.php/documentazione-obiettivo-2), con i fattori di riduzione giornalieri/settimanali o mensili per il periodo temporale dal 15 febbraio al 31 maggio 2020 per i settori maggiormente coinvolti dalle misure di lockdown (ossia generazione elettrica, industria, riscaldamento, trasporto stradale, trasporto marittimo e aereo) per ciascuna regione italiana. La figura 1 (a e b) mostra la variazione a livello nazionale delle emissioni dei singoli inquinanti stimate durante il primo lockdown ("Lock" nel grafico) confrontate con uno scenario base ("Base" nel grafico), che rappresenta una stima delle emissioni che ci sarebbero state se non fosse intervenuta la pandemia. I grafici mostrano variazioni consistenti dalla metà di marzo alla fine di aprile, mentre nel mese di maggio, con l'alleggerimento delle misure, si osserva una leggera risalita delle emissioni per quasi tutti gli inquinanti.

Nella figura 2 viene mostrato il contributo alla variazione delle emissioni degli inquinanti atmosferici dei settori coinvolti dalle misure di lockdown. Il settore che ha maggiormente trainato la riduzione è il trasporto stradale, con un contributo alla riduzione degli NO_x totali di circa il 60%, del PM_{2,5} di circa il 66% e di circa l'87% per il CO totale. Il settore industriale ha maggiormente inciso sulla riduzione delle emissioni di SO_x (circa 90%) e Covnm (circa 80%). Il

settore residenziale/terziario ha registrato un incremento delle emissioni di PM_{2,5}, legato alla maggiore presenza delle persone nelle abitazioni e quindi a un maggior utilizzo della biomassa (legna e pellet) per il riscaldamento, che vista la stagionalità dell'inquinante risulta più marcato nei mesi di marzo e aprile dove il riscaldamento era ancora acceso. Il settore marittimo ha poi contribuito a una riduzione delle emissioni di NO_x di circa l'8% e di SO₂ di circa il 3%.

Il grafico in figura 3 mostra il contributo delle regioni alla riduzione delle emissioni totali per inquinante, dove, per

facilità di lettura, sono state esplicitate le regioni con un contributo maggiore o uguale al 5% di riduzione su almeno un inquinante, mentre le restanti regioni sono state inserite nella voce "Altre regioni". La Lombardia rappresenta il territorio che offre il maggior contributo alla riduzione di tutti gli inquinanti che, in funzione dell'inquinante, oscilla tra il 15% e il 21%, seguita dall'Emilia-Romagna, entrambe regioni in cui il lockdown è partito prima rispetto alle restanti regioni italiane.

Il progetto Pulviris consente, inoltre, una più dettagliata analisi per regione

FIG. 3
CONTRIBUTO DELLE REGIONI

Riduzione delle emissioni per inquinante.

- Altre regioni
- Veneto
- Toscana
- Sicilia
- Sardegna
- Puglia
- Piemonte
- Lombardia
- Lazio
- Emilia-Romagna
- Campania

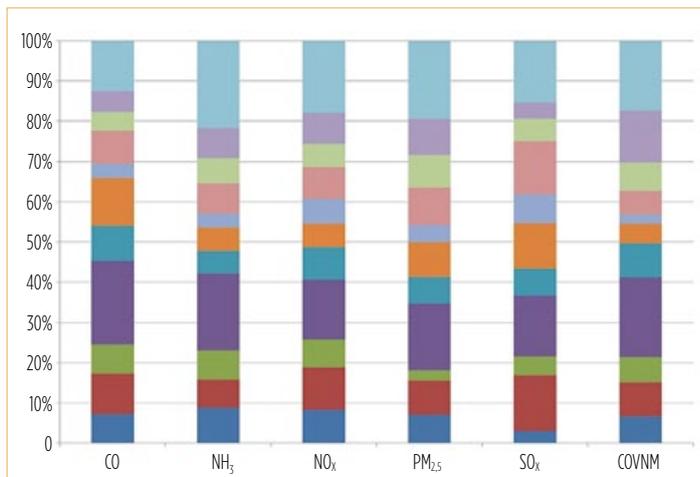


FIG. 4
VARIAZIONI MENSILI

Variazione mensile delle emissioni di NO_x e PM_{2,5} per tutte le regioni italiane.

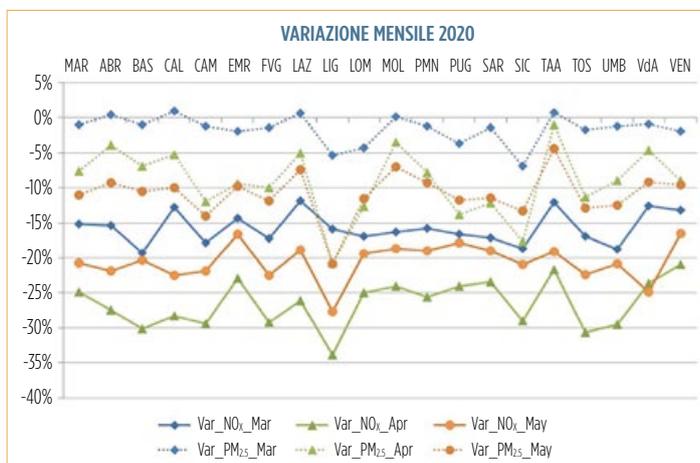


FIG. 5
EMISSIONI NO_x

Variazioni percentuali simulate di emissioni di NO_x.



(figura 4). Ad esempio, concentrandosi sulle emissioni di NO_x e $\text{PM}_{2,5}$, si osserva una maggiore variazione emissiva nel mese di aprile per gli NO_x , con variazioni che oscillano dal 21% al 35% e nel mese di maggio per il $\text{PM}_{2,5}$ con variazioni dal 5% al 20%. Il diverso comportamento del particolato è attribuibile, come evidenziato in precedenza, all'incremento delle emissioni nel settore residenziale più marcato nei mesi di marzo e aprile dove il riscaldamento era ancora attivo nelle regioni italiane.

Per quanto riguarda la variazione spaziale delle emissioni, considerando a titolo di esempio gli NO_x (figura 5), si notano ancora una volta maggiori riduzioni delle emissioni nel mese di aprile che in alcune aree urbane raggiungono il 60%. Maggiori informazioni sono disponibili in D'Isidoro et al. (2022) e sul sito del progetto (www.pulviris.it/index.php/documentazione-obiettivo-2) da cui è possibile scaricare tutti i rapporti tecnici prodotti nel corso del progetto che si è appena concluso.

A cura dell'obiettivo 2 del progetto Pulviris

Referenti: Ilaria D'Elia e Antonio Piersanti, ricercatori del Laboratorio di inquinamento atmosferico dell'Enea

GRUPPO DI LAVORO OBIETTIVO 2 PULVIRIS

Le attività dell'obiettivo 2 hanno coinvolto 38 ricercatori di

- Enea: Ilaria D'Elia, Antonio Piersanti, Gino Briganti, Massimo D'Isidoro, Lina Vitali, Mario Adani, Andrea Cappelletti, Luisella Ciancarella, Felicità Russo, Giovanni Vialetto, Mihaela Mircea, Maria Gabriella Villani
- Ispra: Daniela Romano, Riccardo De Lauretis, Ernesto Taurino, Andrea Gagna, Antonella Bernetti, Emanuele Peschi, Antonio Caputo, Monica Pantaleoni, Marina Colaiezzi
- Arpa Emilia Romagna: Michele Stortini, Roberta Amorati, Giulia Giovannini, Giorgio Veratti (UniMoRe)
- Arpa Lombardia: Alessandro Marongiu, Giuseppe Fossati, Pierfrancesco Bonamassa, Marco Moretti, Elisabetta Angelino, Edoardo Peroni, Guido Lanzani
- Arpa Veneto: Silvia Pillon, Laura Susanetti
- Arpa Lazio: Laura Bennati, Silvia Barberini, Andrea Bolignano
- Iss: Maria Eleonora Soggiu

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- D'Isidoro M., D'Elia I., Vitali L., Briganti G., Cappelletti A., Piersanti A., Finardi S., Calori G., Pepe N., Di Giosa A., Bolignano A., Zanini G., 2022, "Lessons learnt for air pollution mitigation policies from the Covid-19 pandemic: The Italian perspective", *Atmospheric Pollution Research*, 13, 2022, 101620, <https://doi.org/10.1016/j.apr.2022.101620>.
- Guevara M., Jorba O., Soret A., Petetin H., Bowdalo D., Serradell K., Tena C., Denier van der Gon H., Kuenen J., Peuch V.-H., Pérez Garcia-Pando C., 2021, "Time-resolved emission reductions for atmospheric chemistry modelling in Europe during the Covid-19 lockdowns", *Atmos. Chem. Phys.*, 21, 773-797, <https://doi.org/10.5194/acp-21-773-2021>.
- Marongiu A., Angelino E., Malvestiti G. et al., 2022, "Emission estimates and air quality simulation on Lombardy during lockdown", *Air Qual Atmos Health*, <https://doi.org/10.1007/s11869-022-01265-1>.



L'ANALISI DELLE SIMULAZIONI CON MODELLI DI CALCOLO

I MODELLI DI CALCOLO SONO STATI GLI STRUMENTI UTILIZZATI PER VALUTARE GLI EFFETTI DEL LOCKDOWN SULLA QUALITÀ DELL'ARIA. ATTRAVERSO L'ELABORAZIONE DELLE CATENE MODELLISTICHE SONO STATI MESSI A CONFRONTO GLI EFFETTI DI DUE SCENARI A PARITÀ DI CONDIZIONI METEO: UNO CON LE MISURE ANTI-COVID E L'ALTRO IN ASSENZA DI TALI MISURE.

La pandemia da Covid-19, nella sua tragicità, ha offerto un'opportunità pressoché unica di simultaneo abbattimento delle emissioni da diversi settori a elevato impatto: la fatalità ha messo forse in piedi il più grande esperimento di diffusione atmosferica su scala globale della storia. I ricercatori di tutto il mondo hanno potuto così mettere alla prova i loro strumenti e studiare in maniera approfondita le relazioni tra emissioni e concentrazioni. Il progetto ha fornito la prima valutazione dell'impatto sulla qualità dell'aria delle misure restrittive, relative al periodo febbraio-maggio 2020, attraverso l'uso dei modelli nazionali Minni, di Enea, e kAiros, sviluppato e mantenuto dalla struttura IdroMeteoClima di Arpa Emilia-Romagna, sulla base di una convenzione con Ispra, alle risoluzioni spaziali orizzontali rispettivamente di circa 4 e 7 km.

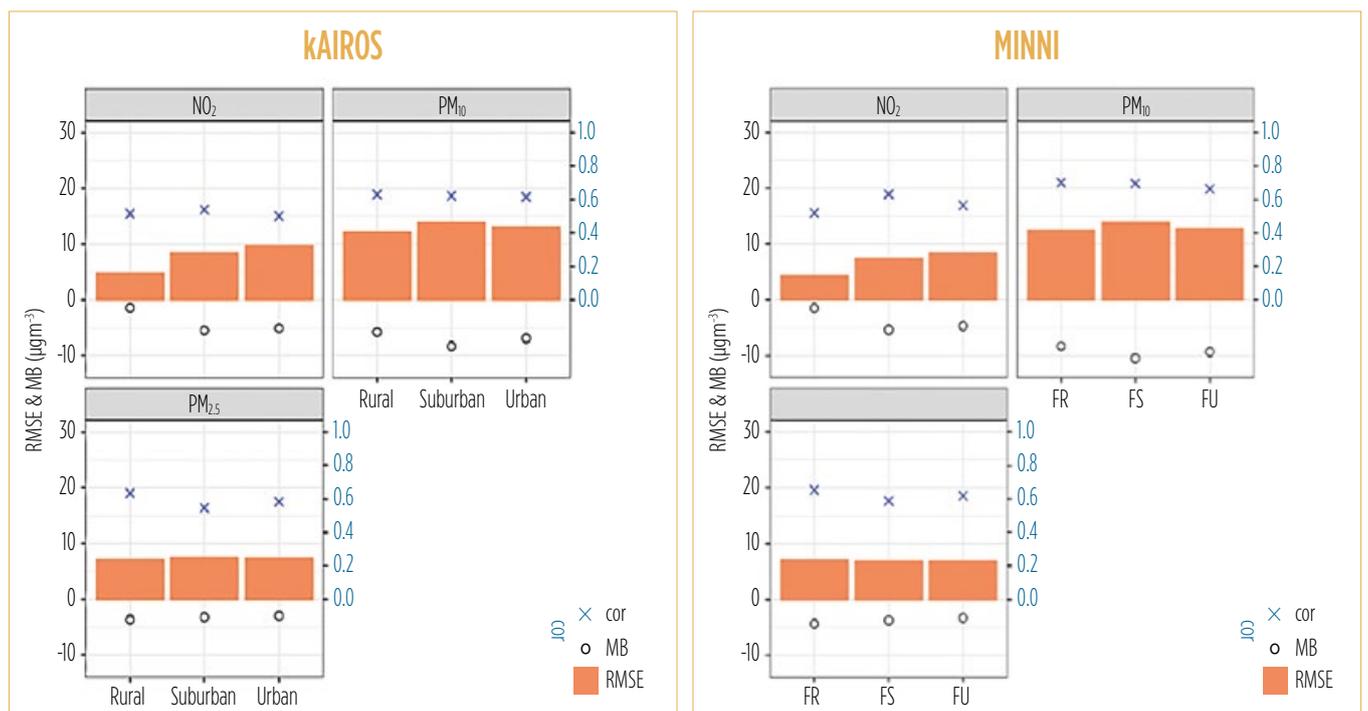


FIG. 1 INDICI DI PRESTAZIONE
Indici di prestazione calcolati su base mensile e mediati sul periodo simulato per i modelli kAiros (a sinistra) e Minni (a destra).

Entrambe le catene modellistiche hanno elaborato due scenari a parità di input meteorologico: lo scenario *lockdown*, costruito ipotizzando l'effetto sulle emissioni delle misure restrittive adottate in Italia per contenere la diffusione del virus Covid-19 durante la prima ondata della pandemia (febbraio-maggio 2020) e lo scenario base, in assenza di tali misure.

I due sistemi modellistici condividono lo stesso database emissivo provinciale per i casi base e *lockdown*.

I campi meteorologici di analisi per l'anno 2020 sono stati prodotti con il modello meteorologico ad area limitata Cosmo-Med (kAiros) e Wrf (Minni). I codici meteo-diffusivi, applicati off-line, sono Chimere 2017 (kAiros) e Farm 5.1 (Minni). Le condizioni al contorno per kAiros sono state fornite da Ineris, mentre Minni ha impiegato i campi europei Cams, autoprodotti nell'ambito dell'esercizio modellistico Cams71/Covid.

Modelli e variazioni emissive temporanee

I modelli di qualità dell'aria sono in grado di riprodurre l'effetto di significative variazioni emissive circoscritte a un periodo temporale limitato?

Per poter rispondere a tale interrogativo, si è condotta la validazione dei modelli confrontando gli output della simulazione *lockdown* con le osservazioni valide della rete di monitoraggio nazionale. Considerate le risoluzioni dei modelli, non adatte a intercettare variazioni a scale spaziali locali, sono state scelte solo le stazioni di fondo di tipo rurale (Fr), urbano (Fu) e suburbano (Fs). Sono stati selezionati i seguenti indici statistici di prestazione: Rmse (*Root mean square error*), cor (*indice di correlazione*) e Mb (*mean bias*). La sintesi dei risultati è riportata in *figura 1*.

Una prima visione di insieme esalta l'omogeneità nelle prestazioni dei due modelli e la coerenza nei valori degli *score*, per ogni inquinante e tipo di stazione. kAiros mostra *bias* più contenuti per il PM, mentre Minni presenta correlazioni lievemente più alte. In generale, gli Rmse più elevati si riscontrano sul PM₁₀, a testimonianza della difficoltà nel trattare questo inquinante, legata a componenti primarie poco controllabili.

Possiamo quindi sicuramente affermare che la modellistica permette di prevedere, con adeguata affidabilità, gli effetti delle emissioni sulle concentrazioni di inquinanti.

Diversi inquinanti, diversi comportamenti

Come sono variate le concentrazioni degli inquinanti? Si sono evidenziati differenti comportamenti tra gli inquinanti?

Gli effetti del calo generalizzato delle emissioni sulle concentrazioni di inquinanti e sulle polveri sottili secondarie seguono dinamiche particolarmente complesse. Si è osservato un calo evidente di NO₂, a fronte di un calo relativamente modesto di polveri sottili. In *figura 2* sono riportate le differenze di

FIG. 2
NO₂

Differenze medie assolute (in alto, in unità µg/m³) e percentuali (in basso) tra simulazione lockdown e base, relative al periodo febbraio-maggio 2020. A sinistra kAiros, a destra Minni.

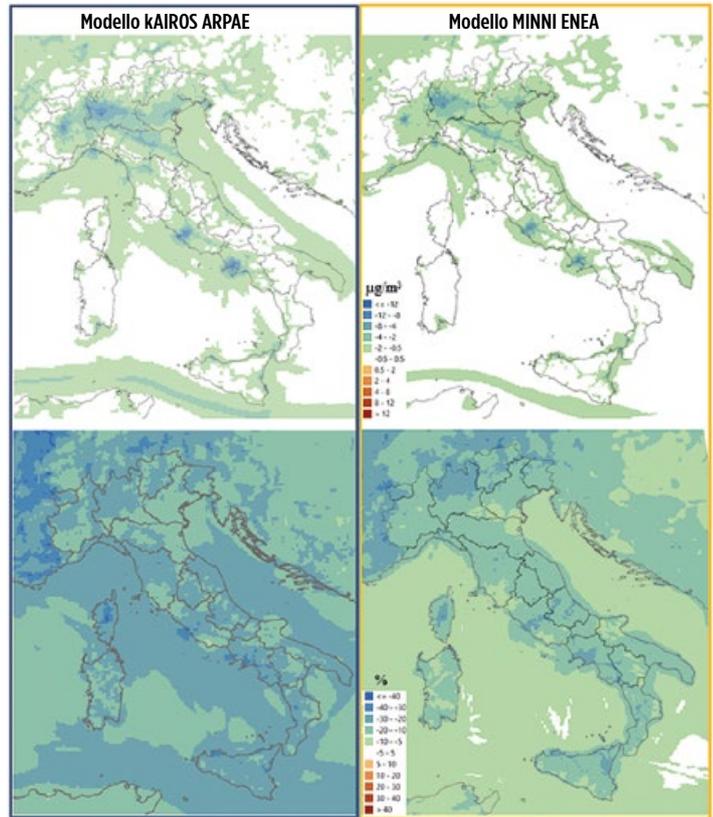
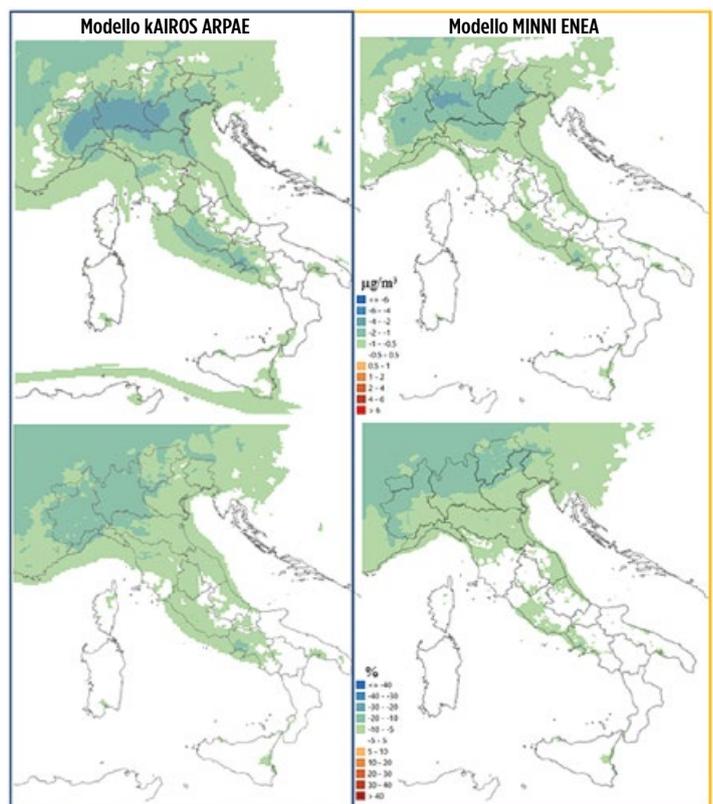


FIG. 3
PM₁₀

Differenze medie assolute (in alto, in unità µg/m³) e percentuali (in basso) tra simulazione lockdown e base, relative al periodo febbraio-maggio 2020. A sinistra kAiros, a destra Minni.



concentrazione medie di NO₂ al livello del suolo, calcolate sul periodo febbraio-maggio 2020, in termini assoluti (in alto) e percentuali (in basso). A sinistra si osservano gli output di Arpa, a destra quelli di Enea. Come già osservato nella procedura di validazione, i due modelli presentano un pattern simile sul territorio nazionale. Le omologhe mappe relative al PM₁₀ e PM_{2,5} (figure 3 e 4), avvalorano la coerenza tra i due sistemi.

Lezioni per la pianificazione

Ai fini della pianificazione della qualità dell'aria, quale lezione possiamo trarre da questo studio modellistico? Differenti simulazioni, se alimentate con input coerenti, danno a loro volta prestazioni coerenti, indipendentemente dalle diverse caratteristiche dei modelli impiegati. Noto che notevole attenzione deve però essere prestata alla selezione di misure per contenere l'inquinamento atmosferico: interventi mirati su un unico settore non necessariamente portano alle riduzioni di concentrazione auspicate, soprattutto per quanto concerne le polveri sottili. Si è visto infatti che, a fronte di un sensibile calo del flusso veicolare e delle emissioni di NO_x, che ha comportato una notevole riduzione delle concentrazioni di NO₂, non si è osservato un analogo comportamento per quanto concerne il PM, che ha una importante componente secondaria. Nel sud Italia, le variazioni di PM sono state molto contenute e ciò anche a causa di una compensazione tra la diminuzione della componente primaria delle attività industriali e del traffico, da una parte, e l'aumento delle emissioni residenziali dall'altra, essendo gran parte di tali aree non metanizzate. In pianura Padana il PM è diminuito, ma non nella misura in cui forse l'osservatore medio si sarebbe atteso: è stata abbattuta solo la componente primaria del PM₁₀, che è intorno al 30-40% (al massimo) del totale, ma non la secondaria, non essendo state limitate le attività del settore agricolo, le cui emissioni di ammoniacca

contribuiscono pesantemente alla formazione del PM. Risulta, quindi, indispensabile l'adozione di un approccio integrato che consideri gli impatti dovuti alle emissioni in atmosfera nella loro totalità, piuttosto che singolarmente.

I risultati descritti sono stati recentemente pubblicati sulla rivista *Atmospheric Pollution Research* (D'Isidoro et al., 2022) e presentati al convegno nazionale sul particolato atmosferico PM2022 (Stortini et al., 2022). Maggiori

informazioni sono, inoltre, disponibili sul sito del progetto (www.pulviris.it/index.php/documentazione-obiettivo-2)

A cura dell'obiettivo 2 del progetto Pulviris (v. il gruppo di lavoro a p. 63)

Referenti:

Gino Briganti e Lina Vitali, ricercatori Enea del laboratorio di inquinamento atmosferico, per il modello Minni

Michele Stortini (Arpa Emilia-Romagna) e Giorgio Veratti (Arpa e UniMoRe), per il modello kAiros.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

D'Isidoro et al., 2022, "Lessons learnt for air pollution mitigation policies from the Covid-19 pandemic: The Italian perspective", *Atmospheric Pollution Research*, 13, 2022, 101620, <https://doi.org/10.1016/j.apr.2022.101620>

Stortini, M. et al., 2022, "Gli effetti del lockdown 2020 sulla qualità dell'aria in Italia", Atti del convegno PM2022, <https://pm2022.iasaerosol.it/wp-content/uploads/2022/07/LIBRO-DEI-PROCEEDINGS-PM2022-VD.pdf>

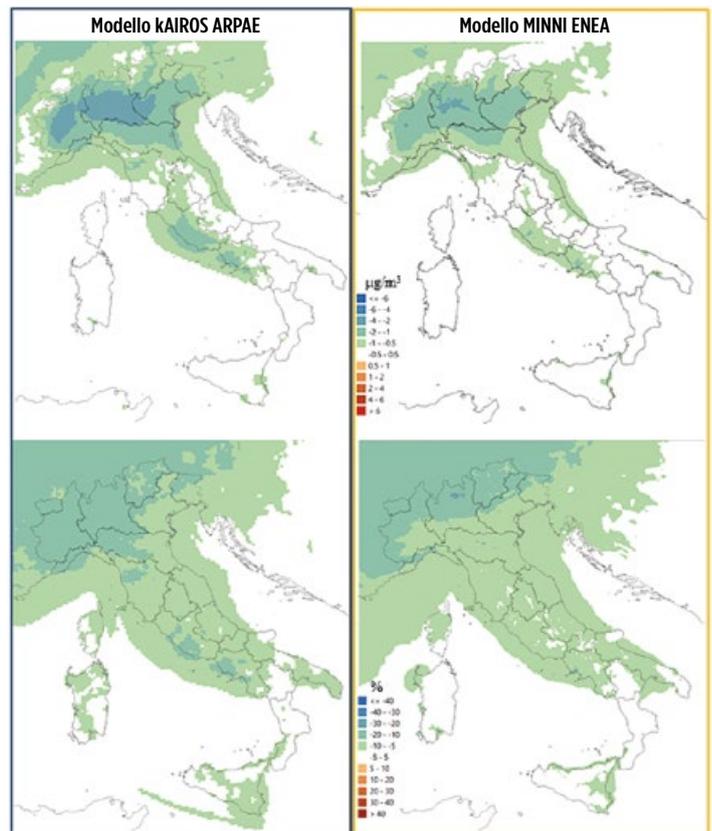


FIG. 4
PM_{2,5}

Differenze medie assolute (in alto, in unità µg/m³) e percentuali (in basso) tra simulazione lockdown e base, relative al periodo febbraio-maggio 2020. A sinistra kAiros, a destra Minni.



COVID-19 E COMPOSIZIONE DEGLI INQUINANTI NELL'ARIA

GLI EFFETTI SULLE COMPONENTI DEL PARTICOLATO ATMOSFERICO DERIVANTI DALLE MODIFICHE AVVENUTE SULLE EMISSIONI A SEGUITO DEI PROVVEDIMENTI PRESI PER LIMITARE LA DIFFUSIONE DELLA PANDEMIA. L'ANALISI È STATA FATTA CONFRONTANDO IL 2020 CON GLI ANNI PRECEDENTI E SI È SVOLTA AL NETTO DELLE CONDIZIONI METEOROLOGICHE.

Le condizioni senza precedenti che si sono venute a creare a partire da marzo 2020 in conseguenza alla pandemia prodotta da Covid-19, hanno modificato in modo sostanziale le emissioni degli inquinanti dell'aria, influenzando di conseguenza le loro concentrazioni in atmosfera. In alcuni casi, come per gli ossidi di azoto, la variazione ha prodotto un calo che è stato facilmente osservabile [1; 2], ma per inquinanti complessi, come il particolato atmosferico, l'effetto sulle concentrazioni non è immediatamente interpretabile in quanto è costituito da componenti con origini diversificate, anche distanti nel tempo e nello spazio, che hanno avuto variazioni differenti [3]. L'analisi della composizione chimica del particolato, nei siti nei quali era disponibile (figura 1), ha permesso di portare in evidenza effetti che, altrimenti, nell'insieme totale della sua massa, sarebbero stati mascherati, integrati dalle misure di altri parametri non previsti dalla norma vigente come ammoniaca o *black carbon*. Tutte le informazioni dettagliate sui siti disponibili, le analisi eseguite, i parametri studiati e i risultati ottenuti sono riportati nei report conclusivi dell'obiettivo 3 di Pulviris [4].

Nella parte primaria del particolato, cioè quella emessa tal quale dalle sorgenti, si osserva come la frazione legata al trasporto veicolare sia calata in modo evidente nel periodo del primo *lockdown*, con un effetto che si è protratto anche per buona parte del resto del 2020. Questo è confermato sia dall'osservazione diretta di traccianti della componente *exhaust*, cioè della combustione, come il carbonio elementare (figura 2), sia da analisi più complesse di *source apportionment* (come la *positive matrix factorization* [5]) (figura 3) o di *machine learning* (in particolare la *random forest* [6]). Anche l'osservazione della concentrazione oraria del *black carbon* mostra la diminuzione dell'influenza del traffico, avendo il massimo calo, rispetto

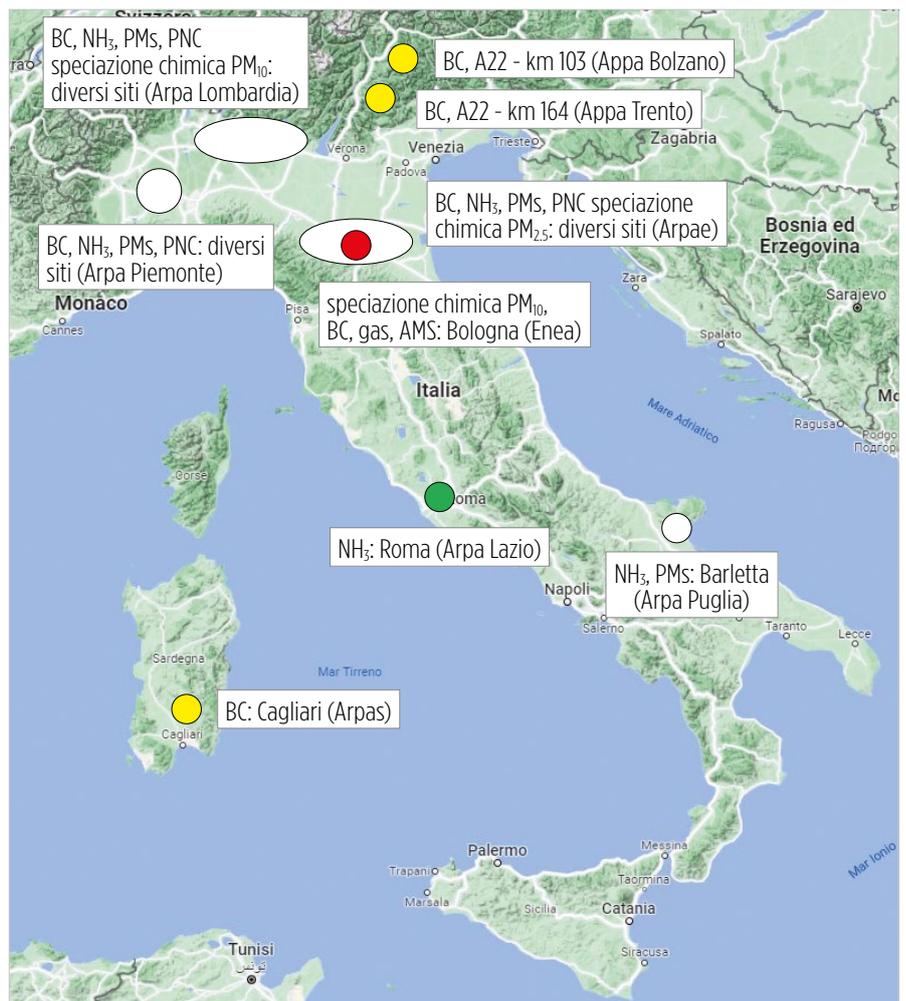


FIG. 1 SITI DI ANALISI

Siti e misure disponibili per l'approfondimento. Non essendo stato possibile programmare le misure in anticipo, dato l'evento inatteso che ha creato le condizioni in studio, sono stati raccolti i dati disponibili nel Srpa di misure in corso per altri fini e messe a disposizione dalle diverse Agenzie ambientali.



alle medie degli anni precedenti, nelle ore di punta mattutine (*rush hour*) (figura 4). La diminuzione di tutti gli indicatori del traffico considerati non si è limitata, come ci si poteva attendere, al solo periodo del *lockdown* della primavera 2020, ma si è protratta almeno fino all'autunno inoltrato, se non fino alla fine dell'anno, anche se non in tutti i siti con la stessa entità. Certamente la fine delle regole più stringenti volte a ridurre la diffusione di Covid-19 ha comportato una ripresa della mobilità ma, con elevata probabilità, la diffusione del lavoro agile (*smart working*), alcune restrizioni su attività ludico-ricreative e la didattica a distanza, per gli istituti secondari, possono aver permesso di mantenere la componente legata al traffico a livelli inferiori rispetto agli anni precedenti, con cali addirittura confrontabili con quelli avuti durante i mesi marzo-maggio 2020, cioè nel pieno del *lockdown*. L'effetto potrebbe essersi parzialmente smorzato in autunno da un lato per la ripresa, seppure parziale, delle scuole primarie, ma anche per un uso più diffuso di mezzi di trasporto propri piuttosto che pubblici, per il timore di quella che era stata definita "seconda ondata" di Covid-19, da ottobre 2020.

Un'altra componente che risulta importante in termini di massa di particolato prodotta, è quella della combustione di biomassa, caratteristica soprattutto del riscaldamento domestico, che almeno nel periodo del *lockdown*, in particolare nella seconda metà di aprile (figura 2), risulta essere cresciuta rispetto alle medie misurate nello stesso periodo negli anni precedenti. Questa condizione, che sembrerebbe in controtendenza rispetto all'andamento nel tempo sia della parte di particolato ascrivibile a questa origine tramite *source apportionment* (figura 3) sia della concentrazione del suo principale marker, il levoglucosano, potrebbe essere spiegata dalla maggior quantità di tempo che le persone sono state costrette a trascorrere in casa, e al conseguente aumento delle ore di accensione dei riscaldamenti domestici. Le due principali fonti di particolato legate alle combustioni, traffico e riscaldamento domestico, sembrano aver avuto, quindi, variazioni in versi opposti durante il *lockdown*, come confermato anche dall'osservazione del *black carbon* se diviso nelle sue componenti prodotte da *fossil fuel* e da *biomass burning* [7] (figura 5). Gli incrementi della frazione di particolato derivanti dalla combustione di legna potrebbero aver mascherato l'effetto del calo dei contributi legati ai trasporti sulla massa totale delle polveri.

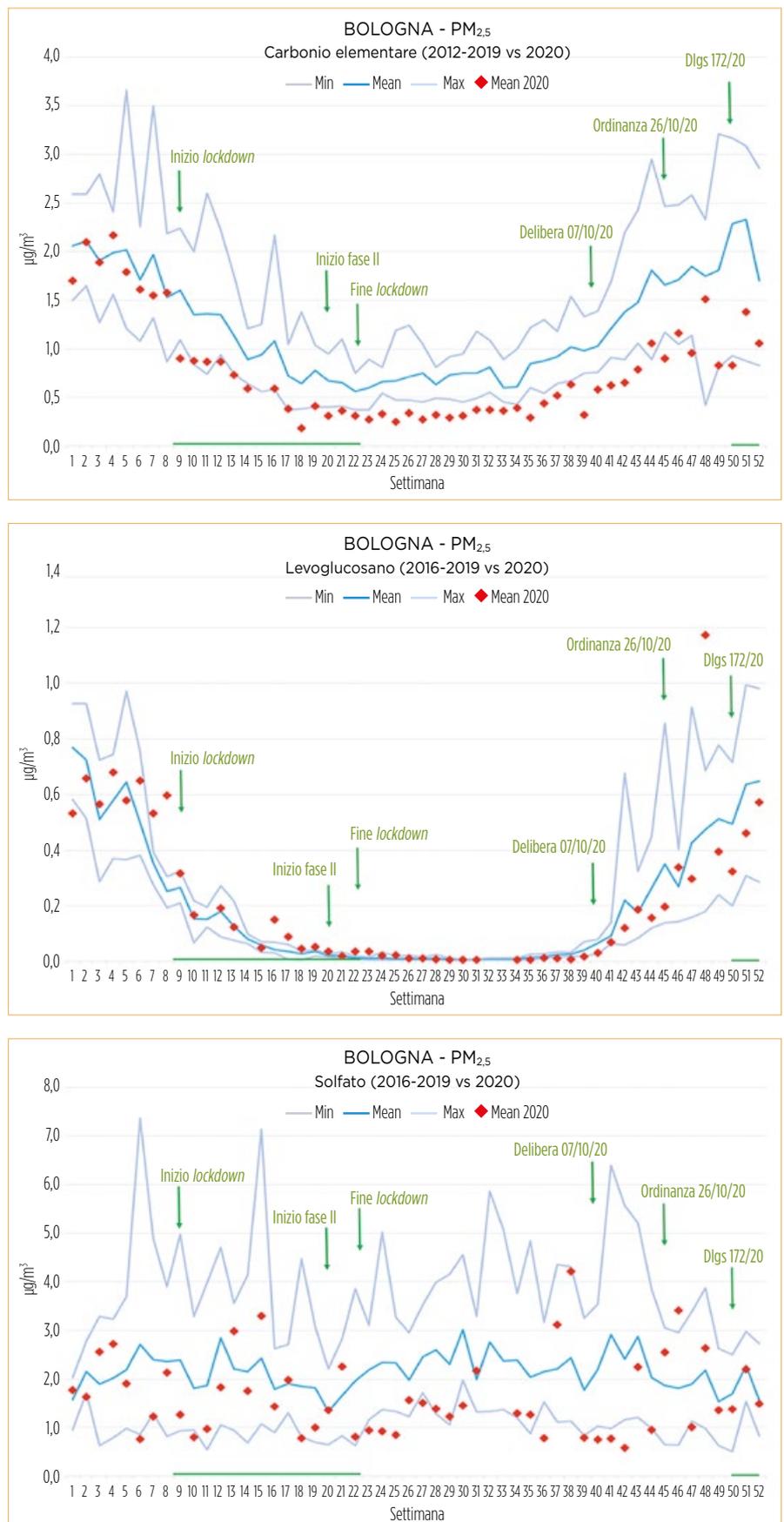


FIG. 2 COMPONENTI DEL PARTICOLATO
 Concentrazione media settimanale di alcune delle componenti chimiche del particolato. Le concentrazioni medie settimanali misurate nel 2020 (in rosso) per carbonio elementare (in alto), levoglucosano (al centro) e ione solfato (in basso) sono state confrontate con quelle registrate nella serie storica: in azzurro i valori minimi e massimi delle medie settimanali dal 2012 al 2019 (per il levoglucosano dal 2016), in blu i valori medi delle medie settimanali. In verde sono stati riportati i momenti di emanazione dei principali interventi volti a combattere la diffusione della pandemia da Covid-19. I grafici si riferiscono ai dati del PM_{2.5} di Bologna, a titolo di esempio.

La componente secondaria del particolato, cioè quella che si forma direttamente in atmosfera da sostanze precedentemente presenti, risulta sempre di difficile lettura. Nonostante i cali registrati degli ossidi di azoto [1; 2] durante il *lockdown*, la parte dell'aerosol di cui sono precursori, il nitrato d'ammonio, non mostra cali significativi se confrontata con le concentrazioni negli anni precedenti. Le analisi eseguite con le tecniche di *machine learning* mostrano un segnale di decrescita delle concentrazioni misurate rispetto a quelle attese in condizioni *business as usual* durante il *lockdown* nei siti di fondo urbano (Milano, Bologna, Parma e Rimini). Tali cali, però, sono confrontabili con la variabilità delle differenze tra concentrazioni attese e misurate espresse dal modello negli stessi periodi degli anni precedenti, quindi non è possibile assumere questo risultato come conclusivo. Considerando che quest'ultima analisi è stata fatta per valutare le concentrazioni in atmosfera al netto dell'effetto della meteorologia su di esse, una diminuzione rispetto al dato previsto sarebbe coerente con l'assunzione che la contrazione delle sorgenti dei precursori (in particolare gli

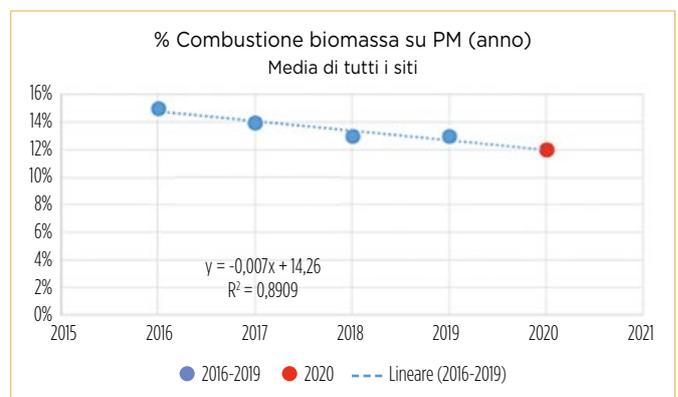
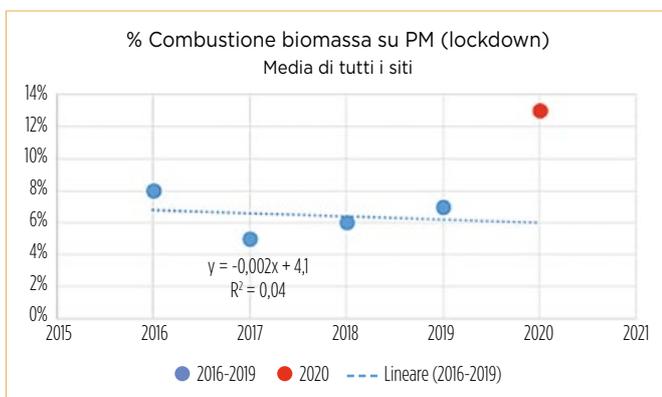
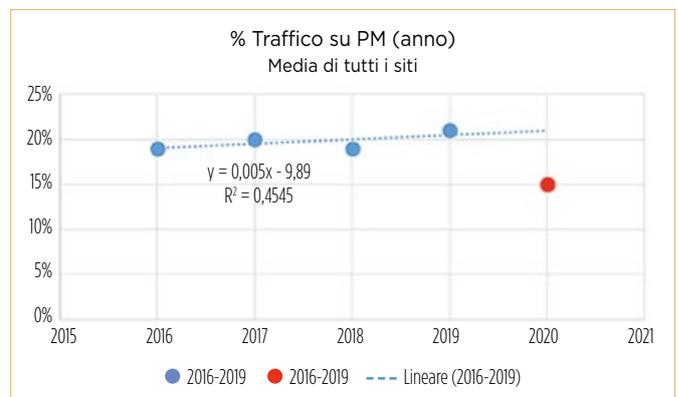
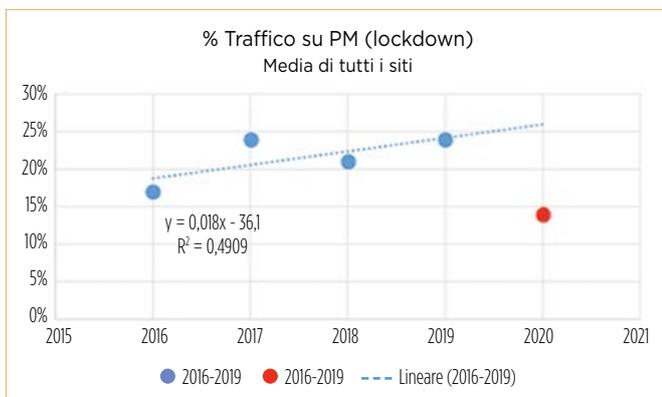


FIG. 3 FATTORI EMISSIVI DI COMBUSTIONE

Percentuale sulla massa di particolato di fattori emissivi di combustione. Con tecniche di *source apportionment* è stato possibile individuare i principali fattori emissivi legate alle combustioni (traffico – in alto - e combustione delle biomasse – in basso) e calcolarne il contributo percentuale alla massa del particolato sia rispetto all'intera annualità che nel solo periodo che nel 2020 è combaciato con il lockdown generale. I dati sono stati espressi come media di tutti i siti disponibili e si riferiscono al PM_{10} di un fondo urbano (Milano) e al $PM_{2,5}$ di tre fondi urbani (Bologna, Parma, Rimini) e un fondo rurale (S. Pietro Capofiume, BO). Si osserva come il traffico nel 2020 è stato chiaramente inferiore agli anni passati anche considerando l'intero anno, non solo durante il lockdown. La combustione di biomassa, al contrario, ha avuto un incremento durante il lockdown, ma come media annua è in linea con gli altri anni.

ossidi di azoto) abbia avuto un effetto di diminuzione della quantità di nitrato rispetto a quello che si sarebbe avuta in condizioni *business as usual*, mascherata dalle condizioni meteorologiche, ma i dati non sono sufficientemente solidi da muovere ipotesi in tal senso, sebbene le stime modellistiche [8] avessero previsto una diminuzione del nitrato d'ammonio.

La componente secondaria del particolato collegabile a un fondo continentale o comunque extraregionale e caratterizzata principalmente dal solfato e da specie organiche molto invecchiate

ha mostrato, dal confronto con gli anni precedenti, una riduzione dall'estate (figura 2).

Tale andamento potrebbe essere legato alla contrazione di una parte delle attività produttive a livello internazionale.

L'assenza di provvedimenti che riguardavano le attività agricole e zootecniche, che sono le sorgenti predominanti di ammoniaca in atmosfera [9], ha comportato una mancanza di variazione delle sue concentrazioni in ambiente nella maggioranza dei punti di misura disponibili. Siti posti in area urbana

di traffico, in una città metropolitana come Roma, invece, hanno mostrato un calo anche di questo gas (figura 6). In questi punti, evidentemente, l'importanza relativa delle diverse fonti di ammoniaca si modifica rendendo predominante la sorgente traffico, che è stata ampiamente ridimensionata dai provvedimenti contro il Covid-19. L'effetto di riduzione delle emissioni prodotte dal traffico, nei siti dove questa sorgente è la principale, come in quelli di Roma considerati, è stato talmente importante da incidere non solo su traccianti specifici, ma anche su altre specie come l'ammoniaca.

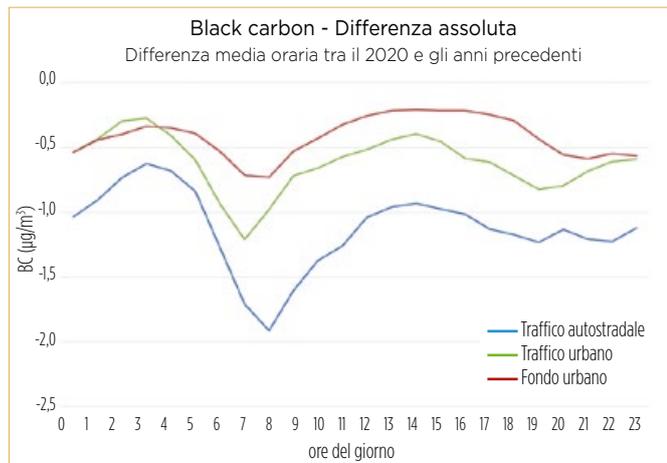


FIG. 4 BLACK CARBON

Diminuzione media oraria del black carbon nel 2020 rispetto agli anni precedenti. Nel grafico è riportata la differenza tra la concentrazione oraria misurata nel 2020 e quelle ottenute per gli anni 2017-2019 della concentrazione di black carbon in diverse tipologie di sito: di traffico autostradale (in rosso), di traffico urbano (in verde), di fondo urbano (in giallo).

Il calo nel 2020 è tanto più marcato quanto più i siti sono influenzati dal traffico. La variazione massima è stata registrata in corrispondenza delle ore di punta del mattino (*rush hour*).

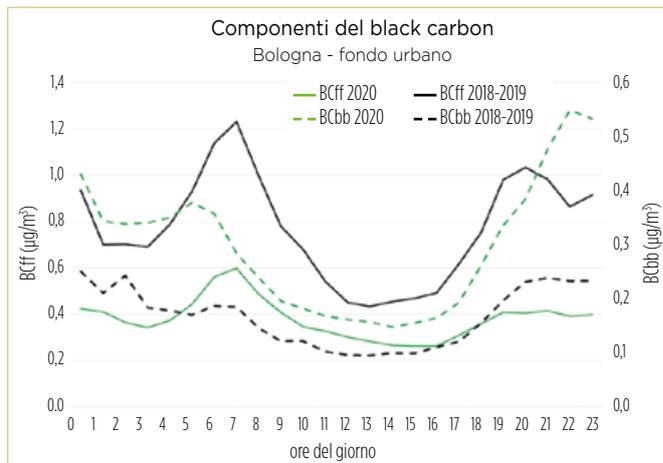


FIG. 5 BLACK CARBON

Concentrazione delle componenti del black carbon del giorno medio durante il lockdown 2020 rispetto agli anni precedenti. La concentrazione totale di black carbon può essere divisa in una componente legata alla combustione di biomassa (BCbb, linee tratteggiate) e una legata al traffico (BCff, linee continue). Il confronto tra la media oraria di queste due componenti misurate in un sito di fondo urbano di Bologna nel periodo 11/03-18/05 del 2020 (in verde) rispetto alle medie orarie degli stessi giorni del 2019 (più qualche giorno del 2018), mostrano come in seguito al lockdown si sia avuto un calo dell'incidenza del traffico e un incremento della componente legata alla biomassa.



In conclusione, un impatto sul particolato delle azioni messe in campo per combattere la diffusione della pandemia è stato osservato, per la maggior parte, nel verso della diminuzione dei contributi delle specie, anche se, in certi casi, mascherato da effetti opposti. I risultati dell'analisi con tecniche di *machine learning* confermano come le riduzioni misurate, ad esempio sulle concentrazioni di carbonio elementare, non siano dovute a condizioni di variabilità tra gli anni legate alle condizioni meteorologiche, ma siano imputabili alla variazione dei contributi antropici. Le analisi non permettono di capire con certezza se cali di altre specie siano stati celati dalla meteorologia, come potrebbe essere accaduto, ad esempio, per il nitrato. I risultati più evidenti riguardano gli effetti legati alla riduzione dei trasporti, con cali nella frazione primaria del particolato che permangono ben oltre il termine dei provvedimenti più stringenti del primo *lockdown* indicando che anche le misure messe in atto nell'autunno sembrano avere inciso in maniera consistente. Infine, sembrano diminuite anche le frazioni di particolato legate a componenti antropiche extraregionali, a fronte di una crescita, durante il solo *lockdown*, delle combustioni di biomassa.

Dimitri Bacco, Arianna Trentini, Fabiana Scotto

Arpae Emilia-Romagna

Si ringraziano per la collaborazione tutto il gruppo di lavoro dell'obiettivo 3 di Pulviris e gli istituti, gli enti e le agenzie che hanno messo a disposizione i dati da loro raccolti.

GRUPPO DI LAVORO OBIETTIVO 3 PULVIRIS

- Arpa Lazio: Maria Abbate, Pietro Liburdi
- Arpa Lombardia: Andrea Algieri, Cristina Colombi, Eleonora Cuccia, Umberto Dal Santo, Anna Di Leo, Guido Lanzani
- Arpa Veneto: Alessandro Benassi, Gianmaria Formenton
- Arpae Emilia-Romagna: Dimitri Bacco, Silvia Ferrari, Claudio Maccone, Fabiana Scotto, Arianna Trentini
- Enea: Giuseppe Cremona, Teresa La Torretta, Antonella Malaguti, Ettore Petralia, Milena Stracquadanio
- Ispra: Antonio Amoroso, Fabio Cadoni, Damiano Centioli, Alessandro Di Menno di Bucchianico, Giada Marchegiani
- ISS: Marco Inglessis, Gaetano Settimo
- Univ. Milano Bicocca: Gualtieri Maurizio

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Eea, *Air quality in Europe - 2020*, Eea Report n. 9/2020, www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report.
- [2] Progetto Life Prepair, *Report 2 Covid-19 studio preliminare degli effetti delle misure Covid-19 sulle emissioni in atmosfera e sulla qualità dell'aria nel bacino padano - Agosto 2020* www.lifeprepare.eu/wp-content/uploads/2020/09/COVIDQA-Prepair-2-17Settembre2020.pdf
- [3] www.pulviris.it/index.php/obiettivi/obiettivo-3/componenti-del-pm/
- [4] www.pulviris.it/index.php/documentazione-obiettivo-3/
- [5] Epa, "Positive matrix factorization model for environmental data analyses", www.epa.gov/air-research/positive-matrix-factorization-model-environmental-data-analyses.
- [6] Breiman L., 2001, "Random Forests", *Machine Learning*, 45, 5-32, <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1010933404324>, <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1010933404324>.
- [7] <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es702253m>
- [8] Ciarelli G., Jiang J., El Haddad I., Bigi A., Aksoyoglu S., Prévôt A.S.H., Marinoni Shen J., Yan C., Bianchi F., 2021, "Modeling the effect of reduced traffic due to Covid-19 measures on air quality using a chemical transport model: impacts on the Po Valley and the Swiss Plateau regions", *Environ. Sci. Atmos.*, 1, 5, 228-240, <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2021/EA/D1EA00036E>.
- [9] https://annuario.isprambiente.it/sys_ind/807

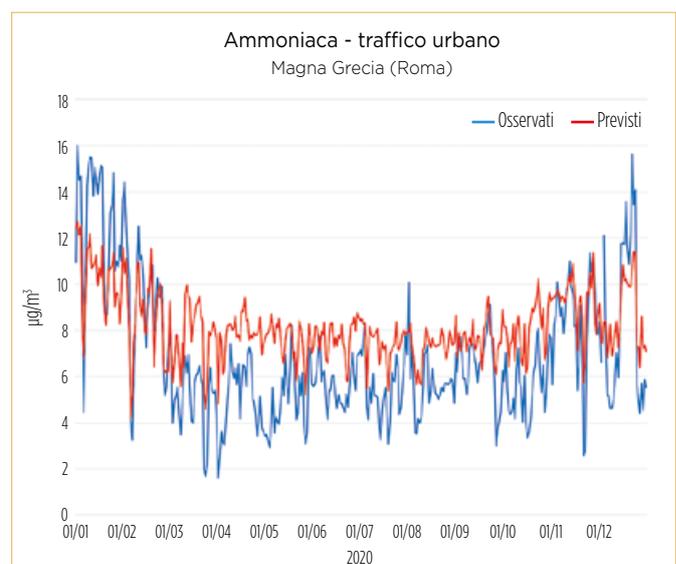
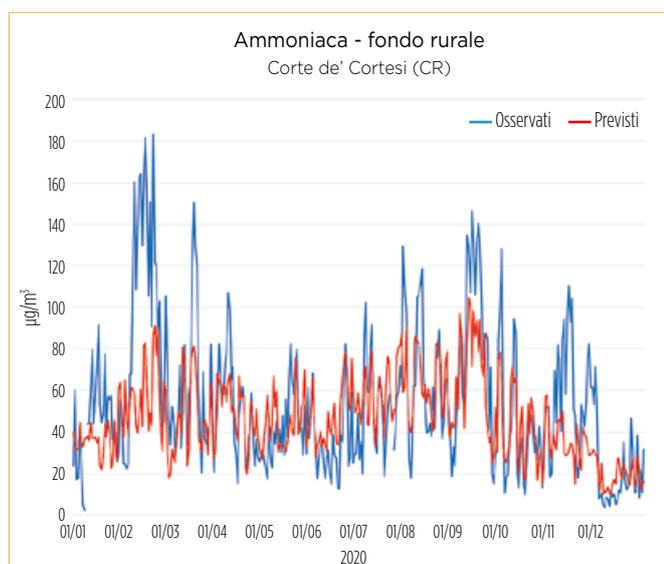


FIG. 6 AMMONIACA

Confronto tra concentrazioni di ammoniaca osservate e previste in base ad analisi di *machine learning*. L'analisi tramite *random forest* permette di calcolare le concentrazioni che ci si sarebbe dovuto aspettare in condizioni *business as usual* in base alle condizioni meteorologiche e in assenza di provvedimenti contro il Covid-19. I risultati sulle concentrazioni di ammoniaca per un sito rurale (a sinistra) mostrano l'assenza di un effetto coerentemente con il fatto che non erano previste restrizioni sulle attività agricole o zootecniche. Al contrario le concentrazioni di ammoniaca misurate in un sito da traffico in una metropoli (a destra) sono inferiori a quelle che sono state previste dal modello per effetto della contrazione dei trasporti locali.

POST LOCKDOWN, GLI EFFETTI DELLE MISURE ANTI COVID-19

RIFLESSIONI E CONCLUSIONI SUI RISULTATI DELLE ANALISI SULLA CARATTERIZZAZIONE CHIMICA DEL PARTICOLATO ATMOSFERICO IN RELAZIONE ALL'IMPATTO DELLE MISURE RESTRITTIVE DOVUTE AL LOCKDOWN SULLE SORGENTI EMISSIVE MISURATE IN UNA ZONA RESIDENZIALE DI BOLOGNA, CONSIDERATA SITO DI TRAFFICO SUBURBANO.

Le misure adottate da marzo a maggio 2020 sia a livello globale sia a livello nazionale per il contenimento della diffusione del virus Sars-cov-2 hanno determinato modifiche nello stile di vita e nelle abitudini delle persone con una conseguente ripercussione su diversi settori di sorgenti di emissione di particolato atmosferico (PM) e in particolare, a livello urbano, sul traffico veicolare.

L'attività svolta da Enea nell'ambito dell'obiettivo 3 del progetto Pulvirus si è focalizzata nella valutazione dell'effetto sulla composizione chimica del particolato atmosferico correlato all'impatto delle misure emergenziali sulle sorgenti emissive.

La caratterizzazione chimica del PM è stata effettuata attraverso campionamenti di 24h di particolato PM₁₀ su filtro su cui sono state determinate le concentrazioni in massa di PM₁₀, metalli ed elementi in traccia, ioni inorganici solubili in acqua, levoglucosano e frazione carboniosa. Sono state condotte inoltre misure ad alta risoluzione temporale delle concentrazioni in massa di carbonio elementare (EC) e organico (OC) con metodo termo-ottico, del *black carbon* (BC) con metodo ottico con risoluzione di 2h, e della frazione carboniosa non refrattaria a 600 °C (OM) con risoluzione di 30 min.

Il sito di misura (44°31'30",63 N; 11°20'40",92 E), situato in una zona residenziale della città di Bologna, si trova a circa 500 metri dalla tangenziale di Bologna e a circa 50 metri da un'arteria di traffico cittadino; può essere dunque considerato un sito di traffico-suburbano. Le analisi e il *source apportionment* hanno rivelato e quantificato il contributo relativo prevalente del trasporto merci su gomma alimentato a gasolio, rimasto sempre in attività durante il *lockdown*, e un aumento del contributo delle autovetture alimentate a benzina con la ripresa della normale circolazione e il conseguente aumento del flusso veicolare complessivo.

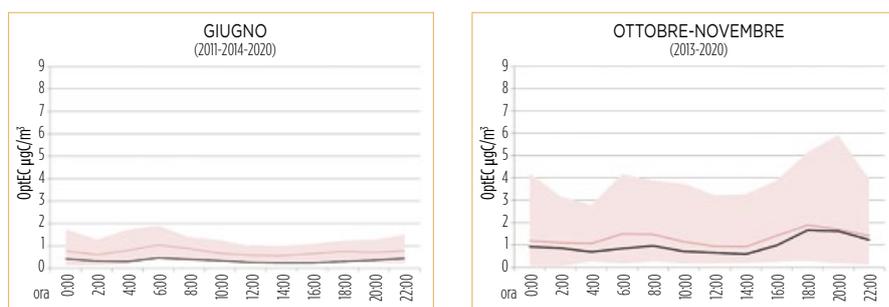


FIG. 1 BLACK CARBON

Andamento giornaliero di BC a confronto con medie di serie storiche (max e minimi nella tonalità del rosa).

— Media serie storica
— OptEC 2020 media

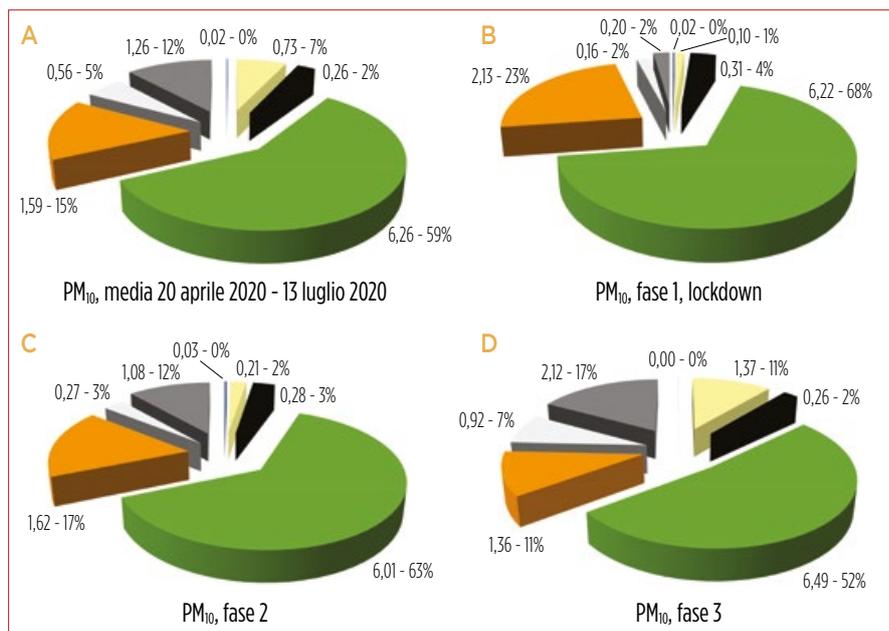


FIG. 2 PM₁₀

Composizione media dei principali componenti del PM₁₀ nell'intero periodo di campionamento.

■ Sea Salt Aerosol ■ Soil Dust ■ Elemental Carbon ■ Particulate Organic Matter
■ Secondary Inorganic Aerosol ■ Σ Metals Trace Elements ■ Other Components

Nel dettaglio la riduzione della sorgente traffico veicolare privato si è tradotta in una riduzione delle concentrazioni medie giornaliere di *black carbon* (BC), tracciante delle emissioni da traffico ma soprattutto inquinante con effetti sulla salute e sul clima, come mostrato dalle variazioni delle concentrazioni medie di BC nel periodo successivo al *lockdown* rispetto agli stessi periodi in anni precedenti (figura1).

I campionamenti di particolato PM₁₀ su filtro hanno coperto il periodo 20 aprile-13 luglio 2020. La composizione chimica delle principali componenti del PM₁₀ (*Particulate organic matter* - Pom; *Secondary inorganic aerosol* - Sia; *Aerosol sea salt* - Ssa; *Road and soil dust* - S_D; EC; metalli ed elementi in tracce non inclusi nel dust - ΣMet Trace El), per l'intero periodo considerato

e per le singole fasi è riportata nella *figura 2*. La composizione chimica relativa ha effettivamente mostrato variazioni percentuali in relazione alle varie misure restrittive regolamentate nei diversi Dpcm messi in atto in quel periodo (fasi 1-lockdown e 2 fino al 3 giugno, fase 3 dal 4 giugno 2020). Il Pom è la componente maggiormente presente nel PM₁₀ in tutte le fasi considerate, variando dal 68% nella fase 1, quella di *lockdown* più restrittivo, fino al 52% nella fase 3 caratterizzata dalla ripresa delle attività quotidiane. Le variazioni maggiori tra le fasi nella composizione chimica percentuale si rilevano nelle componenti Sia e *dust*: la prima presenta una diminuzione, mentre la seconda presenta un aumento dalla fase 1 alla fase 3.

La concentrazione media della componente *dust* presenta un incremento da 0,1 µg/m³ nella fase 1 di *lockdown* a 1,4 µg/m³ nella fase 3, attribuibile a una maggiore densità (flusso) del traffico veicolare nell'ultima fase.

Nella composizione del Sia è stato determinato un maggior contributo della concentrazione media dello ione solfato (0,77 µg/m³) rispetto allo ione nitrato (0,30 µg/m³) sia nell'intero periodo sia nelle diverse fasi (*figura 3*). Il solfato può essere associato in parte al fondo sovra regionale o continentale e in parte alle emissioni dei motori diesel e di oli combustibili pesanti. Il minor contributo al secondario inorganico del nitrato può essere legato sia alla diminuzione delle sorgenti emissive nella prima fase sia al calo di concentrazioni che si registra normalmente nella stagione estiva.

È stata eseguita una analisi di *source apportionment* con metodologia Pmf-Epa (G. Norris, R. Duvall, 2014) a partire dai valori giornalieri misurati tra il 21 aprile e il 13 luglio 2020 sul particolato PM₁₀ sulle concentrazioni in massa dei parametri PM₁₀, EC, OC, Al, Si, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Pd, Ba, Pb, Cd, NO₃⁻, SO₄²⁻, NH₄⁺, levoglucosano, NO_x, benzene, toluene.

Sono stati individuati 4 fattori corrispondenti ad altrettante macro-sorgenti emissive.

Il primo fattore, che vede un contributo elevato di levoglucosano (*marker* della combustione di biomassa legnosa), è stato identificato come combustione residenziale e da attività commerciali (pizzerie, panifici ecc.).

Il secondo fattore con predominanza di Al, Si, Ca, Ti, Mn, Fe e Zn è stato associato a terrigeno e risospensione stradale.

Il terzo fattore presenta valori elevati di Ba insieme a EC (maggior di

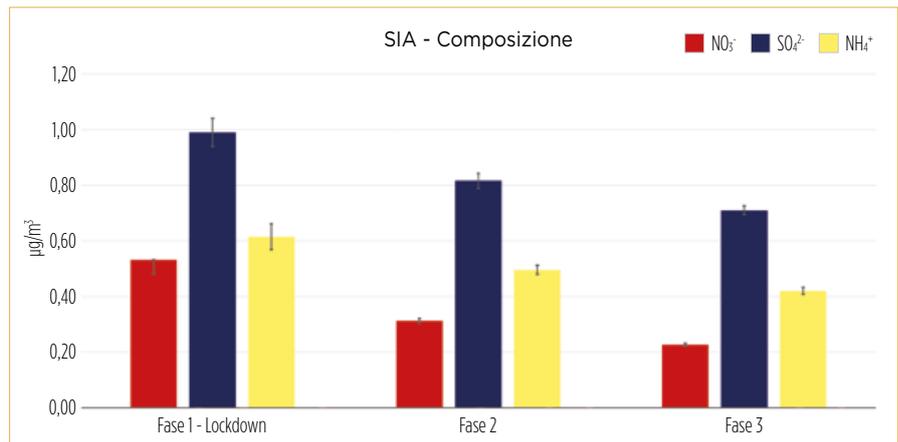


FIG. 3 SECONDARY INORGANIC AEROSOL
Composizione media (± errore standard della media) del SIA espressa in µg/m³ nelle tre fasi.

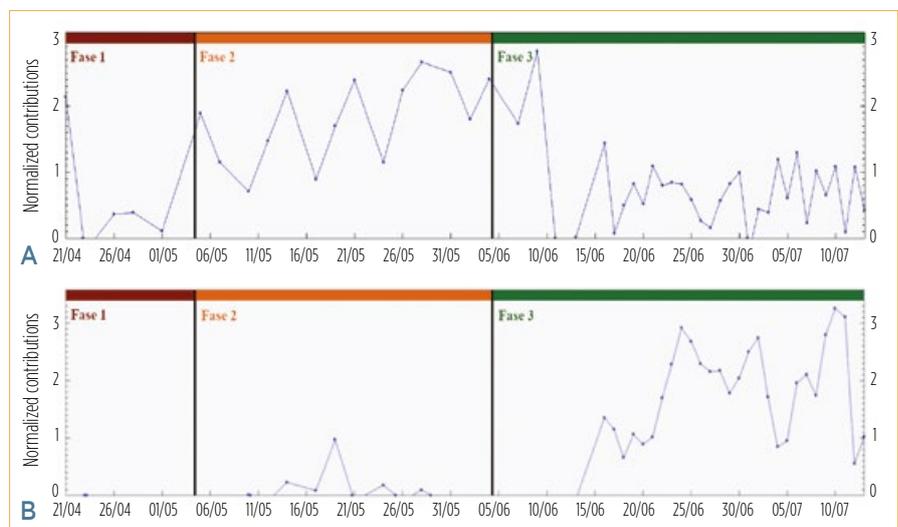


FIG. 4 SORGENTI DI TRAFFICO
Sorgente traffico diesel (a), sorgente road and soil dust (b).

OC), SO₄²⁻, NO_x e benzene ed è stato identificato come traffico veicolare "diesel".

Il quarto fattore con OC (maggior di EC), Cr, Pd, Ba, Pb, Cd e benzene è stato associato a traffico veicolare "benzina", per lo più corrispondente alle automobili. In sintesi si possono trarre le seguenti considerazioni riportate nella *figura 4*.

Fasi 1 e 2: nonostante la riduzione del traffico, tale sorgente rimane comunque preponderante per questo sito residenziale. L'analisi Pmf ha evidenziato come nella fase di *lockdown* la sorgente "traffico" fosse maggiormente rappresentata da emissione di motori diesel, verosimilmente in relazione a veicoli per il trasporto merci su gomma: il settore della logistica è rimasto sempre in attività durante tutto il periodo. È interessante, a conferma di ciò, sottolineare che i giorni di minimi relativi durante il primo periodo coincidono per la quasi totalità con le domeniche o giorni festivi, in cui la circolazione di mezzi pesanti è ridotta per legge.

Fase 3: con la ripresa della normale circolazione aumenta il numero di veicoli circolanti, in particolare quelli alimentati a benzina, come confermato dall'aumento delle concentrazioni di benzene (tracciante del traffico veicolare in ambiente urbano), NO_x e polveri da risospensione stradale. Da sottolineare una decrescita per effetto dell'innalzamento delle temperature esterne, con il conseguente aumento del volume di diffusione degli inquinanti in atmosfera (aumento dell'altezza del *boundary layer*) e la diminuzione della concentrazione in massa degli inquinanti in aria ambiente.

Maggiori dettagli sono disponibili sul sito del progetto, nella documentazione dell'obiettivo 3 (www.pulviris.it/index.php/documentazione-obiettivo-3).

Teresa La Torretta

Laboratorio inquinamento atmosferico, Enea

LA VARIAZIONE DI CO₂ A LAMPEDUSA NEL LOCKDOWN

LA STAZIONE ENEA DI OSSERVAZIONI CLIMATICHE DI LAMPEDUSA È UN SITO DI MISURA DI FONDO, OSSIA NON INFLUENZATO DA SORGENTI ANTROPICHE LOCALI. IN CORRISPONDENZA DELLA DIMINUIZIONE DELLE EMISSIONI DEL 2020, IL TASSO DI CRESCITA ANNUALE DELLA CO₂ NON PRESENTA SIGNIFICATIVE RIDUZIONI RISPETTO AGLI ANNI PRECEDENTI.

Le politiche di contenimento della pandemia del virus Sars-cov-2 hanno profondamente influenzato le nostre abitudini portando a ridurre per alcuni mesi le emissioni antropiche dei gas a effetto serra in tutto il mondo. I numerosi studi di attribuzione del cambiamento climatico (si veda ad esempio Ipcc, 2013) mostrano che il riscaldamento globale in atto è legato al continuo aumento delle emissioni di gas serra di origine antropica iniziato con la rivoluzione industriale, e che solo la progressiva diminuzione delle emissioni potrà limitare l'attuale aumento della temperatura media del pianeta.

Il principale contributo delle attività umane alle emissioni dei gas serra è dovuto al rilascio di biossido di carbonio, anche denominato con una vecchia notazione anidride carbonica, CO₂. Nonostante le emissioni annuali di CO₂ nel 2020 si siano ridotte rispetto al 2019 dell'8,9% a livello nazionale e del 5,4% a livello globale, l'aumento annuo della concentrazione atmosferica di CO₂ non ha subito variazioni evidenti rispetto al periodo precedente (Wmo, 2021), anzi il tasso di crescita della concentrazione atmosferica di CO₂, sebbene sia stato lievemente inferiore a quello osservato dal 2018 al 2019, è stato superiore al tasso annuale medio di crescita nell'ultimo decennio.

La mancanza di un legame diretto e immediato tra la riduzione delle emissioni antropiche di gas serra nel 2020 e la sua concentrazione media in atmosfera è dovuta alla complessità del ciclo globale del carbonio. Le emissioni dovute alle attività umane attualmente sono circa 45 volte inferiori rispetto ai flussi naturali di carbonio tra atmosfera, oceano e biosfera. Tuttavia, la lunga vita media delle molecole di CO₂ in atmosfera produce un continuo accumulo rispetto all'età pre-industriale che, inoltre, rischia di squilibrare in maniera non del tutto prevedibile le complesse interazioni biogeochimiche



IMMAGINE: WWW.LAMPEDUSA.ENEA.IT

1



FOTO: WWW.LAMPEDUSA.ENEA.IT

2

che intervengono nel ciclo del carbonio e che sono spesso legate tra loro in maniera non lineare.

Il titolo dell'ultimo *Emission gap report* del Programma per l'ambiente delle Nazioni unite, *The Closing Window, Climate crisis calls for rapid transformation of societies* (Unep, 2022) è un chiaro richiamo alla necessità di agire al più presto se si vuole cercare di limitare l'aumento della temperatura media globale.

Nonostante nei siti direttamente influenzati dalle attività antropiche durante il periodo del *lockdown* si sia osservata una diminuzione delle concentrazioni di CO₂ indotta dalla riduzione delle emissioni antropiche (Papale et al., 2020), non si può dire lo stesso per le concentrazioni misurate

presso la stazione di osservazioni climatiche Enea di Lampedusa (www.lampedusa.enea.it) che dal 1992 contribuisce al *World data centre for greenhouse gases* (Wdgg, <https://gaw.kishou.go.jp>), un database internazionale afferente al programma *Global atmosphere watch* (Gaw) dell'Organizzazione meteorologica mondiale (Wmo). Questa differenza dipende dal fatto che la stazione Enea rappresenta un sito di fondo, ovvero un sito di misura non direttamente influenzato da sorgenti antropiche locali, le cui misure forniscono risultati geograficamente e spazialmente rappresentativi di una vasta regione, in questo caso il Mediterraneo centrale. È proprio grazie a questo tipo di stazioni distribuite in tutto il mondo

che si può valutare l'aumento globale della concentrazione atmosferica della CO₂, che è il principale responsabile dell'aumento dell'intrappolamento della radiazione infrarossa in atmosfera, il così detto effetto serra, e del conseguentemente aumento della temperatura media globale. L'aumento della concentrazione di CO₂ così come osservato presso la stazione di Lampedusa dal 1992 è mostrato nella *figura 1*, che evidenzia come in 30 anni si sia passati da valori di circa 355 a 415 ppm (parti per milione), il che corrisponde a un aumento annuo medio di 2 ppm. È bene far presente che l'aumento annuale varia nel tempo ed è del tutto analogo a quello osservato a livello mondiale, a dimostrazione che Lampedusa, oltre che rappresentare direttamente il Mediterraneo centrale, rispecchia in pieno il comportamento osservato a livello planetario. L'evoluzione temporale della CO₂ misurata a Lampedusa presenta caratteristiche generali che sono comuni a tutte le stazioni di fondo anche se caratterizzate da tempistiche e ampiezze diverse. Tra queste vi sono:

- un trend di crescita che riflette l'aumento del contenuto di CO₂ in atmosfera
- un ciclo annuale, che presenta un massimo all'inizio della primavera e un minimo estivo, imputabile principalmente ai processi di fotosintesi della vegetazione
- la presenza di fluttuazioni a breve termine dovute alla variabilità delle masse d'aria che raggiungono il punto di misura.

La *figura 2* mostra l'evoluzione della concentrazione media oraria di CO₂ nei mesi di marzo, aprile e maggio, per gli anni che vanno dal 2014 al 2020. Come aspettato, si osserva un aumento della concentrazione di anno in anno anche se caratterizzato da un'elevata variabilità temporale. Osservando l'andamento della CO₂ nei diversi anni, si nota che esistono pochi periodi che presentino una variabilità inferiore a quella osservata nell'aprile 2020. Questo periodo è stato quindi studiato in dettaglio per verificare se la diminuzione osservata nella metà del mese fosse dovuta alla riduzione delle emissioni antropiche legate alle restrizioni imposte dal *lockdown*.

1 Immagine satellitare dell'isola di Lampedusa; in evidenza la posizione della stazione Enea lungo la costa nord-orientale, vicino al faro di Capo Grecale.
2 Stazione di osservazioni climatiche Enea "Roberto Sarao" a Lampedusa.

FIG. 1
EVOLUZIONE CO₂

L'evoluzione della concentrazione atmosferica di CO₂ misurata a Lampedusa (in nero). La linea rossa simula l'evoluzione annuale mediante un fit non lineare.

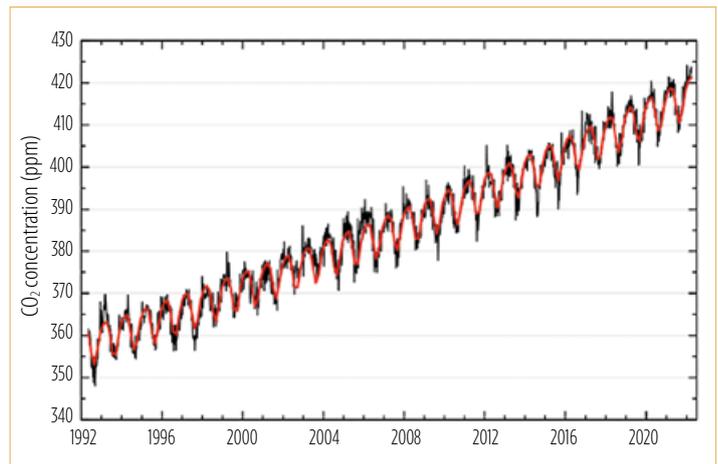


FIG. 2
ANDAMENTO CO₂

L'andamento primaverile della concentrazione di CO₂ dal 2014 al 2020 è rappresentato da linee di colori diversi. Nella primavera del 2018 le misure hanno subito un'interruzione per problemi allo strumento.

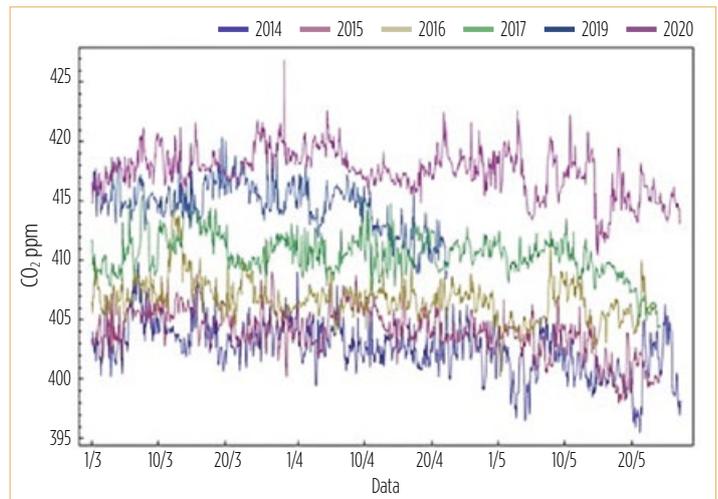
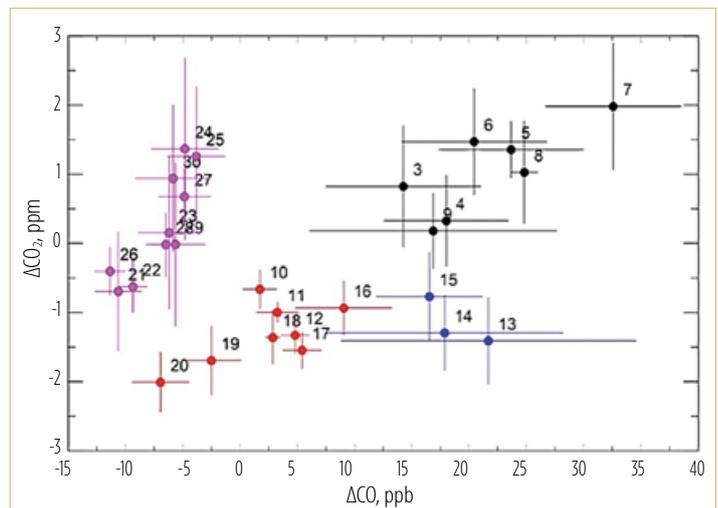


FIG. 3
DIFFERENZE CO₂ E CO

Distribuzione della differenza tra il valore medio giornaliero e il valore del fit della concentrazione di CO₂ e di CO per i dati di Lampedusa. Le barre di errore rappresentano la deviazione standard della media giornaliera, indice della variabilità delle misure. I numeri rappresentano i giorni di aprile.



Per evidenziare l'impatto che il percorso della massa d'aria ha sulla variabilità della CO₂ atmosferica si mostra il legame tra l'anomalia del valore medio giornaliero della CO₂ (differenza tra l'andamento della curva nera e della curva rossa di *figura 1*) e del monossido di carbonio, CO (*figura 3*). Il CO viene prodotto principalmente da processi di combustione di composti organici, siano essi di origine naturale, come per gli incendi o di origine

antropica, come per il traffico veicolare o la produzione industriale. L'aumento della concentrazione di CO in genere è associato a una massa d'aria maggiormente influenzata da attività antropiche.

La *figura 3* presenta la distribuzione delle anomalie di CO₂ e di CO (si veda l'analisi di dettaglio presente nel report pubblicato sul sito del progetto Pulvirus, Anello et al. 2022, www.pulvirus.it/index.php/documentazione-obiettivo-4),

denominate rispettivamente ΔCO_2 e ΔCO . Le misure si possono raggruppare in quattro periodi nel mese di aprile, evidenziati in figura da colori diversi, caratterizzati da aumenti e diminuzioni di ΔCO_2 e ΔCO avvenuti sia in maniera concorde sia opposta. Per interpretare questa variabilità delle anomalie giornaliere si è valutata la storia delle masse d'aria, calcolata con l'utilizzo di retro-traiettorie ottenute dal *Hybrid single-particle lagrangian integrated trajectory model* (Hysplit; Stein et al., 2015), in modo da individuare quali regioni abbiano influenzato le masse d'aria prima di arrivare a Lampedusa. La figura 4 mostra un esempio delle retro-traiettorie che rappresentano il percorso effettuato dalla massa d'aria prima di arrivare a Lampedusa; in questo caso si mostrano con linee di diversi colori (rossa, blu e verde) le traiettorie compiute dalle masse d'aria che giungono alle quote di 50, 200 e 400 m.

Dal confronto congiunto tra l'anomalia giornaliera di CO_2 e CO mostrata in figura 3 e l'andamento delle retro-traiettorie si evidenziano quattro distinti periodi nel mese di aprile 2020.

I dettagli di questa analisi sono riportati nel report di questa attività presente sul sito del progetto Pulviris (www.pulviris.it/index.php/documentazione-obiettivo-4), ma i risultati possono essere così riassunti:

- in un sito di fondo come Lampedusa la variabilità della concentrazione della CO_2 è prevalentemente influenzata da sorgenti non locali
- i valori maggiori di ΔCO_2 e ΔCO osservati durante l'aprile del 2022 sono legati ad aria di origine balcanica, dove erano presenti incendi di biomassa
- i valori minori di ΔCO_2 e ΔCO avvengono in corrispondenza a masse d'aria caratterizzate da traiettorie fortemente discendenti e quindi non direttamente influenzate da emissioni antropiche nei giorni precedenti l'arrivo a Lampedusa.

In conclusione l'analisi ha evidenziato come nell'aprile 2020 presso la stazione di fondo di Lampedusa non sia stato possibile rilevare un impatto diretto della riduzione delle emissioni antropiche di CO_2 legate alle politiche di contenimento della pandemia del virus Sars-cov-2, a causa della dinamica delle masse d'aria, della variabilità intrinseca del fenomeno e della relativamente piccola entità delle riduzioni che si sono verificate.

A cura dell'obiettivo 4.1 del progetto Pulviris

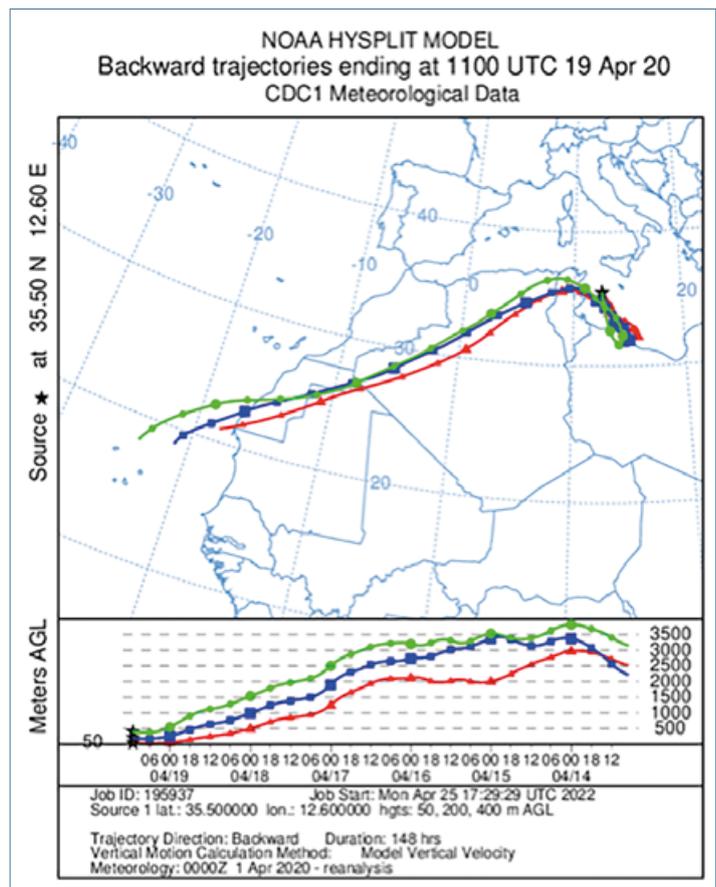


FIG. 4 MODELLO HYSPLIT

Retro-traiettorie di 7 giorni con arrivo a Lampedusa il 19 aprile 2020 alle quote di 50, 200 e 400 m. ottenute dal modello Hysplit.

GRUPPO DI LAVORO OBIETTIVO 4.1 PULVIRUS

Task 4.1 - Valutazione dell'impatto della riduzione delle emissioni sulla composizione atmosferica e sulle concentrazioni ambientali di gas serra

Enea: Fabrizio Anello, Marianna Conte, Lorenzo De Silvestri, Tatiana Di Iorio, Alcide di Sarra, Daniela Meloni, Francesco Monteleone, Giandomenico Pace, Salvatore Piacentino, Damiano Sferlazzo

Ispira: Riccardo De Lauretis, Ernesto Taurino

Arpa Sicilia: Anna Abita, Lucia Basiricò

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Anello F., Cinelli G., Conte M., Di Iorio T., di Sarra A., Meloni D., Monteleone F., Pace G., Piacentino S., Sferlazzo D.M., 2022, *Analisi della serie temporale delle misure di CO_2 e CO della Stazione di osservazioni climatiche di Lampedusa*, 30 giugno 2022, www.pulviris.it/wp-content/uploads/2022/08/Report-4.1-Analisi-della-serie-temporale-delle-misure-di-CO2-e-CO_Lampedusa.pdf

Ippc, 2013, *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, and P.M. Midgley (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

Stein A.F., Draxler R.R., Rolph G.D., Stunder B.J.B., Cohen M.D., Ngan F., 2015, "Noaa's Hysplit atmospheric transport and dispersion modeling system", *Bull. Am. Meteor. Soc.*, 96, 2059-2077, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1>.

United Nations Environment Programme (Unep), 2022, *Emissions Gap Report 2022: The Closing Window — Climate crisis calls for rapid transformation of societies*, Nairobi, www.unep.org/emissions-gap-report-2022.

Wmo, 2021, *Greenhouse Gas Bulletin, No.17: The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2020*, 25 ottobre 2021, <https://library.wmo.int>

COVID-19, ECONOMIA ED ENERGIA IN ITALIA, QUALE IMPATTO?

UN CONFRONTO TRA LA CRISI DEL 2008 CON QUELLA CAUSATA DALLE RESTRIZIONI DOVUTE ALLA PANDEMIA SUI MAGGIORI SETTORI INDUSTRIALI E SULLE CONTRAZIONI ENERGETICHE, MOSTRA UNA CORRELAZIONE TRA IL CONSUMO ELETTRICO E LA CURVA EPIDEMIOLOGICA DEL PRIMO LOCKDOWN. SI È RIDOTTA L'EMISSIONE DI GAS SERRA.

Il progetto Pulvirus ha voluto indagare i diversi effetti che la crisi pandemica ha comportato. Tra essi è stato possibile analizzare le modalità e la forza dell'impatto che l'attuazione delle misure di contenimento della diffusione del coronavirus (Covid-19) ha avuto sul sistema economico, energetico e ambientale italiano.

Come è noto, la pandemia da Covid-19, oltre alle tremende conseguenze in termini di salute pubblica, ha innescato un drastico calo del Pil nel 2020 con la conseguente crisi globale, che si è manifestata con tempi e modi differenti nei diversi Paesi. In Italia, il crollo del Pil è stato più sofferto a causa della debolezza strutturale progressiva. Infatti, la crisi legata alla pandemia è sopraggiunta mentre era ancora in atto la ripresa dalla recessione dovuta alla crisi economica globale del 2008 (*figura 1*). Nel 2009 si era registrata una contrazione del Pil del 5,4%, la riduzione più alta registrata dal 1996, seguita da un rimbalzo nell'anno successivo e da una nuova contrazione nel 2012 e nel 2013, rispettivamente del -2,7% e del -1,6%. Dal 2014 si è assistito a un triennio di ripresa, seppur lenta, culminata nel 2017 con un +1,6%, cui sono seguiti due anni di crescita positiva ma lieve. Nel 2020, lo scoppio della crisi pandemica ha causato un nuovo crollo dell'economia italiana, facendo registrare una contrazione del Pil dell'8,8%, la più profonda degli ultimi 25 anni.

Le ragioni che hanno portato a questa contrazione non sono paragonabili a quelle che hanno dato luogo alle recessioni del passato, sebbene l'andamento delle principali variabili economiche abbia registrato lo stesso segno (*figura 2*).

Si sono, infatti, registrati cali significativi negli investimenti (-15% nel 2009 contro -11% nel 2020), nelle importazioni (-13% nel 2009 contro -12% nel 2020) e nelle esportazioni (-18% contro -13%), legate alla natura mondiale del fenomeno e



alle restrizioni a esso associato in varie parti del pianeta. A differenza di quanto avvenuto nel periodo 2008-2009, nel 2020 si è registrata una più considerevole contrazione delle spese per consumi (-1% nel 2009 contro -8% nel 2020), dettata dall'elevato grado di incertezza e dalla debole domanda interna che ha riguardato non solo la contrazione dei consumi di beni durevoli, tipica dei periodi di recessione, ma anche dei beni non durevoli, a causa della contrazione del reddito disponibile delle famiglie. Il confronto dell'andamento trimestrale del Pil nazionale e dei contagi ha evidenziato l'esistenza di una chiara correlazione nei periodi di maggiore

rigore delle misure di contenimento volte a ridurre la diffusione del Sars-cov-2, che spiega il rimbalzo di crescita registrato nel terzo trimestre del Pil all'indomani delle riaperture di tutte le attività produttive e ricreative.

Le successive misure introdotte dal Governo, tra cui l'introduzione di un sistema di misure differenziato con restrizioni crescenti a seconda dell'andamento epidemiologico della regione, hanno portato a chiusure e aperture di alcune attività con frequenze diversificate a livello regionale dipendenti dall'andamento dei numeri dei contagi e dei ricoverati in ospedale.

GRUPPO DI LAVORO OBIETTIVO 4.2 PULVIRUS

Task 4.2 - Valutazione degli effetti della riduzione dovuta al Covid-19 dei gas climalteranti rientranti nella Convenzione quadro delle Nazioni Unite in termini di cambiamento climatico, con particolare riferimento agli impatti sul sistema italiano

Enea: Cecilia Camporeale, Martina Iorio, Sergio La Motta, Giacomo Pallante, Maurizio Sciortino, Marco Stefanoni, Maria Velardi

Ispra: Antonio Caputo, Marina Colaiezzi, Monica Pantaleoni, Emanuele Peschi

Se nella crisi del 2008-2009 la contrazione del valore aggiunto è stata dovuta principalmente alla pesante caduta dell'industria manifatturiera (-18,5%), con riduzioni più contenute nei servizi e nell'agricoltura (rispettivamente -2,2% e -1,5%), nel 2020, il calo è stato il risultato della forte contrazione registrata in tutti e tre i settori: agricoltura (-4,7%), industria (-11,4%) e servizi (-8,5%). Il confronto tra l'andamento dei consumi economici ed energetici e l'evoluzione delle misure di contenimento dell'epidemia adottate mostra l'esistenza di una chiara correlazione nei periodi di maggior rigore delle misure, particolarmente evidente durante il blocco totale (11 marzo - 3 maggio 2020), in cui il 45% delle aziende ha dovuto sospendere le proprie attività e oltre il 22% dopo una fase di blocco ha potuto riprenderle.

I consumi di energia finali nel 2020 sono diminuiti dell'8,9% rispetto all'anno precedente, a causa della contrazione dei consumi registrata in tutti i settori economici.

Guardando l'andamento delle principali fonti energetiche, il gas naturale ha fatto segnare una contrazione del 4,2% (pari a 68,5 Gm³) colpendo tutti i settori di impiego. Le contrazioni maggiori si sono registrate per i consumi dei settori industriale (-5,7%) e termoelettrico (-5,2%), seguiti dal settore civile (-2,7%). La graduale ripresa da maggio ha seguito la progressiva apertura delle attività economiche e sociali. Solo a luglio 2020, i consumi sono tornati a livelli normali, seguiti dalla consueta contrazione di agosto dovuta alle chiusure per le vacanze estive.

Anche i consumi di energia elettrica e di prodotti petroliferi hanno fatto registrare una contrazione rispettivamente del 5% e del 14% nel 2020, contrazioni legate alla minor domanda dovuta alle ripercussioni delle misure di contenimento dell'epidemia. La chiusura delle imprese e dei servizi ha comportato infatti una forte riduzione della domanda elettrica non compensata dall'aumento del consumo domestico dell'elettricità. In particolar modo, con l'inizio del lockdown totale (11 marzo - 3 maggio 2020), quale misura contenitiva per la diffusione del Covid-19, i consumi elettrici sono crollati rispettivamente del -10% a marzo, del -17% ad aprile e del -10% a maggio rispetto agli stessi mesi dell'anno precedente, per poi riprendersi nei mesi successivi, giacché le restrizioni per singola regione hanno inciso più modestamente sui consumi.

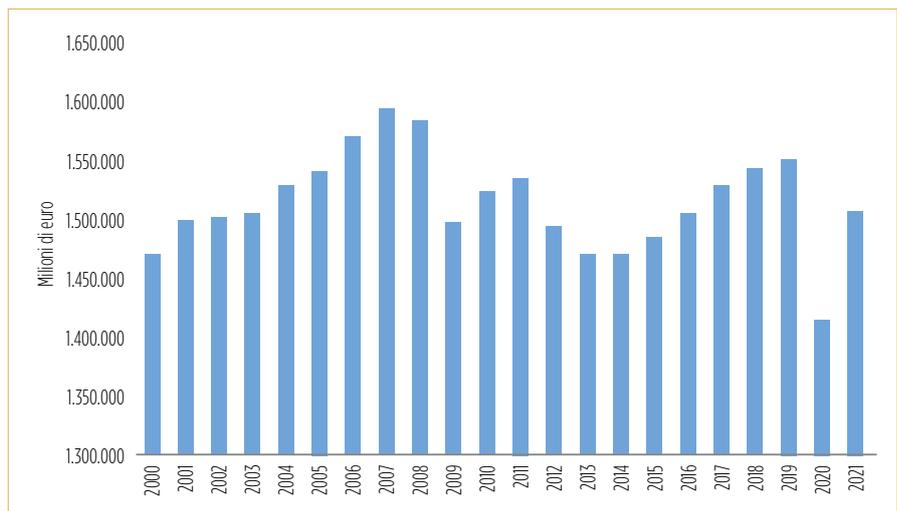


FIG. 1 ANDAMENTO VALORE AGGIUNTO
Milioni di euro, valori concatenati anno di riferimento 2015.

Fonte: elaborazione su dati Istat

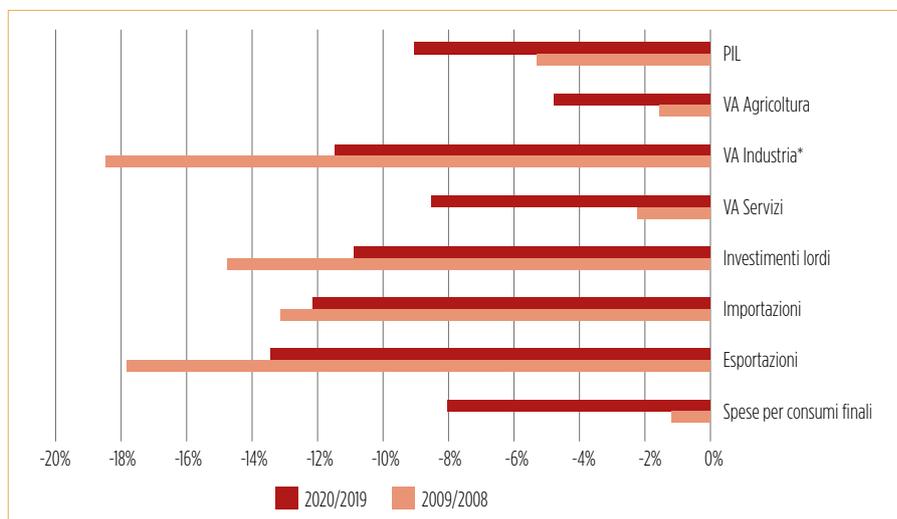


FIG. 2 VARIABILI ECONOMICHE
Andamento delle principali variabili economiche: crisi 2009/2008 e 2020/2019.

Fonte: elaborazione su dati Istat

Un approfondimento specifico sull'andamento del consumo elettrico a livello territoriale è stato condotto con riferimento alle 6 aree zonali fisiche in cui è composto il nostro sistema elettrico, per meglio cogliere quanto l'andamento della pandemia abbia inciso sull'andamento del fabbisogno elettrico a un livello quanto più geograficamente rispondente. L'analisi ha mostrato un'evidente correlazione tra il consumo elettrico e la curva epidemiologica particolarmente marcata nella prima ondata di contagi, nel periodo di lockdown marzo-maggio 2020 (figura 3). Da maggio a fine settembre 2020, i consumi elettrici sono ripresi e il numero dei contagiati è rimasto pressoché costante. Diversa è la relazione intercorrente tra consumi elettrici e seconda ondata epidemica iniziata a ottobre 2020: a Nord la variazione è stata di appena

-1,2% rispetto allo stesso mese dell'anno precedente, -0,3% per il Sud e le isole, mentre al centro i consumi elettrici sono stati pressoché stazionari. A novembre, con il peggioramento degli indici legati alla pandemia e l'attribuzione del colore rosso a diverse regioni del Nord (prima tra tutte la Lombardia) i consumi elettrici si sono contratti del -2,4%, mentre al centro la contrazione è stata del -0,8%. L'alternarsi dei colori (giallo-arancione-rosso) indica il diverso grado di restrizioni per le regioni che compongono la stessa area zonale che giustifica il recupero dei consumi in tutte le aree a partire da dicembre 2020.

Sempre legato alle restrizioni degli spostamenti a livello mondiale, nazionale e regionale è il crollo dei consumi di benzina, gasolio e carboturbo. Infatti, l'entrata in vigore del Dpcm del 9

marzo 2020 ha determinato un blocco prolungato delle attività economiche ma anche della vita sociale e della mobilità della popolazione, causando una rilevante contrazione dei consumi petroliferi, riduzione che si è estesa fino a fine agosto, mentre successivamente si è registrato un recupero dei consumi, che però sono comunque rimasti al di sotto dei livelli pre-Covid. Solo nel primo semestre 2021 tali consumi sono tornati ai livelli precedenti. Invero, se la contrazione registrata per il consumo di benzina e carburante è del tutto ascrivibile alle limitazioni alla mobilità passeggeri, sia entro i confini nazionali sia esteri, la contrazione del diesel è stata più modesta, dato che il trasporto di merci è continuato anche nei mesi con maggiori restrizioni, seppur verosimilmente in forme e modalità almeno parzialmente diverse da quelle abituali.

In termini di emissioni di gas serra, guardando all'andamento della serie storica nel suo insieme, gli effetti delle misure restrittive adottate nel 2020 hanno confermato il trend di riduzione già in corso per il settore industriale ed energetico. Nel 1990, infatti, la quota di gas serra emessi da questi settori era rispettivamente del 18% e del 27% del totale nazionale, mentre nel 2020 si attesta intorno al 12% e al 21%. Le emissioni del settore civile, composto dai settori residenziale e terziario, mostrano un andamento altalenante lungo tutta la serie storica, legato principalmente ai gradi giorno che determinano la domanda di riscaldamento e il conseguente consumo di combustibili. Per quanto riguarda i trasporti, le loro emissioni rappresentavano il 20% nel 1990, per poi salire al 25% nel 2019, a causa della crescente mobilità dei passeggeri e delle merci (+32% e +7% rispetto al 1990), mentre nel 2020, con le limitazioni della mobilità soprattutto passeggeri, il peso del settore sul totale delle emissioni è sceso al 22%. È questo il settore su cui si sono osservate le ricadute maggiori in termini di riduzione delle emissioni. I dati preliminari per il 2021 e il 2022 mostrano però una ripresa molto forte delle emissioni del settore, con probabili ricadute problematiche in merito al rispetto degli obblighi di riduzione delle emissioni derivanti dall'accordo di Parigi.

Cecilia Camporeale¹, Emanuele Peschi²

- 1. Enea
- 2. Ispra

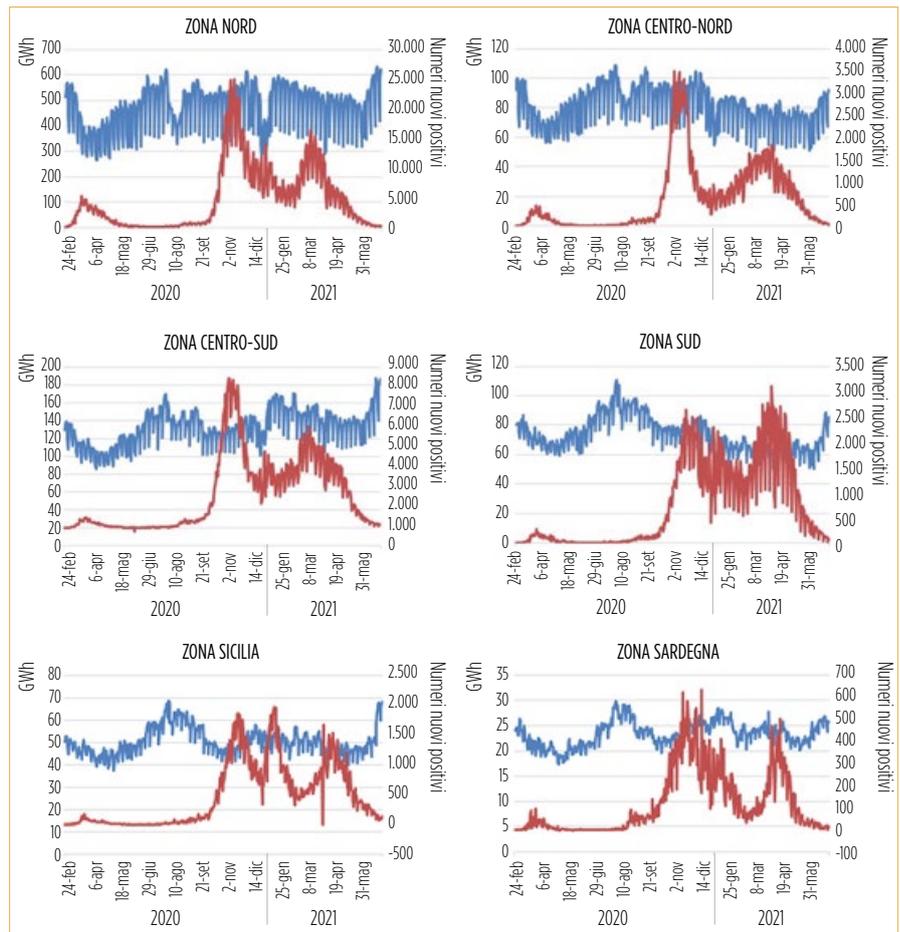


FIG. 3 CONSUMI ELETTRICI
Confronto dell'andamento dei consumi elettrici (blu) e dell'andamento dei nuovi contagi (rosso) per aree zonali.

Fonte: Elaborazione su dati Terna e Protezione civile.



QUELLO STRANO RAPPORTO FRA CORONAVIRUS E PARTICOLATO

UNO STUDIO SPERIMENTALE CON UN VIRUS MODELLO HA DIMOSTRATO CHE IL PM ATMOSFERICO È ESTREMAMENTE TOSSICO PER IL SARS-COV-2 E RIDUCE, FINO A QUASI ANNULLARE, LA SUA CAPACITÀ INFETTIVA. IL PM TUTTAVIA STIMOLA UN'ANALOGA RISPOSTA IMMUNITARIA E INFIAMMATORIA, AGENDO DA BOOSTER ALL'AZIONE DEL VIRUS.

In questi giorni di gennaio, tre anni fa, la notizia di un nuovo virus respiratorio che si stava rapidamente diffondendo in Cina aveva già iniziato a riempire le pagine dei giornali, senza intaccare la (fallace) sicurezza che era da escludere che lo stesso virus potesse abbattersi come un uragano sul nostro moderno sistema sanitario. Il virus non aveva ancora un nome, ma i sintomi della malattia virale erano talmente simili a quelli descritti nel 2002-2003 per la sindrome acuta respiratoria severa (Sars) che si passò ben presto dal più generico termine di nuovo coronavirus al nome ufficiale di Sars-cov-2. In un mese il virus era in Italia e il fatto che colpisse prevalentemente la pianura Padana, bastò per formulare l'ipotesi che il virus avesse intrecciato uno stretto rapporto con il particolato atmosferico, che abbonda in quell'area di grandi industrie, traffico sostenuto e intensi scambi commerciali, e che questo connubio fosse la reale causa di così tanti casi.

È indubbio che l'inquinamento giochi un ruolo fondamentale nell'esacerbazione delle malattie respiratorie, siano queste malattie sostenute da agenti infettivi, quali l'influenza o la tubercolosi, o patologie cronico-degenerative, quali l'asma o la broncopneumopatia cronico ostruttiva. Il comune denominatore di questa relazione è dato dalla risposta infiammatoria dell'organismo umano ad agenti estranei, biologici o chimici che siano. L'infiammazione è la conseguenza diretta della risposta difensiva messa in atto dal sistema immunitario, ed è sempre commisurata all'estensione dell'esposizione, indipendentemente dall'agente che l'ha determinata. All'aumentare dell'esposizione, per durata o concentrazione, aumenta la risposta immunitaria che sostiene l'infiammazione. Gli eventi acuti, come quelli derivati da infezioni o da picchi di inquinamento, determinano l'aumento abnorme della produzione dei mediatori

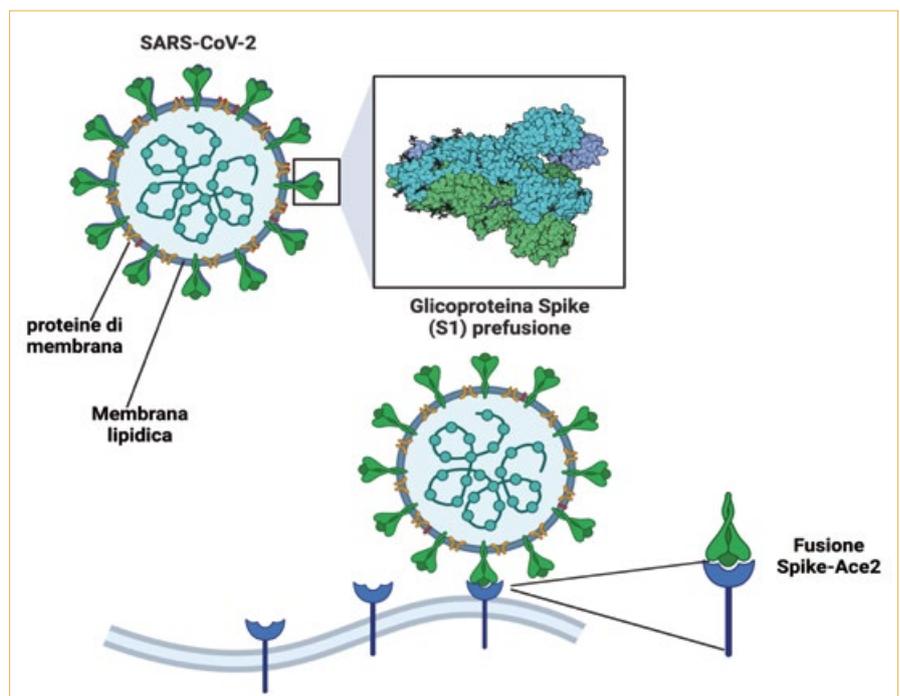


FIG. 1 STRUTTURA DEL VIRUS SARS-COV-2

Rappresentazione schematica della struttura di Sars-cov-2. Il virus presenta una membrana formata da un doppio strato di lipidi, in tutto simile alla membrana umana, e proteine di membrana, modificate dall'attacco dei glicani. La proteina spike (S1) è la glicoproteina utilizzata dal virus per agganciare le cellule umane attraverso il recettore ACE2. Le glicoproteine sono strutture flessibili e fragili che regolano il tropismo verso l'ospite e l'entrata del virus. Sars-cov-2 modifica continuamente la proteina spike, dando origine a nuove varianti in grado di evadere la risposta immunitaria.

chimici dell'infiammazione, le cosiddette citochine. L'esposizione prolungata e ripetuta a inquinanti atmosferici può invece contribuire alla cronicizzazione della risposta infiammatoria. In quei primi mesi del 2020, tuttavia, l'ipotesi che veniva avanzata da alcuni gruppi di studiosi era che il particolato servisse a veicolare il virus, facilitandone la diffusione e la capacità infettiva.

Era un'ipotesi tutta da dimostrare e, per questo motivo, uno degli obiettivi del progetto interistituzionale Pulvirus, l'obiettivo 5, fu costruito interamente sulla possibilità di identificare e comprendere quale fosse il reale rapporto tra Sars-cov-2 e PM. Sebbene la letteratura scientifica offrisse poco o nulla sul tema, che sembrava appassionare solamente i ricercatori

italiani, le poche informazioni disponibili sull'interazione di PM e virus influenzale (H1N1 o H3N4) sembrava suggerire un'azione tossica delle componenti del PM nei riguardi del virus. Sars-cov-2, al pari dei virus dell'influenza comune, è un virus incapsulato, possiede, cioè, una membrana formata da un doppio strato di lipidi, costruita a spese dell'ospite. In parole povere, Sars-cov-2, così come i suoi fratelli e cugini incapsulati, si riveste di una membrana uguale a quella delle cellule umane. Nella strategia virale, quella membrana di origine umana serve a ingannare il sistema immunitario e a facilitare la penetrazione del virus. Immerse in questa membrana ci sono le proteine, prodotte dal virus, che vengono utilizzate per legare i recettori ed entrare nella cellula ospite. Le proteine sono poi modificate da carboidrati tramite il processo di glicosilazione, per dare origine alle glicoproteine (proteine e glicani) che rappresentano strutture flessibili, ma estremamente fragili (figura 1). I glicani, infatti, possono essere distrutti da molti composti chimici, anche non particolarmente aggressivi, dal comune alcol etilico all'ipoclorito di sodio. Questa descrizione è valida per tutti i virus incapsulati, quali, ad esempio, il virus Hiv, il virus H1N1, ritenuto il virus della pandemia Spagnola, il virus dell'epatite C. Sars-cov-2 ha particolarmente curato lo sviluppo di una glicoproteina, ormai

conosciutissima con il nome di *spike*, la proteina che presenta una piccola sequenza di aminoacidi che legano con specificità ed efficienza il recettore ACE2 delle cellule umane. La *spike* è l'arma di Sars-cov-2 che, come tutte le armi dei killer navigati, viene tenuta

nascondita in una fondina, rappresentata dai glicani. Questi formano un piccolo velo di mucina, che nasconde l'arma perché sfugga alla ricognizione dello scanner immunitario. Al momento opportuno, la struttura di glicani si apre, la *spike* viene esposta e lega il recettore (figura 1).

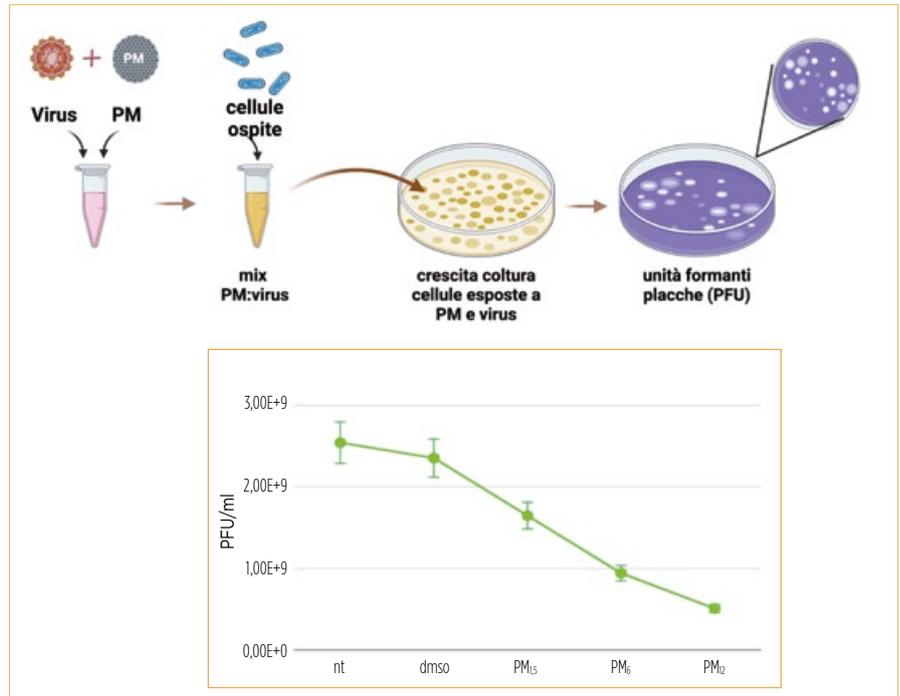


FIG. 2 INTERAZIONE TRA PM E SARS-COV-2
 Studio sperimentale per la verifica degli effetti del particolato atmosferico (PM) sulla capacità replicativa del virus. Particelle virali sono state esposte a concentrazioni crescenti di estratti organici da PM_{2.5}. La miscela di virus e PM è stata aggiunta a una coltura cellulare (cellule ospiti). Il grafico mostra come la capacità replicativa del virus, espressa come unità formanti colonie, diminuisca all'aumentare della concentrazione di estratto organico (Serra S. et al, 2023, in pubblicazione).

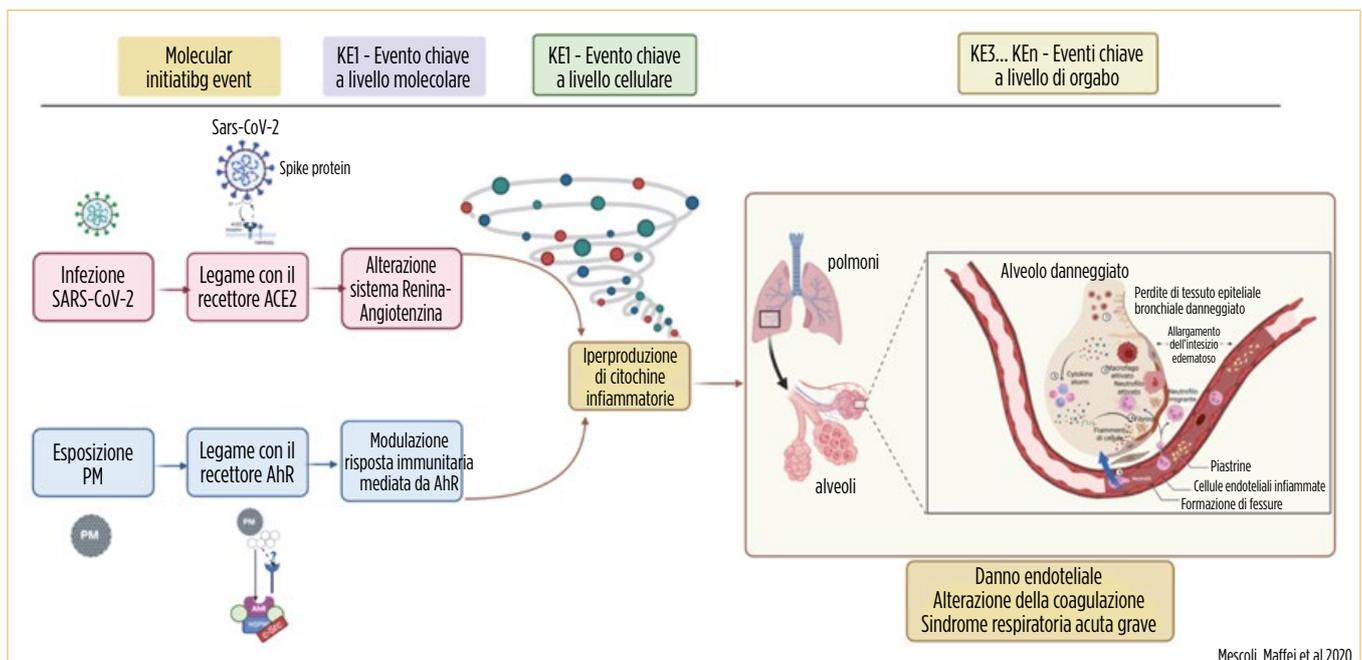


FIG. 3 EVENTI CHIAVE NELLA RISPOSTA ALL'INFEZIONE DA SARS-COV-2 E ALL'ESPOSIZIONE AL PARTICOLATO ATMOSFERICO (PM)
 Gli eventi iniziali, indipendenti e mediati da recettori diversi, convergono nella sublimazione della risposta infiammatoria dando origine al fenomeno conosciuto come tempesta di citochine (cytokine storm). Gli eventi chiave che portano al danno degli alveoli sono gli stessi e possono essere schematizzati come segue: 1) entrata dell'agente virale o chimico; 2) attivazione del sistema immunitario; 3) le citochine attivano i globuli bianchi che producono ancora più citochine, instaurando un circolo che esacerba il processo infiammatorio; 4) formazione e deposito di fibrina che concorre al danno; 5) formazioni di fessure nell'endotelio dei vasi sanguigni e aumentata permeabilità ai fluidi nella cavità dei polmoni. Con la sola infezione virale, il processo può portare a una malattia COVID-19 grave con polmonite interstiziale. L'esposizione a PM determina l'insorgenza di malattie respiratorie e patologie del polmone. Coronavirus e PM concorrono ad aumentare il danno alveolare.

L'entrata del virus è guidata dai glicani disposti lungo la proteina. La strategia infettiva del virus è, dunque, strettamente correlata all'integrità dei glicani. La fragilità delle glicoproteine diventa, così, un target per la difesa dall'infezione. Ma se le glicoproteine sono inattivate da acidi

deboli e alcol, cosa succede in presenza di molecole con maggiore tossicità, come quelle veicolate dal PM? Per rispondere a questo quesito, è stato approntato uno studio sperimentale con un virus modello, utilizzato per comprendere i meccanismi di infezione e riproduzione

di Sars-cov-2, ed è stata analizzata la capacità del virus di penetrare all'interno delle cellule e di replicarsi, in presenza di concentrazioni crescenti di estratti organici di PM, raccolto appositamente per lo scopo di questo studio. I risultati hanno chiaramente dimostrato che le componenti organiche del PM sono estremamente tossiche e riducono, fino ad annullare, la capacità infettiva del virus *figura 2*.

Il nostro studio non esclude che il PM possa trasportare il virus, o, forse, più facilmente, parti di esso, ma quella che deriva da questo connubio è una relazione tossica, in cui a soccombere è il virus. Gli studi da noi condotti hanno, tuttavia, mostrato come il virus e il PM siano in grado di stimolare la risposta immunitaria e l'infiammazione immuno-mediata attraverso gli stessi meccanismi molecolari e utilizzando gli stessi bersagli molecolari e cellulari (*figura 3*).

PM e virus penetrano per vie diverse, ma convergono sugli stessi sentieri all'interno delle cellule. Questa interazione esacerba la gravità della malattia di Covid-19, per il contributo del PM a quella tempesta di citochine che caratterizza un'abnorme risposta infiammatoria e altera la permeabilità e l'integrità dell'endotelio, evento che dà plausibilità biologica agli effetti avversi sul sistema cardiovascolare, operati sia dal virus sia dal PM (*figura 4*). I risultati ottenuti all'interno del progetto confermano che il PM ha un ruolo di *booster*, di amplificatore, negli effetti derivanti da infezioni di virus respiratori e mostrano quali sono i meccanismi attraverso cui l'amplificazione degli effetti si realizza.

Questa interazione, tuttavia, non è una cooperazione diretta tra agenti chimici e agente virale, ma un'azione portata avanti, indipendentemente, sugli stessi bersagli cellulari e che si realizza dopo che il virus e il PM sono penetrati nelle cellule polmonari, in maniera indipendente e in tempi diversi.

I risultati ottenuti dimostrano che, sebbene le componenti strutturali del PM e le glicoproteine del virus si sentano spinte le une verso le altre, l'abbraccio finale è un abbraccio mortale. La conseguenza di un'attrazione fatale.

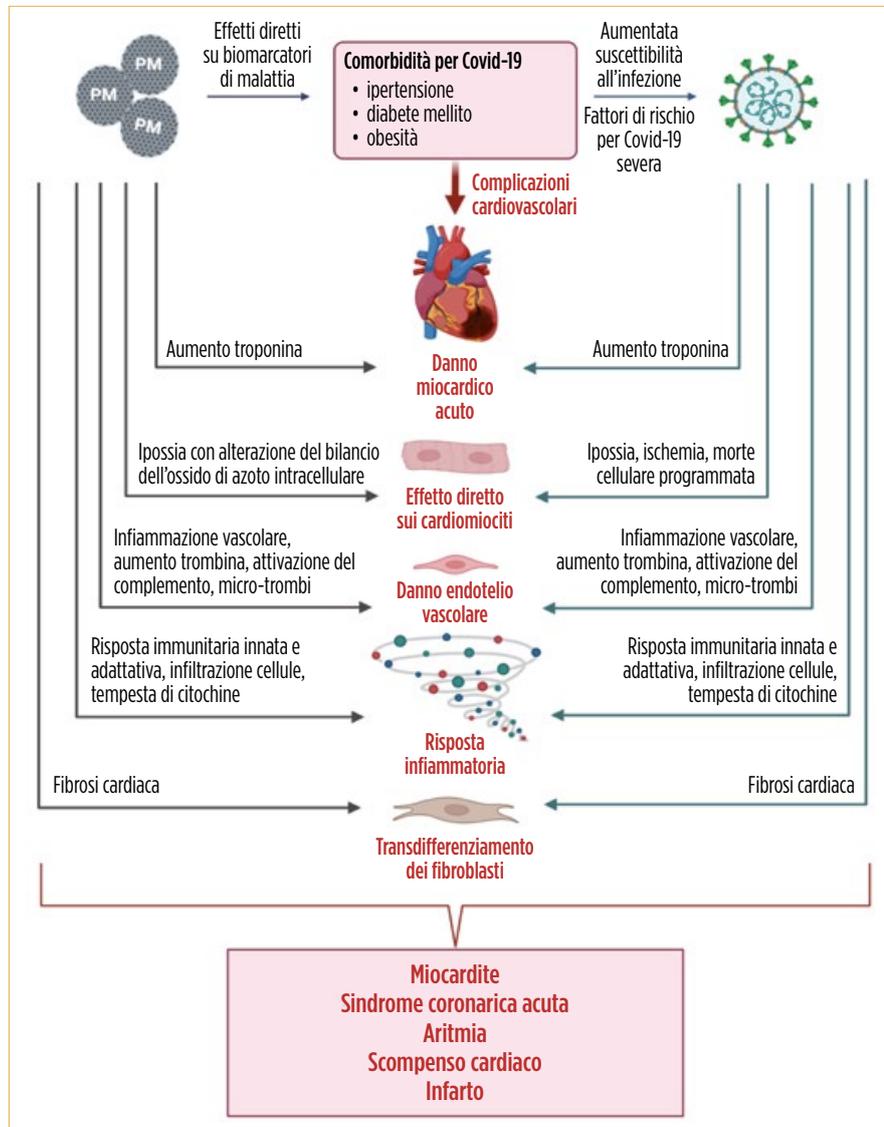


FIG. 4 PM, SARS-COV-2 E DANNO CARDIOVASCOLARE

Meccanismi condivisi dal PM e dal virus Sars-cov-2 nell'eziopatogenesi del danno cardiovascolare. Il PM ha un ruolo attivo nell'indurre modulazione dei geni coinvolti nell'insorgenza delle malattie dimetaboliche, come l'obesità, del diabete e dell'ipertensione, strettamente correlate all'obesità. Tutte queste condizioni possono essere responsabili di aumentata suscettibilità all'infezione di Sars-cov-2 e della malattia Covid-19 ingravescente. Obesità, diabete e ipertensione sono fattori di rischio per la malattia cardiovascolare. Tuttavia, sia il PM sia il nuovo coronavirus possono agire attraverso altri meccanismi coinvolti nell'insorgenza di danno cardiovascolare. La possibilità di condividere gli stessi meccanismi da parte di PM e Sars-cov-2 potrebbe facilitare o accelerare il processo di insorgenza di una patologia cardiovascolare anche in soggetti con un rischio basso.

GRUPPO DI LAVORO OBIETTIVO 5 PULVIRUS

Coordinamento: Annamaria Colacci (Arpae Emilia-Romagna)

Ob. 5.1 Responsabile: Caterina Arcangeli (Enea)

Ob. 5.2 Responsabili: Stefania Serra, Monica Vaccari (Arpae ER)

Ob. 5.3 Responsabili: Maria Grazia Mascolo, Gelsomina Pillo (Arpae ER)

Ob. 5.4 Responsabili: Stefano Marchesi, Stefano Zauli Sajani (Arpae ER)

Gdl obiettivo: Annamaria Colacci (Arpae ER), Stefania Marcheggiani (Iss), Caterina Arcangeli (Enea), Simonetta Fuser (Arpav)

Annamaria Colacci

Arpae Emilia-Romagna

Gli studi sperimentali sono stati condotti da Maria Grazia Mascolo, Gelsomina Pillo, Stefania Serra, Monica Vaccari (Struttura tematica Ambiente, prevenzione e salute di Arpae-Emilia Romagna), Federico Aldrovandi, Giangabriele Maffei e Ada Mescoli (Alma Institute on Healthy Planet, Università di Bologna)

INTERAZIONI TRA PARTICOLATO E VIRUS SARS-COV-2

L'APPROCCIO IN SILICO DEI RICERCATORI ENEA, BASATO SU SIMULAZIONI NUMERICHE, HA MOSTRATO COME VIRUS E PARTICOLATO TENDANO A INTERAGIRE. SERVONO ULTERIORI STUDI PER CAPIRE SE IL LORO LEGAME RIMANE STABILE DURANTE I PROCESSI DI DISPERSIONE E TRASFORMAZIONE DEL PM IN ATMOSFERA E SE IL VIRUS RIMANE VITALE E INFETTIVO.

La possibilità che il particolato atmosferico (PM) possa agire da vettore nella trasmissione aerodispersa del virus Sars-cov-2 è ancora oggi una questione controversa e oggetto di dibattito (Anand et al., 2021). Per poter funzionare da vettore il PM deve possedere alcune caratteristiche specifiche. In particolare, deve essere in grado di "legare" il virus instaurando una serie di interazioni più o meno specifiche con le proteine virali di superficie. Allo stesso tempo, la stabilità del legame tra il PM e il virus deve essere mantenuta durante tutti i processi di dispersione e trasformazione in atmosfera del particolato, senza che la conformazione molecolare delle proteine virali, e

l'integrità del virus stesso, vengano compromessi. Inoltre in qualità di vettore, il PM deve anche essere in grado di rilasciare il virus quando quest'ultimo entra in contatto con la cellula ospite a livello dell'apparato respiratorio, per consentirne il legame specifico con il bersaglio molecolare, l'enzima 2 convertitore dell'angiotensina (ACE2). Nell'ambito del progetto Pulvirus, per verificare la presenza di alcune delle caratteristiche sopraelencate, è stato allestito un esperimento *in silico*, basato sull'uso delle simulazioni numeriche di dinamica molecolare classica, sfruttando il calcolo ad alte prestazioni (Hpc) fornito dall'infrastruttura Enea-Cresco 6 (Iannone et al. 2019).

Cosa sono le simulazioni di dinamica molecolare classica?

Le simulazioni di dinamica molecolare classica sono in grado di prevedere – sulla base di un modello generale della fisica che governa le interazioni inter atomiche – l'evoluzione temporale delle posizioni di ogni atomo in un sistema, mediante l'integrazione delle loro equazioni di moto (Hollingsworth, 2018). Il risultato di una simulazione è una traiettoria delle configurazioni molecolari, in funzione del tempo, del sistema simulato. Pertanto, mediante le simulazioni è possibile ottenere una mappa dinamica delle interazioni di un complesso molecolare,

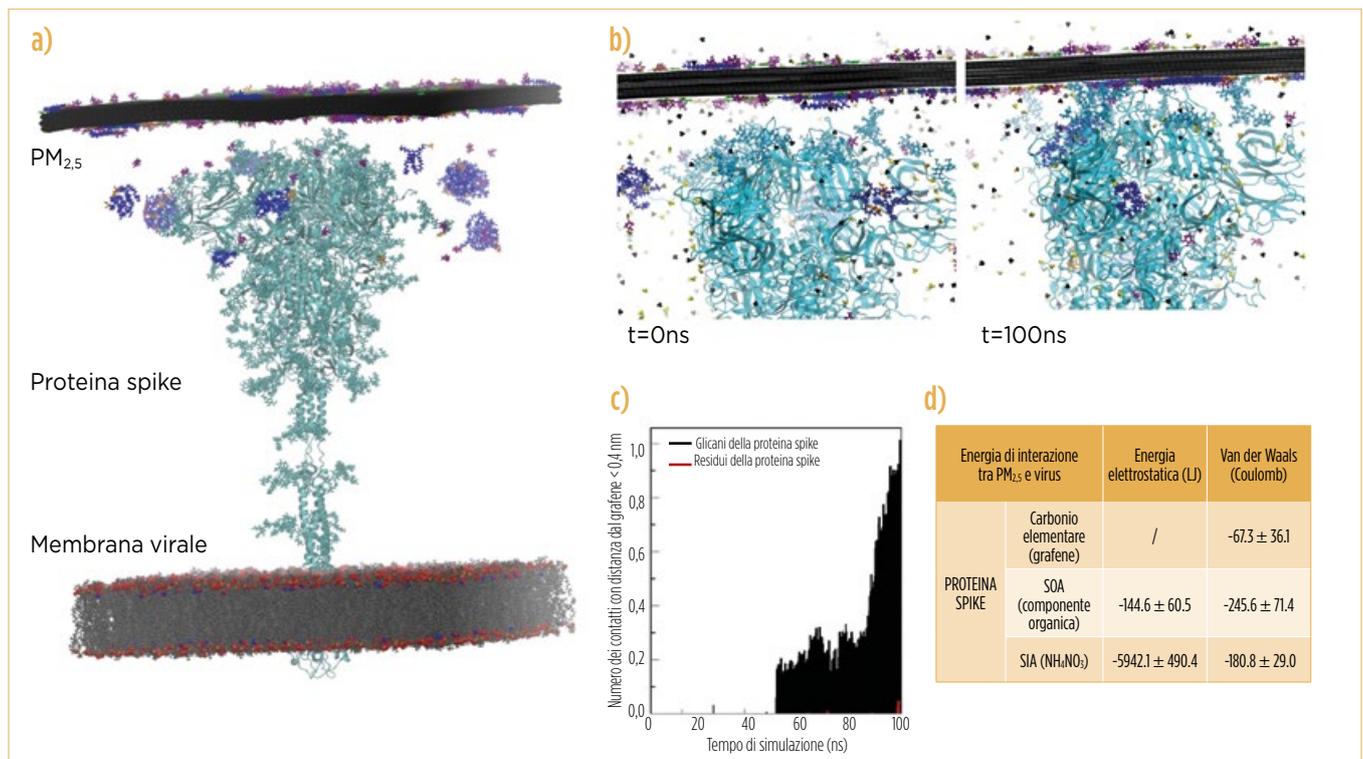


FIG. 1 MODELLO STRUTTURALE DEL COMPLESSO PM/VIRUS

a) Modello dell'interfaccia PM_{2.5}/Sars-cov-2.

b) Istantanee estratte dalla traiettoria di simulazione della durata totale di 100 ns. Nelle immagini sono mostrati il foglietto di grafene (grigio) che mima il nucleo carbonioso del PM, le molecole di benzo[a]pirene (rosso), acido palmitico (blu), acido ftalico (arancio), levoglucosano (porpora), acido ossalico (verde), NH₄NO₃ (nero e giallo), la proteina spike (ciano) e i glicani (ciano chiaro).

c) Numero dei contatti a una distanza inferiore di 0,4 nm dal foglietto di grafene a carico dei glicani (istogramma nero) e dei residui (istogramma rosso) della proteina spike in funzione del tempo di simulazione

d) Energie di interazione medie calcolate negli ultimi 50 ns di simulazione.

ad esempio tra il PM (vettore) e il virus (trasportato), con una risoluzione spaziale e temporale difficilmente accessibile alle tecniche sperimentali.

La costruzione del modello strutturale del complesso PM/virus

All'interno del progetto Pulviris, per identificare le potenziali interazioni molecolari e quantificare la stabilità del legame tra il particolato e Sars-cov-2, è stato realizzato un complesso che

rappresenta una possibile interfaccia PM/virus (figura 1a). Per ridurre il costo computazionale, la strategia adottata è consistita nella realizzazione di modelli semplificati di particolato e di Sars-cov-2. Per rappresentare il virus, è stato realizzato un frammento della membrana lipidica dell'involucro virale nel quale è stato inserito il modello strutturale della glicoproteina di superficie spike (Woo et al., 2020). La costruzione del modello strutturale del PM ha richiesto un enorme sforzo di modellazione a causa delle scarsissime informazioni disponibili riguardo i modelli di struttura

di aerosol secondario. Un modello semplificato di una porzione di PM_{2,5} è stato in particolare realizzato a partire da una tipica composizione chimica registrata in campioni (filtri) raccolti dal Laboratorio di inquinamento atmosferico dell'Enea durante la stagione invernale 2021 nell'area padana. In base ai dati raccolti, il PM_{2,5} viene a essere costituito da oltre il 50% da nitrato di ammonio, che nel modello rappresenta la frazione di aerosol secondario inorganico (Sia), e da una miscela eterogenea di composti organici rappresentativi delle classi di molecole (idrocarburi aromatici

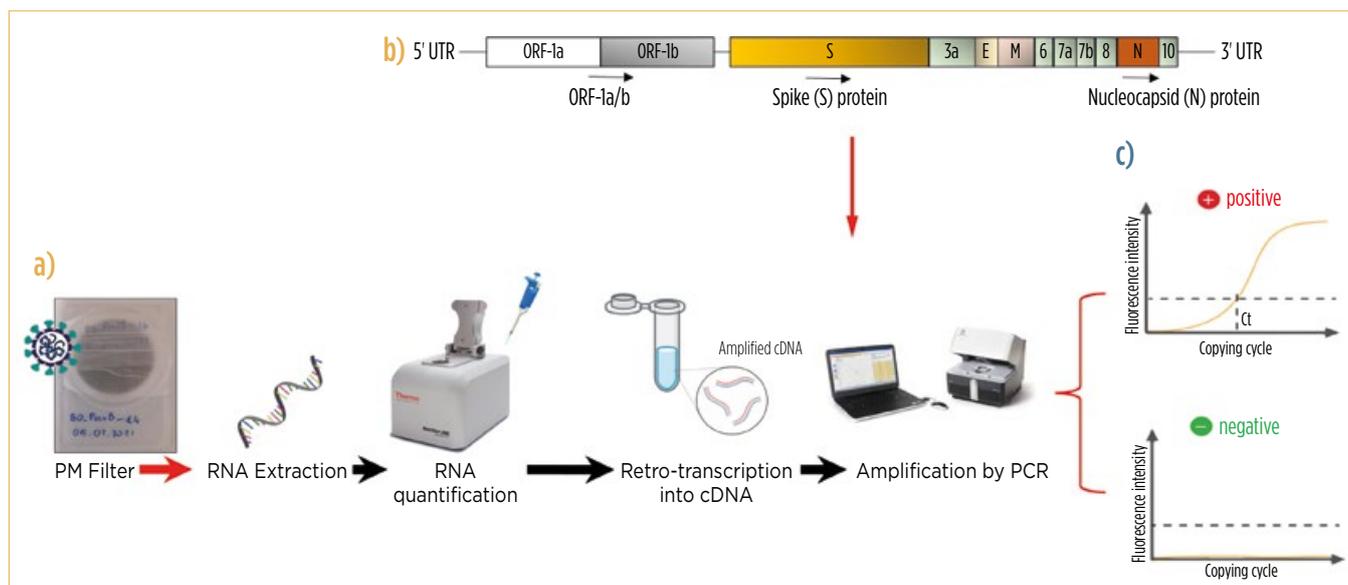


FIG. 2 PRESENZA DEL GENOMA VIRALE SUI FILTRI PER IL CAMPIONAMENTO DEL PM

- a) Organizzazione del genoma di Sars-cov-2.
- b) Workflow dell'approccio sperimentale.
- c) Esempio di curve di amplificazioni positive e negative di un gene.



poli-ciclici, carboidrati, acidi alcaloidi, acidi aromatici e acidi alifatici) che costituiscono la frazione di aerosol secondario organico (Soa). Il nucleo di carbonio elementare di un tipico PM_{2,5} è stato invece semplificato costruendo un foglietto di grafene a tre strati. Questo modello è stato sottoposto a simulazione di dinamica molecolare per permettere ai composti organici e inorganici di stratificarsi sul foglietto di grafene, mimando la disposizione delle molecole attorno al nucleo di carbonio del PM_{2,5}.

La simulazione dell'interazione tra PM_{2,5} e la proteina spike

Il complesso PM_{2,5}-spike è stato successivamente sottoposto a simulazione numerica per seguire la dinamica del potenziale legame tra particolato e virus e quantificare la loro stabilità. L'analisi della traiettoria di simulazione dell'interazione tra il modello rappresentativo del virus e il frammento di particolato ha dimostrato che la proteina spike, durante 100 nanosecondi di simulazione, tende ad avvicinarsi al foglietto di grafene (figura 1b) e che un ruolo importante per il legame con il nucleo carbonioso del PM viene giocato dagli zuccheri (glicani) che rivestono la proteina spike. Come mostrato nella figura 1c sono proprio i glicani della proteina, dopo circa 50 ns di simulazione, a instaurare numerosi contatti ravvicinati (<0,4 nm) con gli atomi del foglietto di grafene. La stabilità del legame è stata stimata mediante l'analisi delle energie di interazione, ovvero delle forze elettrostatiche e di van der Waals. I risultati di questa analisi sono riassunti nella figura 1d e mostrano che sono soprattutto i componenti inorganici del particolato a svolgere un ruolo di "legante" fra il virus e la parte carboniosa del PM.

Presenza del genoma virale sui filtri per il campionamento del PM

Accanto all'approccio *in silico* sono state effettuate anche delle analisi atte a verificare l'eventuale presenza del genoma a Rna di Sars-cov-2 su campioni di PM_{2,5} raccolti nella città di Bologna tra il 19 gennaio e il 6 febbraio 2021. Dai filtri di fibra di quarzo usati per il campionamento del PM_{2,5} è stato estratto l'Rna genomico virale, successivamente purificato, applicando un protocollo specifico, ottimizzato

in Enea, per aumentare resa, stabilità e integrità dell'Rna genomico¹. Dopo la quantificazione spettrofotometrica, l'Rna è stato retro-trascritto e analizzato mediante quantitative real-time Pcr², utilizzando sonde specifiche³ per tre geni virali – ORF-1a/b, proteina spike (S) e proteina del nucleocapside (N) – di Sars-cov-2 (figura 2a). Mediante qPCR, la sequenza ORF-1a/b è stata individuata in 6 campioni, la N in 3 e la S solamente in 1 filtro su 15 totali. In particolare, nessuna delle tre sequenze è stata rilevata contemporaneamente su un unico filtro. Il workflow dell'approccio sperimentale condotto è riportato nella figura 2b. Il grafico di amplificazione dei campioni viene riportato nella figura 2c dove sono stati considerati positivi (presenza del genoma virale) tutti i valori di CT compresi nell'intervallo tra 36 e 40 cicli di amplificazione.

Conclusioni

I principali risultati di questo studio risiedono nel raggiungimento, per la prima volta, di un modello strutturale di PM fine e di una prima caratterizzazione dell'interfaccia PM/virus, attraverso simulazioni di dinamica molecolare classica⁴. Inoltre, l'approccio integrato,

basato sulla caratterizzazione della presenza del genoma di Sars-cov-2 su filtri di quarzo PM_{2,5} raccolti nell'area di Bologna nell'inverno 2021, combinata con gli esperimenti *in silico* dell'interazione tra la superficie del virus e un modello di particolato fine, ha dimostrato che, sebbene il ruolo del PM come vettore del virus non sia da escludere, questi esperimenti non sono in grado di concludere se il legame rimane stabile per tutta la durata dei processi di dispersione e trasformazione del PM in atmosfera e se lo stesso virus rimane vitale e infettivo. Ulteriori studi sono necessari per chiarire questi aspetti.

A cura del gruppo di lavoro per la realizzazione dell'obiettivo 5.1 del progetto Pulviris

NOTE

¹ L'Rna genomico virale è stato estratto mediante Trizol® (Thermo Fisher) e purificato su Quick-Rna Miniprep Kit (Zymo Research).

² qPCR: Eco-Illumina.

³ Sonde TaqMan 2019-nCoV Assay Kit v1.

⁴ I risultati di questo lavoro sono sottomessi alla rivista scientifica *peer-reviewed* "The Science of the Total Environment".

GRUPPO DI LAVORO OBIETTIVO 5.1 PULVIRIS

Caterina Arcangeli¹, Alice Romeo², Roberto Pellegrini^{1,2}, Maurizio Gualtieri³, Barbara Benassi¹, Massimo Santoro¹, Federico Iacovelli², Milena Stracquadanio³, Mattia Falconi², Carmela Marino¹, Gabriele Zanini³

1. Divisione Tecnologie e metodologie per la salvaguardia della salute, Enea, Roma
2. Dipartimento di Biologia, Università di Tor Vergata, Roma
3. Divisione Modelli e tecnologie per la riduzione degli impatti antropici e dei rischi naturali, Enea, Bologna

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Anand U., Cabrerós C., Mal, J., Ballesteros F., Sillanpää M., Tripathi V., Bontempi E., 2021, "Novel coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic: From transmission to control with an interdisciplinary vision", *Environmental Research*, 197, 111126, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111126>.

Iannone F., Ambrosino F., Bracco G., De Rosa M., Funel A., Guarnieri G., Migliori S., Palombi F., Ponti G., Santomauro G., Procacci P., 2019, "Cresco Enea HPC clusters: a working example of a multifabric GPFS Spectrum Scale layout", *International Conference on High Performance Computing & Simulation (HPCS)*. Presented at the 2019 International Conference on High Performance Computing & Simulation (HPCS), pp. 1051-1052, <https://doi.org/10.1109/HPCS48598.2019.9188135>.

Hollingsworth S.A., Dror R.O., 2018, "Molecular dynamics simulation for all", *Neuron*, 99, 1129-1143, <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2018.08.011>.

Woo H., Park S.-J., Choi Y.K., Park T., Tanveer M., Cao Y., Kern N.R., Lee J., Yeom M.S., Croll T.I., Seok C., Im W., 2020, "Developing a fully glycosylated full-length Sars-cov-2 spike protein model in a viral membrane", *The Journal of Physical Chemistry B*, 124, 7128-7137, <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.0c04553>.

PROTOCOLLI OPERATIVI E SISTEMI DI ALLERTA PRECOCE

IL GRUPPO DI LAVORO DELL'OBIETTIVO 6 DEL PROGETTO PULVIRUS HA COORDINATO ED ELABORATO RACCOMANDAZIONI PER IL TRATTAMENTO DI CAMPIONI DI PARTICOLATO E VALUTAZIONI PRELIMINARI ALLO SVILUPPO DI UN MODELLO PREDITTIVO DI ALLERTA PRECOCE CONSEGUENTE ALLA PRESENZA DI TRACCE DI COVID-19 SUL PARTICOLATO ATMOSFERICO.

Il contesto emergenziale dovuto all'aggressiva e tragica situazione pandemica ha spinto la comunità scientifica a individuare bisogni e strumenti provenienti da altri settori, come quello ambientale, atti a supportare e rafforzare le misure di prevenzione adottate dal settore sanitario per contrastare la diffusione del virus Sars-cov-2. Proprio in questo contesto e filosofia, nella primavera del 2020, è nato il progetto Pulviris, dall'alleanza scientifica fra l'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (Enea), l'Istituto superiore di sanità (Iss) e il Sistema nazionale per la protezione ambientale (Snpa) composto da Ispra e dalle Agenzie regionali per la protezione ambientale (Arpa) sottoscritta dai tre presidenti. L'Iss, nonostante fosse in prima linea a supporto del Ministero della Salute nella gestione della pandemia e delle misure di prevenzione, ha sposato l'iniziativa. I ricercatori dell'Iss, hanno messo a comune, nella comunità scientifica Pulviris, le proprie competenze che, congiuntamente ai contributi di tutti i ricercatori degli altri enti, hanno condotto alla stesura delle attività del progetto. Lo scopo principale era di dimostrare con evidenze scientifiche se il particolato atmosferico potesse aver contribuito alla diffusione di Sars-cov-2, ed è stato articolato in 6 obiettivi. L'Iss ha avuto un ruolo attivo nella stesura delle attività, in particolare dell'obiettivo 6, e contribuito per la parte di competenza all'obiettivo 5 nella definizione della struttura di governo del progetto, ha inoltre partecipato alle attività degli obiettivi 1, 2 e 3 e a tutte le attività di disseminazione e comunicazione. Essendo il progetto nato in piena pandemia, come ricercatori coinvolti nella fase sperimentale abbiamo congiuntamente deciso di non lavorare con il virus al fine di non gravare sul consumo di reagenti di biologia molecolare necessari per la

FIG. 1
RISULTATI
DELL'OBIETTIVO 6

I documenti prodotti dall'obiettivo 6 del progetto Pulviris.



caratterizzazione dei tamponi molecolari e per il sequenziamento delle varianti. L'Istituto superiore di sanità ha coordinato le attività dell'obiettivo 6: raccomandazioni per il trattamento di campioni di particolato e valutazioni preliminari allo sviluppo di un modello predittivo di allerta precoce conseguente alla presenza di tracce di Covid-19 sul particolato atmosferico e formazione. La modalità di lavoro è stata quella di condivisione con gli esperti coinvolti attraverso webinar e scambi via email dei documenti di avanzamento lavoro e aggiornamento delle attività condotte nell'ambito del Comitato tecnico scientifico. L'indicazione della presenza di virus

o acidi nucleici sui campioni di aria, inclusa l'eventuale presenza di altri patogeni, è fondamentale per indirizzare un'azione preventiva precoce per proteggere la salute umana. L'obiettivo principale era contribuire a costruire la base di monitoraggio della sorveglianza ambientale quando si verificano eventi estremi, atta a implementare le misure di prevenzione per la salute umana in un'ottica *One Health* e *Planetary Health* per la prevenzione della pandemia attraverso la realizzazione delle seguenti attività:

- A1) realizzazione di protocolli operativi per raccolta, trasporto e conservazione dei campioni di aria ove potenzialmente presente materiale biologico

- A2) studio di fattibilità e sviluppo di un sistema di allerta precoce per la previsione della circolazione virale nell'aria
- A3) formazione del personale tecnico per il trasferimento dei risultati.

A1) Il campionamento è una procedura estremamente complessa e delicata che condiziona le operazioni successive e di conseguenza può compromettere la corretta interpretazione (attendibilità/affidabilità) dei risultati analitici. A livello nazionale e internazionale, protocolli e norme di riferimento per il campionamento delle diverse matrici ambientali, alimentari e cliniche sono ben definiti per settori e per tipo di analisi a cui devono essere sottoposte: chimiche, biologiche, fisiche. Al contrario, il contesto emergenziale ha evidenziato l'urgente necessità di sviluppare e ottimizzare metodi per il campionamento e gestione dei campioni di aria per la determinazione del particolato atmosferico (PM) e di agenti infettivi (Ai) quali virus a trasmissione aerea atti a rafforzare la gestione delle infezioni. Si è partiti da quelli standard utilizzati a livello nazionale per il campionamento dell'aria, implementati con le preclusioni da attuare per il materiale biologico, al fine di garantire la qualità dei risultati. Sono stati elaborati due protocolli operativi di raccolta, trasporto e conservazione dei campioni ambientali, sia negli ambienti *outdoor* sia in quelli *indoor*, da utilizzare nei monitoraggi di emergenza/indagine. I due protocolli contengono le indicazioni necessarie per la preservazione e quindi per la determinazione dell'eventuale materiale genetico o agente infettivo da ricercare. Il primo protocollo è stato realizzato per la prima campagna di campionamento eseguita dall'obiettivo 3 a Bologna nel 2020.

A2) I Sistemi di allerta precoce (Sap), sono utilizzati per identificare, attraverso attività di monitoraggio e sorveglianza, la presenza di stati di pericolosità (agenti chimici o infettivi) prima che si rendano visibili i loro effetti su una comunità. Di conseguenza sono propedeutici all'analisi di rischio e allo sviluppo di sistemi predittivi (scenari) e quindi strumenti di comunicazione e di informazione sui rischi imminenti alle quali una popolazione può essere esposta prima del verificarsi dell'evento. Sono utilizzati per la definizione degli scenari quali innalzamento delle temperature, inquinanti atmosferici, fioritura di pollini, ondate calore o esposizione ai raggi Uv

svolgendo un ruolo nella prevenzione della sanità pubblica.

La proposta Pulvirus-Sap realizzata si è basata sulle osservazioni ambientali, integrate con quelle di ricerca prodotti nell'ambito del progetto. Lo schema utilizzato della proposta è quello introdotto dalla Conferenza internazionale di allerta precoce, basato su quattro elementi: conoscenza del rischio; monitoraggio e sistema di allarme; divulgazione e comunicazione; capacità di risposta (United Nations, 2003). Tuttavia siamo in fase di verifica sull'efficacia poiché maggiori evidenze scientifiche sono necessarie circa il tipo di interazione, *carrier*, tra particolato e virus. Si può concludere che la fattibilità di un Pulvirus-Sap è plausibile a valle di due assunti:

- l'identificazione precoce dell'agente infettivo, in questo caso, Sars-cov-2, che nel caso ambientale si verifica a valle dell'aumento dell'incidenza dei malati che siano essi umani o animali. Il tipo

d'interazione che l'Ai ha in questo caso con il PM.

Il Sap sviluppato potrebbe essere utile alla definizione della probabilità di insorgenza (*hotspot*) o re/insorgenza dell'infezione in una determinata area anche riferendosi ad altri agenti infettivi.

A3) La formazione del personale tecnico potrà essere avviata nel proseguo del progetto come intenzione manifestata dai tre presidenti degli enti durante il convegno finale del 24 ottobre 2022. I protocolli di campionamento e la struttura del Pulvirus-Sap sono disponibili nella versione integrale sul sito www.pulvirus.it.

Stefania Marcheggiani, Camilla Puccinelli, Filippo Chiudioni, Anna Maria D'Angelo, Maria Eleonora Soggiu, Marco Inglessis, Gaetano Settimo, Laura Mancini

Istituto superiore di sanità

GRUPPO DI LAVORO OBIETTIVO 6 PULVIRUS

Coordinatrice: Stefania Marcheggiani (Istituto superiore di sanità)
 Istituto superiore di sanità: Laura Mancini, Camilla Puccinelli, Filippo Chiudioni, Anna Maria D'Angelo, Maria Eleonora Soggiu, Gaetano Settimo, Marco Inglessis
 Enea: Francesca Pacchierotti
 Ispra: Francesca De Maio
 Arpae Emilia-Romagna: Annamaria Colacci
 Arpa Veneto: Claudia Visentin, Simonetta Fuser
 Arpa Lombardia: Guido Lanzani, Cristina Colombi, Umberto Dal Santo, Vorne Luigi Gianelle
 Arpa Lazio: Stefano Listrani, Manuela Riva, Donatella Occhiutto, Fabio Vantaggio

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Zanini G., Marcheggiani S., Mancini L., Pini A., 2020, "Pulvirus, per capire i legami tra Covid-19 e inquinamento", *Ecoscienza*, 3/2020, 26-27.
 United Nations, 2003, *Early warning systems*, UN-Spider Portale della conoscenza dell'Ufficio per gli affari dello spazio extraatmosferico, disponibile on line www.un-spider.org/risks-and-disasters/early-warning-systems (ultimo accesso 26/01/2023).



IL SISTEMA NAZIONALE DI PROTEZIONE DELL'AMBIENTE DI FRONTE ALL'EMERGENZA ENERGETICA

Affrontare la crisi energetica, integrando la necessità urgente di rispondere all'emergenza senza perdere di vista l'orizzonte della transizione ecologica di lungo periodo. Questi i temi affrontati nel corso di un evento di Snpa che si è tenuto mercoledì 9 novembre 2022 a Ecomondo (Rimini). Al termine dell'incontro, è stato presentato un documento Snpa che inquadra la situazione, pone domande e offre alcune possibili strade da intraprendere per affrontare al meglio l'emergenza in corso. Di seguito pubblichiamo integralmente il documento Snpa.

CRISI ENERGETICA, RISCHI E OPPORTUNITÀ PER L'AMBIENTE

Premessa

La situazione di crisi energetica connessa agli scenari economici e geopolitici attuali, determinati dal conflitto russo-ucraino e dalla conseguente temuta riduzione di approvvigionamento dell'Europa di gas dalla Russia, è oggi all'attenzione dei governi e dell'opinione pubblica.

A fronte dunque di un'ampia conversione verso il gas metano accaduta negli anni passati, in alcuni Paesi dell'Unione europea, come l'Italia, l'imperativo oggi è quello di agire rapidamente per identificare fonti alternative di gas, al fine di garantire l'esercizio delle produzioni oggi alimentate a metano, ma al contempo nel più lungo periodo fonti alternative al gas, anche per garantire quel periodo di transizione verso il superamento dell'uso di fonti fossili, periodo di transizione che proprio al gas era stato affidato.

Tra le opzioni di breve termine vi è quella di sostituire per un periodo temporaneo, e in via transitoria, il gas metano con altri combustibili di origine fossile. Tuttavia, per poter sostituire con la necessaria rapidità il gas naturale con altri combustibili fossili, si pone il problema della conformità alle norme dell'eventuale esercizio con differente combustibile fossile, a partire dal necessario rispetto delle autorizzazioni e concessioni oggi vigenti, il cui rilascio è stato subordinato a specifiche condizioni e limiti, in molti casi volte a ridurre proprio l'impatto ambientale.

Superare il vincolo determinato dalle autorizzazioni ambientali è un percorso giuridicamente e amministrativamente complesso, di cui brevemente qui si tratterà, che rischia di essere

incompatibile in termini di rapidità di intervento con le urgenze connesse all'attuale crisi energetica. La questione che si pone è quella della creazione di percorsi amministrativi "rapidi" e giuridicamente sostenuti, se necessario, anche da provvedimenti legislativi *ad hoc* per poter esercire gli impianti "facendo un'eccezione a quanto è stabilito" ovvero operando in deroga.

Operare in deroga è infatti sempre materia di complicata gestione in termini di bilanciamento di interessi e di diritti. Se infatti il diritto della collettività alla disponibilità di energia elettrica e di altre fonti energetiche essenziali (si pensi ad esempio ai combustibili) è di immediata percezione, la sua affermazione anche a costo di deroghe potrebbe determinare un arretramento sul fronte di altri diritti, di pari dignità, quali quelli di un ambiente pulito e salubre, proprio quel profilo ambientale che è al centro dell'interesse del Snpa.

Si può derogare?

Il primo interrogativo che sarà esplorato nel corso dell'evento è proprio quello sulla possibilità di derogare nel contesto legislativo e amministrativo di riferimento.

Le principali autorizzazioni ambientali che oggi regolamentano l'esercizio degli impianti che utilizzano gas metano sono riconducibili al contesto comunitario della *Industrial emissions directive* (Ied) recepita nella legislazione italiana con l'introduzione nel Testo unico ambientale (Tua) dell'Autorizzazione integrata ambientale (Aia).

La direttiva Ied contiene le norme riguardanti la prevenzione e la riduzione dell'inquinamento proveniente da attività industriali e fissa le condizioni per ridurre le emissioni di tali attività nell'ambiente. Tale circostanza rende quindi impossibile operare in deroga senza ottenere il rilascio delle autorizzazioni per la sostituzione del combustibile utilizzato nei processi produttivi, che si configurano come modifiche autorizzative, e comunque rende difficile per i gestori rimanere al di sotto dei valori limite di emissione previsti dalla normativa in caso di sostituzione del metano con altri combustibili fossili certamente più impattanti in termini emissivi.

La direttiva Ied prevede espressamente la possibilità per le autorità competenti di accordare una deroga all'obbligo di rispettare i valori limite di emissione previsti, qualora un impianto di combustione, che utilizza esclusivamente combustibile gassoso debba ricorrere eccezionalmente all'uso di altri combustibili a causa di un'improvvisa interruzione della fornitura di gas. Tale deroga, che è concessa per un periodo non superiore a 10 giorni, può essere inoltre estesa oltre tale termine e per un periodo indeterminato nell'ipotesi in cui vi sia la necessità assoluta di continuare le forniture di energia. Dette previsioni sono state peraltro recepite in Italia all'art. 273 bis comma 20 del Tua, per talune categorie di impianti nuovi ed esistenti.

Alla luce di tale ricostruzione, sembrerebbe quindi possibile concedere alle imprese la possibilità di superare temporaneamente i valori limite di emissione previsti, sostituendo il gas, nel caso in cui l'interruzione delle forniture

dalla Russia o l'esaurimento degli stoccaggi siano tali da mettere a rischio la continuità della produzione.

Tali conclusioni sono state confermate dalla Commissione europea con una lettera del 13 aprile 2022 alle Rappresentanze permanenti dei Paesi membri, tra cui l'Italia, in risposta alle richieste di chiarimenti sulla flessibilità della legislazione ambientale europea di fronte alla necessità di garantire la continua sicurezza dell'approvvigionamento energetico in Europa. Nella lettera inviata viene infatti espressamente chiarito quanto segue: *"le autorità di autorizzazione degli Stati membri possono autorizzare un grande impianto di combustione in funzione a derogare ai valori limite di emissione... se l'impianto deve subire un'interruzione improvvisa della fornitura di gas richiedendo il passaggio ad altri combustibili e non è dotato delle tecniche di abbattimento dell'inquinamento normalmente richieste per la combustione di tali altri combustibili. In linea di principio, la deroga dovrebbe durare solo 10 giorni ma, se vi è un'esigenza assoluta di mantenere l'approvvigionamento energetico, può essere prorogata fino a quando tale necessità persiste"*.

Peraltro con una circolare del 2 maggio 2022, il Ministero della Transizione ecologica (oggi Ministero dell'Ambiente e della sicurezza energetica) sembra limitare consistentemente la facoltà di deroga limitandola ai casi in cui le attività interessate non operino, in forza dell'art. 29 septies del TUA e in ragione della loro localizzazione in una determinata area, con prescrizioni più rigorose rispetto a quelle ordinarie, al fine di assicurare il rispetto delle norme di qualità ambientale. Si tenga conto altresì di alcune previsioni normative recenti, emanate proprio in considerazione dell'emergenza energetica in atto. Il DL 17 maggio 2022 n. 50 stabilisce norme per concedere speditivamente deroghe autorizzative temporanee (di durata di sei mesi) all'esercizio di grandi impianti termoelettrici alimentati a combustibili solidi e liquidi, per far fronte alla situazione di grave difficoltà nell'approvvigionamento di gas, al fine di garantire la sicurezza del sistema elettrico nazionale.

Il Regolamento (UE) 2022/1369 del 5 agosto 2022 (pubblicato nella GUUE in data 8 agosto 2022) stabilisce norme per far fronte a una situazione di grave difficoltà nell'approvvigionamento di gas, al fine di garantire la sicurezza dell'approvvigionamento di gas nell'Unione in uno spirito di solidarietà.

Come derogare?

Se il quadro di riferimento sopra tracciato sembra aprire alla possibilità di deroghe, la seconda domanda è: come farle?

È possibile introdurre meccanismi di tutela di tutti gli interessi prima menzionati? Rispettando l'esigenza di speditezza e di garanzia di continuità della produzione nazionale di elettricità e al contempo garantendo il diritto all'ambiente pulito e salubre. Alcune garanzie sono sostanzialmente desumibili dallo scenario sinora tracciato. Il percorso amministrativo più immediato, alla luce di quanto sinora detto, sembra essere quello della concessione di una modifica non sostanziale dell'atto autorizzativo. Qualsiasi percorso amministrativo differente richiederebbe tempi probabilmente non compatibili con la criticità attuale. Come tale natura non sostanziale si possa sostanziale deve essere oggetto di ampio approfondimento e dibattito, anche per non sacrificare taluni profili di pubblicità e di partecipazione del pubblico propri dell'Aia.

Se la modifica non sostanziale è la soluzione, la facoltà di concederla deve discendere da un atto di legislazione primaria, per così dire *erga omnes*, o deve essere il risultato di una valutazione condotta dall'autorità competente, caso per caso, nel contesto normativo ordinario? La temporaneità sembra essere un requisito irrinunciabile della deroga. Come debba essere quantificata, nel contesto della durata non definibile a priori dell'emergenza, è un altro degli interrogativi a cui tentare di dare risposta. Infine la discussione dei prossimi mesi, in tema di deroghe autorizzative connesse alla crisi energetica, verterà anche sulla possibilità di identificare misure ambientali compensative nel medio termine, quali ad esempio:

- a) l'introduzione da parte dell'impresa beneficiaria di misure di mitigazione e compensazione delle emissioni connesse alla deroga
- b) la realizzazione di investimenti funzionali alla decarbonizzazione dei processi produttivi che assicurino, nel medio termine, una riduzione complessiva dell'impatto ambientale e del carico emissivo dell'impresa.

E per il futuro? È possibile gestire per tempo la possibilità di deroga?

Questa occasione dovrebbe anche far riflettere sull'attualità del nostro meccanismo amministrativo di

command and control, in termini di risposta alle emergenze.

Abbiamo visto quanto complicato e lungo possa essere il percorso di modifica di un atto autorizzativo, nel caso qui affrontato quello dell'autorizzazione integrata ambientale, circostanza che rende difficilmente gestibile una situazione emergenziale quale quella attuale. Sarebbe il caso di pensare, per il futuro, ad atti autorizzativi che consentano alle autorità competenti e ai gestori una risposta immediata, ma ovviamente condivisa, a situazioni di particolare emergenza sociale ed economica. Si consideri che le autorizzazioni ambientali spesso già prevedono le modalità di gestione di situazioni emergenziali connesse all'esercizio dello stabilimento. Ma si tratta di condizioni emergenziali di natura endogena (tipicamente incidentali) mentre oggi ci troviamo ad affrontare un'emergenza di natura tipicamente esogena in cui i gestori, per garantire l'operatività di attività industriali di interesse strategico per il Paese, come le centrali di produzione dell'energia elettrica, si trovano costretti loro malgrado a fare investimenti rapidi per cambiare il combustibile e/o le materie prime, in quanto irreperibili sul mercato oppure eccessivamente costose.

Oggi sarebbe stato molto più agevole gestire la crisi energetica, ovviamente dal lato amministrativo, qualora l'autorizzazione avesse già previsto, magari in un'apposita sezione dell'atto, la possibilità di un procedimento speditivo di istanza di accesso al regime emergenziale e di contestuale proposta delle condizioni minime di controllo ambientale da mettere in atto, nello spirito di tutela di tutti i portatori di interesse, ma con la possibilità di un procedimento speditivo che possa derogare da altri requisiti procedurali più complessi, mantenendo il solo requisito di pubblicità a garanzia dei cittadini. Resterebbe peraltro nella facoltà dell'autorità competente stabilire, nell'atto autorizzativo, l'applicabilità di una siffatta procedura speditiva. Non sfugge al lettore che un'ipotesi di questo tipo dovrebbe comunque essere negoziata con le autorità UE, ma questa che stiamo vivendo come emergenza in tutta l'Unione potrebbe essere la giusta occasione per avviare la discussione. Anche per rimodernare gli strumenti amministrativi e renderli più confacenti a un futuro che immaginiamo di rapida transizione verso modelli di società e di produzione più aderenti ai principi dello sviluppo sostenibile.

GESTIONE DELLE CRISI IDRICHE NEL BACINO DI RIDRACOLI

RIWAX (RIDRACOLI WATER CRISIS EXERCISE 2022) È UNO STRUMENTO DI SIMULAZIONE CON IL QUALE GLI ENTI COINVOLTI HANNO POTUTO DISCUTERE E CONFRONTARSI SU UNA SITUAZIONE DI CRISI IDRICA SIMULATA, DETERMINATA DA UN PERIODO DI PROLUNGATA SICCITÀ, COSÌ DA RAFFORZARE LE CONOSCENZE E LE COMPETENZE DI TUTTE LE AUTORITÀ SUL CAMPO.

Fra le prime esercitazioni *table top* sulla siccità in Italia, Riwax (*Ridracoli water crisis exercise*) 2022 è stata organizzata lo scorso marzo 2022 dai partner italiani del progetto Interreg Adrion *Multihazard framework for water related risks management* (Muha), con l'obiettivo di rafforzare la cooperazione tra gli enti coinvolti nella gestione di un'ipotetico scenario di crisi idrica nel bacino di Ridracoli (foto 1), in Emilia-Romagna. Attraverso la costituzione di un tavolo tecnico, sono stati condivisi i dati e le informazioni per chiarire ruoli e responsabilità, per identificare un piano di informazione, preparazione e mitigazione dell'evento siccitoso e per redigere un piano d'azione per il proseguimento e miglioramento del piano di emergenza. L'esercitazione ha permesso di evidenziare alcuni aspetti complessi dell'interazione tra gli enti competenti in materia di gestione delle risorse idriche, le autorità di protezione civile e gli enti gestori. Riwax 2022 si è rivelato non solo uno strumento utile per mettere a punto e meglio definire piani e procedure operative, ma soprattutto un mezzo per far interagire, in alcuni casi per la prima volta, la molteplicità di soggetti coinvolti nella gestione di un evento di siccità. Il progetto Riwax 2022 ha l'ambizione di condividere a livello nazionale una nuova consapevolezza e metodologia per far fronte alle future crisi idriche.

Il progetto europeo Muha

I paesi europei della costa adriatica-ionica sono particolarmente vulnerabili ai disastri naturali, come siccità e inondazioni, e il cambiamento climatico produce effetti ancora più imprevedibili e drammatici. Per rafforzare la sicurezza della risorsa idrica, la gestione dei disastri sia naturali sia antropici deve essere affrontata attraverso un ciclo di preparazione-risposta-mitigazione-ricostruzione. Mentre gli enti gestori della risorsa idrica hanno già



FOTO: ROMAGNA ACQUE - SOCIETÀ DELLE FONTI

1

sviluppato un proprio meccanismo per far fronte ai principali disastri associati alla gestione dell'acqua, il raccordo con i meccanismi di protezione civile non è a oggi sufficientemente armonizzato. Al centro del progetto Muha c'è proprio l'ispirazione di produrre linee guida per un piano d'azione comune, metodi e strumenti per migliorare i tempi di risposta e l'efficacia dei meccanismi di protezione civile sia italiani che europei per far fronte ai rischi legati alla sicurezza dell'acqua.

L'esercitazione Riwax 2022

Negli ultimi 20 anni diverse zone d'Italia, tra cui la regione Emilia-Romagna, sono state interessate da crisi idriche innescate da eventi siccitosi (foto 2), affrontate attraverso specifici stati di emergenza volti al coordinamento di tutti gli enti pubblici e privati coinvolti nella gestione delle acque, compreso il Servizio nazionale della protezione civile. Proprio il Dipartimento della protezione civile (Dpc), partner italiano del progetto Muha, assieme all'Istituto di ricerca sulle acque (Irsa) e l'Istituto di ricerca per la protezione idrogeologica (Irpi) del Consiglio nazionale delle ricerche (Cnr) coordinatore del progetto, è stato

l'organizzatore della *table top exercise* (Ttx) che ha riunito gli enti responsabili nella gestione dell'emergenza in Emilia-Romagna per discutere le azioni che avrebbero intrapreso in una situazione di emergenza simulata quale un prolungato periodo di siccità nel bacino di Ridracoli con una conseguente significativa riduzione dei volumi disponibili nell'invaso (figura 1). Relativamente all'esercitazione, si precisa che la Ttx ha integrato aspetti tipici di una esercitazione per posti di comando (*Command Post Exercise*, Cpx).

La crisi idrica ha comportato l'intervento di numerosi enti e servizi idrici tramite un continuo scambio di informazioni finalizzato all'aggiornamento degli scenari di evento, dei relativi impatti e alla conseguente predisposizione e attuazione delle misure di mitigazione. Dal punto di vista operativo, l'esercitazione ha previsto l'attivazione di un tavolo tecnico regionale di coordinamento in cui le misure da avviare nelle diverse fasi dell'emergenza fossero state precedentemente discusse e concordate da tutti gli attori. Ogni partecipante del tavolo tecnico ha svolto le attività di cui era responsabile, condividendole con il resto dei partecipanti tramite lo scambio di email. Gli obiettivi delle attività previste nelle diverse fasi operative riguardavano la

gestione delle risorse idriche, con misure volte a ridurre la domanda e ad aumentare la disponibilità, nonché attività volte al controllo degli aspetti igienico-sanitari e misure di protezione civile.

Best practices

In Riwx 2022 è stato simulato un livello significativo di complessità, dovuta all'elevato numero di enti coinvolti e alle diverse attività svolte e monitorate. Durante l'esercitazione è stato possibile rafforzare la conoscenza reciproca dei ruoli e delle competenze di ciascun partecipante e di quali attività vengano attuate sia in sede ordinaria che durante l'emergenza. Da tale complessità si è giunti alla definizione di alcune buone pratiche:

- l'istituzione di un tavolo tecnico regionale come misura chiave per il raccordo e il coordinamento efficace, sinergico e tempestivo di tutti gli organi preposti alla gestione delle risorse idriche, al controllo della qualità dell'acqua, alla regolazione delle acque e alle attività di protezione civile
- la creazione di una piattaforma informatica con accesso limitato agli attori chiave per la gestione del flusso continuo di informazioni e l'aggiornamento degli scenari di evento e di impatto, per la gestione degli elenchi delle utenze "sensibili" (ad esempio ospedali e scuole) e loro priorità di fornitura

- la condivisione di una strategia di comunicazione sia all'interno del tavolo di emergenza sia verso i cittadini
- l'attuazione delle misure di mitigazione in ragione di criteri di tempestività, gradualità e proporzionalità in funzione della gravità dell'evento e degli scenari di impatto: ad esempio, la rapida predisposizione delle misure urgenti della protezione civile potrà avvenire solo se gli uffici preposti sono informati per tempo dell'evoluzione dello scenario dell'evento
- la predisposizione di un modello di risposta non solo "reattivo", ma anche "proattivo" comprendente le misure da attuare per mitigare gli effetti più critici. Il significativo aumento del numero e della gravità delle catastrofi naturali, in particolare a causa dei cambiamenti climatici e della potenziale interazione tra rischi naturali e antropici, richiede un approccio integrato alla gestione degli eventi emergenziali. I soggetti preposti alla gestione delle risorse idriche, al



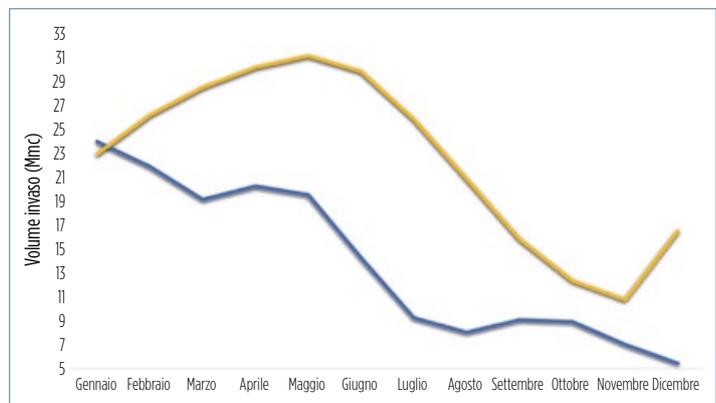
FOTO: DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE

2

FIG. 1
VOLUMI INVASO

Volumi di invaso (in milioni di metri cubi, Mmc) del bacino di Ridracoli relativi all'esercitazione Riwx 2022 (in blu) e alla media nel periodo 2003-2018 (in giallo). Medie elaborate sulla base dei dati forniti da Romagna Acque - Società delle Fonti.

— Media 2003-2018
— RIWAX 2022



controllo della qualità dell'acqua e alle attività di protezione civile devono essere consapevoli delle azioni da eseguire sia nella fase che precede un'eventuale emergenza, sia durante l'emergenza stessa. A questo scopo è fondamentale predisporre adeguati programmi di formazione per gli operatori da testare durante le attività di esercitazione per valutare la capacità di risposta e verificarne la reale efficacia.

In prospettiva, le future esercitazioni potranno sensibilizzare la popolazione in merito ai rischi presenti in un'area e ai comportamenti da adottare in caso di siccità. In un territorio resiliente ai fenomeni disastrosi, i cittadini devono diventare soggetti attivi del Servizio nazionale della Protezione civile.

Questo sviluppo comporta un'adeguata informazione alla popolazione sull'esposizione al rischio, su cosa si può fare in termini di prevenzione e su come comportarsi in caso di emergenza.

Jessica Amadio¹, Emanuele Romano¹, Andrea Duro²

1. Istituto di ricerca sulle acque del Consiglio nazionale delle ricerche (Irsa-Cnr)
2. Dipartimento della Protezione civile

ENTI PARTECIPANTI

- Regione Emilia-Romagna - Area Tutela e gestione acqua
- Regione Emilia-Romagna - Servizio prevenzione collettiva e sanità pubblica
- Dipartimento Sanità pubblica - Azienda unità sanitaria locale Romagna
- Agenzia regionale per la sicurezza territoriale e la protezione civile (Arstpc)
- Agenzia territoriale dell'Emilia-Romagna per i servizi idrici e i rifiuti (Atersir)
- Agenzia regionale prevenzione, ambiente ed energia dell'Emilia-Romagna (Arpae)
- Servizio geologico, sismico e dei suoli (Sgss)
- Autorità di bacino del distretto del Po - Osservatorio permanente sugli utilizzi idrici in atto nel distretto idrografico del fiume Po
- Romagna acque - Società delle Fonti
- Gruppo Hera

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano i dirigenti e funzionari degli enti partecipanti all'esercitazione Riwx 2022 e il programma Interreg Adrion 2nd call, Progetto Muha (*MultiHazard Framework for Water Related Risks Management*) n. 952.

Il presente articolo è stato prodotto con il supporto finanziario dell'Unione europea. Il contenuto dell'articolo è di responsabilità unica degli autori e in nessun caso riflette la posizione dell'Unione europea e/o delle autorità del programma Adrion.

1 Il bacino di Ridracoli (comune di Bagno di Romagna, FC).

2 Vista del fiume Po nei pressi di San Benedetto Po, estate 2022.

DISASTRI E DISSESTO? URGENTE CAMBIARE PARADIGMA

SONO NECESSARIE MAGGIORI SCELTE CORAGGIOSE E TANTA EDUCAZIONE AMBIENTALE PERCHÈ I DISASTRI, COME INONDAZIONI E FRANE, SIANO CONSIDERATI NON SOLO COME FENOMENI NATURALI MA ANCHE ANTROPICI. QUESTA È UNA RESPONSABILITÀ CHE LA CIVILTÀ COSIDDETTA EVOLUTA DEVE ASSUMERSI.

Frane, alluvioni, terremoti e variazioni climatiche sono fenomeni naturali che hanno accompagnato l'intera evoluzione della terra. Negli ultimi secoli, da quando l'uomo ha cominciato a modificare il volto del pianeta con tecnologie più potenti, sono cambiate le dinamiche e le relazioni tra gli eventi naturali e quelli antropici. Negli ultimi decenni poi, la velocità di questi cambiamenti è cresciuta in modo esponenziale. Questa accelerazione, oltre ad aumentare la frequenza e la carica distruttiva dei fenomeni, si è portata dietro l'incapacità della specie umana di riconoscere il proprio apporto.

Il sociologo tedesco Ulrich Beck, nel suo libro testamento *“La metamorfosi del mondo”* (ed. Laterza), diceva: “Il mondo è fuori dai cardini. Sono molti a crederlo. Vaghiamo senza meta, confusi, discutendo pro e contro questo e quello. Su una frase la maggioranza delle persone si trova d'accordo, al di là di tutti gli antagonismi, e in tutti i continenti: «Non capisco più il mondo»”.

Avendo perso la capacità di leggere la portata delle nostre azioni sull'ambiente ci ostiniamo a chiamare i tanti, troppi, “disastri” come “naturali”, che con un facile sillogismo potremmo chiamare “disastri normali”, cioè che accadono a prescindere, e che quindi sono quasi inevitabili. Sempre nella stessa opera Ulrich Beck, parlando della società del rischio, traccia la differenza tra “incidente” e “catastrofe”. Dove l'incidente è un evento delimitato in termini di tempo, spazio e persone coinvolte e la catastrofe è un evento che non ha questi limiti. La mancata percezione del nostro impatto sul pianeta ci mostra un succedersi di incidenti che fanno storia a sé. E in tal modo siamo portati a persistere nell'errore, a costruire grandi opere che accrescono la nostra impronta ecologica sul pianeta. Andando indietro nel tempo, già negli anni '70 Gregory Bateson aveva colto



il grave limite delle risposte occasionali alla crisi ambientale: “le nostre società curano i sintomi invece che concentrarsi sui sistemi”. Essenziale invece conoscere la struttura che connette per fare sì che l'uomo diventi di fronte alla natura un unico sistema autoregolante e non un sistema votato alla distruzione.

Occorre allora cambiare il paradigma con cui si analizzano i fenomeni e si operano le scelte. È necessario passare dalla logica della risposta occasionale e parcellizzata a una logica sistemica di sostenibilità nelle sue dimensioni ambientali, sociali ed economiche, poiché a concentrarsi su una sola dimensione si perde il contesto e ci si condanna all'autodistruzione.

Oggi disponiamo di importanti piani strategici (Agenda 2030) per un futuro sostenibile che convivono con grandi ritardi e contraddizioni. A tutti i livelli e organizzazioni.

Un esempio di schizofrenia cognitiva è dato dal consumo di suolo. È oramai conclamato l'effetto nefasto dell'eccessivo

consumo di suolo, non solo per la perdita di terreno agricolo sempre più necessario, ma anche per l'aumento del rischio di alluvioni e della mancata ricarica delle falde idriche a causa dell'impermeabilizzazione del suolo stesso, dell'aumento dell'effetto isola di calore durante le estati, dell'immissione in atmosfera di CO₂ con i conseguenti effetti negativi sul clima ecc. Nonostante questi e altri effetti negativi oramai universalmente riconosciuti, nonostante esistano leggi a livello regionale (purtroppo non nazionale) che cercano di limitare lo spreco dei suoli agricoli e naturali, il trend in aumento della cementificazione è molto forte, e ciò che è peggio non lo è per rispondere alla domanda di alloggi, ma per la crescita di poli logistici a bassissimo livello occupazionale, per infrastrutture di dubbia utilità o per la creazione di aree residenziali di lusso.

Continuare a chiamare le inondazioni, le frane o i terremoti “disastri naturali”,

vederli come si accennava prima, come incidenti, fa sì che si scarichi altrove la responsabilità di quel che accade. Domenico Pompili, vescovo di Rieti, durante il funerale delle vittime del terremoto di Amatrice il 30 agosto 2016, ha affermato a gran voce: “Il terremoto non uccide. Uccidono le opere dell'uomo!”.

Questo terribile richiamo alla responsabilità di ognuno di noi, di tutti coloro che sono tenuti a vigilare sulla sicurezza del territorio o sulla sicurezza delle abitazioni in un paese ad alta sismicità come l'Italia, di tutte quelle istituzioni che intervengono *ex post* cercando di rimediare o semplicemente di ripagare i danni, ci dice che abbiamo bisogno di imparare o meglio di reimparare.

Abbiamo dunque bisogno di educazione, di riconoscere che le nostre scelte non sono neutre. Che non dobbiamo solo costruire case sicure, ma che dobbiamo sistemare il patrimonio edilizio esistente nelle zone a maggior rischio sismico. Che dobbiamo verificare quali siano le situazioni di pericolosità idrogeologica e provvedere alla messa in sicurezza anche attraverso l'eliminazione delle infrastrutture, anche abitative, maggiormente vulnerabili nelle aree più esposte e ad alta pericolosità.

Un esempio ancora più rilevante e di dimensione planetaria è quello della crisi climatica, una crisi sistemica. Anche in

questo caso si continua a rispondere in modo parcellizzato con qualche opera di adattamento, ignorando così le cause e ciò che si può fare per mitigarle. Tranne qualche ormai raro negazionista, sono tutti d'accordo nel combattere i cambiamenti climatici. Si reagisce velocemente per combattere la siccità, costruendo tanti piccoli bacini per la raccolta delle acque, ma al contempo per rispondere alla crisi energetica si investe di nuovo pesantemente nelle energie fossili, ritornando addirittura all'utilizzo del carbone e con la prospettiva di rimanerci per parecchi anni, invece di investire in modo massiccio nelle energie rinnovabili, che oltretutto sarebbero pronte in tempi brevi.

Non deve allora stupire se di fronte all'inconcludenza dei politici si leva alta la voce di papa Francesco nell'interpretare

il corretto rapporto tra uomo e ambiente, che ci ricorda che abbiamo bisogno di reimparare uno sguardo e stili di vita nuovi, perché “ci troviamo davanti a una sfida educativa” (*Laudato si'*, 209). E allora “la cultura ecologica non si può ridurre a una serie di risposte urgenti e parziali ai problemi che si presentano riguardo al degrado ambientale, all'esaurimento delle riserve naturali e all'inquinamento. Dovrebbe essere uno sguardo diverso, un pensiero, una politica, un programma educativo, uno stile di vita e una spiritualità che diano forma a una resistenza di fronte all'avanzare del paradigma tecnocratico” (*Laudato si'*, 111).

Francesco Malucelli, Paolo Tamburini

Centro tematico regionale Educazione alla sostenibilità, Arpa Emilia-Romagna

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Beck U., 2017, *La metamorfosi del mondo*, Laterza.

Bateson G., 1997, *Una sacra unità. Altri passi verso un'ecologia della mente*, Adelphi.

Snpa, 2022. *Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. Edizione 2022*, <https://bit.ly/consumo-suolo2022>
<https://bit.ly/rapporto-consumo-suolo>.

Papa Francesco, Lettera enciclica *Laudato si'*, 24 maggio 2015.
<https://bit.ly/laudato2015>.

“Educare all'Agenda 2030: La sostenibilità come processo di apprendimento attivo ed esperienza di nuovi sistemi di gestione e stili di vita”.
<https://bit.ly/educare-agenda2030>.



LA MITIGAZIONE DELLA CONFLITTUALITÀ AMBIENTALE

IL PROCESSO NEGOZIALE, DEPURATO DALL'INFLUENZA INVASIVA DI PUNTI DI FORZA E DI DEBOLEZZA IN CAPO ALLE PARTI, SI PUÒ TRASFORMARE IN UN VERO E PROPRIO MOMENTO DI CONFRONTO TRA LE DIVERSITÀ CHE ABITANO LA DIMENSIONE AMBIENTALE IN UN'OTTICA SEMPRE PIU' RELAZIONALE DI MEDIO-LUNGO PERIODO.

Tra le parole chiave della tematica ambientale, *complessità*, *contraddizione* e *conflittualità* sono tra le più invasive, in termini di impatto. Come già notato da Sergio Vazzoler¹ si tratta di tre fenomeni correlati. Se nel momento in cui la complessità – sia quantitativa e riferita ai nuovi pubblici sia qualitativa rispetto alla natura dei fenomeni indagati – non viene legittimata e decodificata, infatti, la stessa comporta un clima contraddittorio che, a sua volta, innesca conflitti e frizioni che ritardano l'applicazione di misure concrete, facendo prevalere un immobilismo quanto mai dannoso, dato l'ampio ritardo già maturato. L'obiettivo dichiarato, in tal senso, non è quello di eliminare le tre parole chiave dal paradigma comunicativo ambientale, quanto di esaltarne le potenzialità (soprattutto per quanto riguarda la complessità, intesa come varietà multidisciplinare e intellettuale da aggregare) mitigandone, nel contempo, le contraddizioni e i conflitti.

La tecnica negoziale al bivio del futuro

“Processo attraverso il quale due o più parti con obiettivi conflittuali, cercano consapevolmente, anche se con una piccola cooperazione, di arrivare a un accordo soddisfacente per tutti”. Tra le tante definizioni di *negoziiazione*, quella dell'Erickson Mediation Institute è tra le più convincenti sia sul piano operativo sia su quello valoriale. Come tutte le definizioni, però, anche questa sconta un consistente scostamento con una quotidianità che ancora privilegia un modello negoziale aggressivo, fortemente influenzato da punti di forza e di debolezza in capo alle parti, capaci a loro volta di orientare il percorso verso determinate direzioni, a prescindere dal merito delle stesse. La



stessa storia, d'altronde, ce lo insegna in maniera esemplare. Uno degli esempi più riconosciuti è quello del Trattato di Versailles che pose fine alla prima guerra mondiale.

John Maynard Keynes – presente in rappresentanza del Ministero del Tesoro britannico – ne criticò aspramente forma e contenuti², considerati troppo punitivi, prevedendo l'insorgenza di nuovi conflitti e instabilità. Che si avverarono puntualmente, nel momento in cui, anni più tardi, la propaganda nazista utilizzò proprio le dure condizioni di resa come vero e proprio motivo narrativo.

L'esempio offre spunti importanti soprattutto sugli impatti nel medio lungo periodo, identificando due parti – una nettamente vincitrice e l'altra altrettanto nettamente soccombente – che a prescindere dalla loro posizione non riusciranno mai a lavorare insieme, mettendo in pratica le risultanze del processo appena trascorso. Si tratta, in poche parole, di una vera e propria vittoria mutilata che inibisce anche solo la possibilità di una coesistenza, a vantaggio di quell'immobilismo che si citava sopra.

Il bivio evocato riguarda, dunque, il passaggio da un modello *machista* a uno più squisitamente e genuinamente empatico, in cui la tecnica negoziale non sia solo utile per dirimere una contingenza, ma rappresenti il punto di partenza per una relazione coesa e stabile nel tempo. Un passaggio non solo utile ma cnicamente necessario rispetto a un ambiente di esercizio diffuso e interconnesso in cui la strategia generale non può prescindere da un apporto multidisciplinare.

Prime prove tecniche di negoziazione relazionale

Come rendere questo auspicio tangibile e spendibile nella quotidianità? Molto dipenderà dal modo in cui le parti intenderanno e posizioneranno il compromesso, inteso come soluzione incompleta cui si è costretti da motivi contingenti, originati da quei punti di forza e di debolezza di cui ogni parte è portatrice. Generalmente la fase di gestione del compromesso si realizza nei gangli già incardinati del processo in quel momento di attuazione negoziale

in cui le parti si incontrano, con ruoli già assegnati e obiettivi di parte già definitivi.

Ma cosa accade se, al contrario, posizioniamo la gestione del compromesso in una fase antecedente il confronto vero e proprio, prevedendone analisi e metabolizzazione nella fase di preparazione e pianificazione? Le parti – che, di fatto, non sono ancora tali – potrebbero così, in un clima privo di stress e di antagonismo, riflettere sull'obiettivo che intendono portare al tavolo negoziale, filtrando ciò che è *necessario* – e che costituirà l'ossatura identitaria e valoriale della proposta – da ciò che è *accessorio* e che rappresenterà il livello possibile di compromesso nella cornice del nascente processo negoziale³.

La differenza rispetto al *modus operandi* tradizionale non è di poco conto. Nel primo caso, infatti, il compromesso viene subito dalla parte soccombente, creando frustrazione e inibendo in partenza la creazione di un sentimento di fiducia reciproca, mentre nel secondo caso il compromesso viene consapevolmente perseguito e attuato favorendo un sentimento di fiducia diffusa. Che lo stesso processo negoziale avrà il compito di perfezionare o disattendere.

Obiettivi delle parti e risvolti comunicativi

L'emersione di un obiettivo *oltre* la singola contingenza impone nuovi oneri comunicativi e relazionali che si aggiungono a quelli già presenti, implementandone la resa. Tra questi, per esempio, la duplice e piena consapevolezza dei motivi che muovono la propria azione personale e quella altrui,

generalmente esercitata nella fase di pianificazione. Si tratta, nello specifico, di un'analisi funzionale all'individuazione dei propri obiettivi e alla definizione dei livelli di compatibilità con gli obiettivi *probabili* del proprio interlocutore.

Trattandosi poi di ambiti che esprimono reciprocamente un alto tasso di diversità valoriale e operativa, diventa importante prendere opportuna coscienza di tutte quelle variabili e di quei fattori esterni che potrebbero orientare la nascente relazione, per comprendere se si tratti di opportunità da approfondire o di minacce da scansare. L'esito di tutte queste risultanze, aggregate e mixate tra loro, rappresenterà così il punto di sintesi più probabile – perché ancora non confrontato con l'interlocutore – tra le varie istanze delle parti coinvolte. Con un obiettivo che non è più assoluto e autoreferenziale, ma al contrario potenzialmente adeguato all'auspicato scopo relazionale di ampio respiro.

Oltre a quanto sopra, anche alcuni aspetti apparentemente marginali e in realtà strategici per dimostrare sul campo la propria coerenza tra ciò che si auspica e ciò che si pratica. In particolare:

- il *timing* da prevedere per il confronto negoziale che non deve essere mai né troppo esiguo né troppo ampio, ma semplicemente adeguato alla complessità della questione trattata
- l'ordine degli *argomenti* da dibattere, da organizzare e presentare non solo rispetto alle proprie aspettative ma anche rispetto a quelle altrui
- più in generale, una costante *propensione all'ascolto* inteso non in senso tattico per rispondere in maniera reattiva e immediata, ma in senso più propriamente empatico nella legittimazione di un sentimento reciproco di fiducia.

La misurazione operativa e relazionale

La fase di misurazione detiene un ruolo fondamentale in ogni proposito progettuale, consentendo di riscontrare *ciò che è stato* in funzione di una possibile implementazione futura. Accanto a questo significante estremamente prezioso per la crescita organizzativa se ne affianca un altro che interessa proprio i rapporti tra le parti coinvolte.

Più nello specifico, la possibilità concreta di confronto per esplorare opportunità future indotte dall'accordo appena formalizzato. Si tratta di una opzione importante per dare concreto seguito agli scopi e agli stili di conduzione dell'avvenuto processo in una visuale relazionale di medio lungo respiro. E, più in generale, per consentire a un confronto, nato conflittuale, di esprimere una rinnovata forma co-progettuale, indispensabile per affrontare quelle sfide a cui non possiamo più sottrarci.

Stefano Martello

Componente tavolo "Ambiente e sostenibilità", Pa Social

NOTE

¹ Sergio Vazzoler, "Il comunicatore ambientale, consigli di sopravvivenza", *Ecoscienza*, n. 3, 2022.

² John Maynard Keynes, *Le conseguenze economiche della pace*, Adelphi, 2007.

³ Stefano Martello, *Il processo negoziale per il Terzo settore*, Csv Napoli, n. 12, 2021, p. 13.



COMMISSIONE BICAMERALE ECOMAFIE

LA RELAZIONE CONCLUSIVA DELLA COMMISSIONE BICAMERALE D'INCHIESTA SULLE ECOMAFIE NELLA XVIII LEGISLATURA

Il 15 settembre 2022 è stata approvata all'unanimità la Relazione conclusiva della Commissione parlamentare di inchiesta sulle attività illecite connesse al ciclo dei rifiuti e su illeciti ambientali ad esse correlati (cd Commissione ecomafie) per la XVIII Legislatura, giunta dopo 20 singole relazioni su approfondimenti d'inchiesta che hanno coperto le materie più sensibili della tutela dell'ambiente e della transizione ecologica, nella prospettiva dei compiti istituzionali della Commissione, divenuti ampi e articolati soprattutto nelle due ultime legislature, sotto le presidenze di Alessandro Bratti, Chiara Braga e Stefano Vignaroli. Riportamo di seguito i passaggi più rilevanti delle considerazioni finali del documento.

Tutte le relazioni sono reperibili al link <https://parlamento18.camera.it/197>

“L'attività della Commissione della XVIII Legislatura ha preso avvio il 14 novembre 2018 con la costituzione degli organi e della presidenza e ha una sua definizione, salva la protrazione dei compiti di inchiesta, con l'approvazione della presente Relazione conclusiva. Si tratta di circa tre anni e nove mesi di lavoro, tempo significativamente inferiore alla durata fisiologica della Legislatura, in cui tuttavia, come risulta da quanto sin qui riportato, la Commissione è stata in grado di svolgere con ampiezza di orizzonte ed efficacia di risultati i compiti attribuiti dalla legge. Lo testimoniano le venti relazioni approvate, oltre alla presente Relazione conclusiva, tutte con il voto unanime dei parlamentari della Commissione. Si tratta di un risultato di particolare significato laddove si consideri che per circa due anni, a partire dal marzo 2020, le restrizioni introdotte dalle misure emergenziali Covid-19 hanno fortemente limitato l'operatività della Commissione.

[...]

L'attività della Commissione si è posta in consapevole linea di continuità con la storia di oltre due decenni di inchieste, esordite nella XIII Legislatura (1996-2001), e in particolare con l'attività svolta nella XVII Legislatura.

[...]

Nel corso dell'attività della Commissione è stato progressivamente superato il criterio, tradizionale nell'esperienza storica, della distinzione tra relazioni “territoriali” e relazioni “tematiche”. Anche nella impostazione delle singole relazioni, si è tendenzialmente privilegiata la focalizzazione di singoli problemi, utilizzando l'esame di situazioni locali per fornire elementi conoscitivi e valutativi di rilievo nazionale; e, simmetricamente, declinando, anche in termini di vicende locali rilevanti, temi affrontati con uno sguardo generale. Coerente con questo approccio è lo stile prevalente nella redazione delle relazioni che, in quanto strumenti posti a disposizione del Parlamento e della collettività, ha privilegiato la sintesi e la focalizzazione di temi e problemi evitando redazioni compilative e ridondanti, pur non rinunciando – come attesta il complessivo elevato numero di pagine dei documenti – a un alto livello di approfondimento delle materie trattate.

[...]

L'insieme del lavoro d'inchiesta svolto dalla Commissione nella presente Legislatura restituisce la complessità dei temi della tutela dell'ambiente di cui già la legge istitutiva n. 100 del 2018 si è resa interprete. Ciascuno degli approfondimenti che con le modalità e i contenuti descritti la Commissione ha portato a termine mostra due simmetriche direzioni di possibile ulteriore approfondimento nella prossima Legislatura. Una direzione è quella segnata dall'esistenza di una molteplicità di problemi locali talora irrisolti, talora emergenti, il cui numero e varietà non sono suscettibili di essere ricondotti a sintesi in questa sede. L'altra rilevante direzione è quella dell'esistenza di problemi di ordine generale la cui mancata o errata soluzione può essere produttiva di fenomeni illeciti. Il riferimento è a tematiche generali quali quelle del rispetto

(o mancato rispetto) della gerarchia europea in materia di gestione dei rifiuti che indica criteri e priorità su cui deve basarsi qualsiasi azione, puntuale o programmatoria, nell'ambito del ciclo dei rifiuti; in cui si deve prediligere – anche per evitare l'inserimento di interessi illeciti – la riduzione dei rifiuti a monte e la realizzazione di impianti di recupero di materia e riutilizzo, a discapito in particolare del conferimento in discarica che, tuttavia, come le relazioni approvate dalla Commissione in materia di garanzie finanziarie dimostrano, costituiscono ancora, in Italia, una rilevante realtà. Emerge da più attività istruttorie della Commissione come il riutilizzo (pur essendo prioritario rispetto al riciclo) sconta un notevole ritardo nel completamento di un'organizzazione adeguata; mentre nell'ambito del recupero di materia manca una filiera adeguatamente strutturata per alcuni materiali: esempio evidente è rappresentato dalle plastiche di cui esistono molteplici tipologie che necessitano di trattamenti diversi.

Le medesime istruttorie, in particolare quelle in materia di flussi illeciti di rifiuti e di incendi negli impianti di trattamento di rifiuti, mostrano, tra l'altro, che i limiti delle filiere sul riciclo di alcune tipologie di materiali, la mancanza di obblighi nel riutilizzare materiale riciclato negli appalti pubblici (criteri ambientali minimi - Cam), la prevalenza di incentivi economici verso il recupero energetico rendono più appetibile e semplice quest'ultimo rispetto al recupero di materia. Ancor meno appetibile e trascurato il *business* del riutilizzo e l'impegno verso una riduzione della produzione di rifiuti a monte. Spesso l'imballaggio è più consistente del prodotto imballato e il prodotto stesso è pensato per essere obsoleto in poco tempo o non duraturo.

Viviamo in un sistema che misura il proprio benessere in base al Pil e paradossalmente produrre tanti rifiuti è sinonimo di benessere e ricchezza. Finché produrremo inutilmente così tanti rifiuti ci saranno sempre problemi nel gestirli, problemi di illegalità e problemi ambientali.

Le inchieste della Commissione nate o sviluppatesi in ambiti territoriali definiti, così come quelle relative alle garanzie finanziarie nel settore delle discariche e agli aspetti ambientali della gestione di miniere e cave, mostrano a loro volta una talora insufficiente risposta a livello regionale in termini di conoscenza, gestione delle informazioni e controlli, tutti elementi preventivi rispetto a possibili illeciti ambientali. La dialettica, necessaria in maniera trasparente, tra Governo centrale, Regioni e comunità locali, impronta poi le scelte – compiute o da compiersi necessariamente – su grandi temi di interesse nazionale rientrati in via diretta o indiretta negli approfondimenti della Commissione, quali quelli delle bonifiche del Sin e della gestione dei rifiuti radioattivi. La Commissione intende poi rivendicare come, sia in fase di inchiesta, sia nell'attuazione dei protocolli cui si è fatto riferimento, abbia agito non solo in termini di analisi teorica dei fenomeni ma anche con esiti pratici e tangibili, in una pluralità di occasioni.

Si possono in tal senso ricordare, di seguito richiamandole in sintesi, le vicende:

- della rinuncia all'utilizzo dei guanti come presidio contro l'epidemia Covid-19, con significativa riduzione nella produzione di rifiuti (un'iniziativa specifica assunta dal

Presidente dopo l'approvazione della relazione, ha portato Trenitalia a cessare l'inutile fornitura di guanti ai passeggeri);
 - dell'estensione dell'allarme sulle sostanze perfluoroalchiliche anche al di fuori della regione Veneto, dove storicamente è sorto il problema ambientale - ed è stato evidenziato anche grazie al lavoro della Commissione - e in particolare nella provincia di Alessandria, nonché di iniziative di modifiche normative sui limiti per tali sostanze inquinanti, anche a firma del Presidente della Commissione;
 - del seguito, dopo l'approvazione della relazione della Commissione e il suo invio anche alla Procura della Repubblica di Firenze, della vicenda giudiziaria dei "gessi rossi" prodotti nello stabilimento chimico di Scarlino dalla società Venator Italy srl e utilizzati per il ripristino dell'ex sito di cava di Montioni a Follonica, con l'emissione di avvisi di garanzia per l'ipotesi di attività organizzate per il traffico illecito di rifiuti;
 - sempre in ambito giudiziario, del sequestro della discarica di Albano - di cui si dà conto nella seconda Relazione sulle garanzie finanziarie negli impianti di discarica - che fa seguito alle evidenze sui limiti di sistema indicati dalla Commissione nella prima Relazione sulle garanzie finanziarie;
 - in termini più direttamente operativi, del sequestro di un impianto che produceva buste di plastica fuori norma nella zona di Caivano, con l'intervento dei Carabinieri forestali e

della Polizia locale di Napoli, su attivazione dei protocolli di collaborazione conclusi con la Commissione e con la presenza del Presidente; quanto infine al tema dei rifiuti tessili e degli abiti usati, già prima dell'approvazione della relazione in materia, le attività istruttorie della Commissione sono state recepite da operatori del settore in vista delle modifiche normative sulla responsabilità estesa del produttore, prefigurando un cambio di scenario nel relativo ciclo dei rifiuti. La Commissione ritiene, con il lavoro svolto nella presente Legislatura, con le proprie acquisizioni documentate nei resoconti e contenute nei documenti acquisiti - la cui natura qualità e quantità è stata descritta nella presente Relazione - con il contenuto delle venti relazioni approvate e della presente Relazione conclusiva, di avere fornito un patrimonio conoscitivo costituente fonte di orientamento nelle materie indicate nella legge istitutiva, utile allo svolgimento dei compiti del Parlamento, del Governo centrale, delle Regioni e delle autonomie locali, di tutti i soggetti pubblici coinvolti nella tutela dell'ambiente, a partire dal Sistema nazionale a rete per la protezione dell'ambiente, nonché delle autorità giudiziarie e delle polizie giudiziarie; e costituente altresì, in quanto pubblico e disponibile, strumento di orientamento per scelte ambientalmente corrette e coerenti delle imprese e di conoscenza destinata ai cittadini".

Titolo relazione	Relatori	Data approvazione
Relazione territoriale sulla regione Umbria	On. S. Vignaroli, On. R. Polverini, Sen. S. Bossi	21/05/2020
Emergenza epidemiologica Covid-19 e ciclo dei rifiuti	On. S. Vignaroli, On. C. Braga, On. R. Polverini	08/07/2020
Relazione sulla contaminazione da mercurio del fiume Paglia	On. S. Vignaroli, On. C. Braga, On. R. Polverini	25/11/2020
Relazione sulle garanzie finanziarie nel settore delle discariche	On. S. Vignaroli, Sen. V. D'Arienzo, On. M. Potenti	14/01/2021
Relazione sull'inquinamento derivante dall'utilizzo dei gessi rossi prodotti a Scarlino	On. S. Vignaroli, On. A. Zolezzi	24/03/2021
Relazione sulla gestione dei rifiuti radioattivi in Italia e sulle attività connesse	On. S. Vignaroli, Sen. P. Lorefice, On. R. Muroni	30/03/2021
Relazione sul SIN Venezia - Porto Marghera e sui dragaggi dei grandi canali di navigazione portuale	On. S. Vignaroli, On. C. Licatini, On. M. Potenti	29/04/2021
Relazione sull'evoluzione del fenomeno degli incendi negli impianti di gestione di rifiuti	On. S. Vignaroli, On. P. Nugnes, On. A. Ferrazzi	04/08/2021
Relazione sulle procedure di localizzazione del deposito unico nazionale dei rifiuti radioattivi	On. S. Vignaroli, On. R. Muroni, On. G. Vianello	21/12/2021
Relazione sulla diffusione delle sostanze perfluoroalchiliche	On. S. Vignaroli, On. C. Braga, On. A. Zolezzi	19/01/2022
Relazione finale sui dragaggi nelle aree portuali e sul fenomeno dell'abbandono dei relitti	On. S. Vignaroli, On. R. Polverini, On. T. Patassini	27/07/2022
Relazione finale sulla depurazione delle acque reflue urbane nella Regione Sicilia	On. S. Vignaroli, Sen. L. Briziarelli	07/09/2022
Relazione finale sul fenomeno dei flussi paralleli illeciti e abbandono di rifiuti	On. S. Vignaroli, On. F. Berardini, Sen. L. Briziarelli, On. C. Licatini, On. A. Zolezzi	07/09/2022
Relazione finale su rifiuti tessili e indumenti usati	On. S. Vignaroli, Sen. M.V. Berutti, On. A. Del Monaco	07/09/2022
Relazione finale sulle garanzie finanziarie nel settore delle discariche. Analisi dei dati	On. S. Vignaroli, Sen. V. D'Arienzo, On. M. Potenti	07/09/2022
Relazione finale sul mercato illegale delle buste di plastica-shopper	On. S. Vignaroli, On. C. Licatini	07/09/2022
Relazione finale sull'attuazione della legge 22 maggio 2015 n. 68 in materia di delitti contro l'ambiente	On. S. Vignaroli, Sen. A. Lomuti, On. M. Potenti	15/09/2022
Relazione finale sulla situazione delle bonifiche e della gestione dei rifiuti presso gli impianti ex Ilva-Taranto e nelle aree contermini	On. S. Vignaroli, Sen. P. Nugnes, Sen. F. Trentacoste	15/09/2022
Relazione finale sul traffico illecito di rifiuti in Tunisia	On. S. Vignaroli, Sen. M.V. Berutti, Sen. L. Briziarelli, On. A. Zolezzi	15/09/2022
Relazione finale sugli aspetti ambientali della gestione di miniere e cave	On. S. Vignaroli, Sen. G. Rufa, Sen. F. Trentacoste	15/09/2022
Relazione conclusiva sull'attività svolta nella XVIII legislatura	On. S. Vignaroli	15/09/2022

TAB. 1 ELENCO RELAZIONI DELLA COMMISSIONE

LEGISLAZIONE NEWS

A cura del Servizio Affari istituzionali e avvocatura • Arpa Emilia-Romagna

LEGGE DI BILANCIO: MISCELLANEA DISPOSIZIONI AMBIENTALI

Legge 29 dicembre 2022, n. 197
GU n. 303 del 29 dicembre 2022

Art. 1, commi 685-690 (contributo per il recupero di imballaggi in plastica)

Viene confermato e rifinanziato il contributo a favore delle imprese – sotto forma di credito di imposta – introdotto dalla legge di bilancio 2019 (art. 1, comma 73, L. 145/2018) per gli acquisiti di imballaggi realizzati con materiali ecosostenibili e compostabili e di prodotti finiti derivanti dalla raccolta differenziata degli imballaggi in plastica. Oltre a dare copertura finanziaria alle istanze presentate nel 2022, il contributo è riconosciuto anche per gli acquisiti di imballaggi che verranno effettuati negli anni 2023-24, nella misura del 36% delle spese sostenute (e documentate) dalle imprese per ciascun anno (comma 686), “fino a un importo massimo annuale di 20.000 euro per ciascun beneficiario, nel limite massimo complessivo di spesa di 5 milioni di euro per ciascuno degli anni 2024 e 2025” (comma 687).

Art. 1, comma 691 (incremento del fondo per l'acquisto di eco-compattatori)

Al fine di contenere la produzione di rifiuti in plastica, viene “incrementato di 6 milioni di euro per l'anno 2023 e di 8 milioni di euro per l'anno 2024” il fondo denominato “Programma sperimentale Mangiaplastica”. Il fondo fu istituito in sede di conversione del Dl 111 del 14/10/2019 (c.d. decreto Clima) con la L 141 del 12/12/2019 per consentire ai Comuni di presentare al Ministero dell'Ambiente progetti finalizzati all'acquisto di eco-compattatori. Le modalità e i criteri per l'attribuzione del contributo sono stati indicati dal Mite con decreto del 02/09/2021, pubblicato nella GU 243 dell'11/10/2021.

Art. 1, commi 692-693 (stanziamento per gli interventi sui sistemi fognari e depurativi)

Viene previsto uno stanziamento di 10 milioni di euro per il 2023, di 20 milioni per il 2024, di 30 milioni per il 2025 e di 50 milioni per il 2026 per la realizzazione degli interventi sui sistemi fognari e depurativi volti a dare esecuzione alle sentenze di condanna emesse dalla Corte di Giustizia dell'Unione europea nei confronti dello Stato italiano per non avere dato corretta attuazione, in varie parti del suo territorio nazionale, alla direttiva 91/271/CEE del Consiglio del 21 maggio 1991 concernente il trattamento delle acque reflue urbane. Le procedure di infrazione sono attualmente 4 (cause C-251/17, C-85/13, C-668/19) concluse con sentenza di condanna e parere motivato della Commissione europea n. 2017/2181). La Regione Emilia-Romagna non è coinvolta nelle predette procedure di infrazione.

Art. 1, commi 695-696 (fondo per il contrasto al consumo di suolo)

Viene istituito il “Fondo per il contrasto al

consumo di suolo” e disposto uno stanziamento complessivo di 160 milioni di euro, ripartiti negli anni 2023-2027 (10 nel 2023, 20 nel 2024, 30 nel 2025, 50 nel 2026 e 50 nel 2027) per finanziare interventi “per la rinaturalizzazione di suoli degradati o in via di degrado in ambito urbano e periurbano”.

Art. 1, commi 698-700 (stanziamento a favore delle Autorità di bacino)

Viene previsto uno stanziamento complessivo di 14,5 milioni di euro a decorrere dall'anno 2023 “ad integrazione delle risorse economiche programmate per le spese correnti”, da ripartire tra le Autorità di bacino dei 7 distretti idrografici in cui è suddiviso il territorio nazionale (Alpi orientali, Fiume Po, Appennino settentrionale, Appennino centrale, Appennino meridionale, Sardegna e Sicilia) per “far fronte ai compiti straordinari previsti dall'articolo 63, commi 10 e 11, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, anche nel mutato quadro climatico e territoriale” (in particolare per elaborare i Piani di bacino distrettuale e i relativi Piani stralcio e implementare i “servizi informativi e applicativi per il monitoraggio e la previsione ambientale, per la gestione delle risorse idriche, ivi compresi gli eventi climatici estremi”).

Art. 1, commi 701-706 (risorse per l'Ispra e per il completamento della Carta geologica d'Italia)

Viene autorizzata una spesa di 6 milioni di euro per ciascuno degli anni 2023 e 2024 a favore dell'Ispra “al fine di consentire l'espletamento delle attività strategiche dell'Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale, comprese quelle connesse all'attuazione del Piano nazionale di ripresa e resilienza”.

Si tratta del finanziamento per la realizzazione del nuovo polo laboratoriale di Ispra.

Al comma 702 si prevede un ulteriore contributo di 6 milioni di euro per l'anno 2023 e di 7 milioni di euro per ciascuno degli anni 2024 e 2025, in continuità con i finanziamenti stanziati per il triennio precedente, per il completamento e l'informatizzazione della Carta geologica d'Italia nell'ambito del Progetto Carg.

Al comma 706 viene istituito il Fondo per il completamento della carta geologica d'Italia.

Art. 1, comma 389 (rifinanziamento dei Contratti di sviluppo nel settore della tutela ambientale)

Vengono rifinanziati i contratti di sviluppo, introdotti e disciplinati dall'art. 43 del Dl 112 del 25/06/2008, convertito con modificazioni dalla L 133 del 06/08/2008, aventi ad oggetto la realizzazione, su iniziativa di una o più imprese, di grandi progetti di investimento nel settore industriale, della tutela ambientale o delle attività turistiche, per i quali sono previste agevolazioni finanziarie “a sostegno degli investimenti privati e per la realizzazione di interventi ad essi complementari e funzionali”.

Vengono in particolare stanziati “160 milioni di euro per ciascuno degli anni dal 2023 al 2027

e 240 milioni di euro per ciascuno degli anni dal 2028 al 2037 per i programmi di sviluppo industriale, ivi compresi i programmi riguardanti l'attività di trasformazione e commercializzazione di prodotti agricoli, e per i programmi di sviluppo per la tutela ambientale”.

Art. 1, comma 64 (proroga entrata in vigore della plastic tax)

Viene disposto il rinvio al 1° gennaio 2024 dell'entrata in vigore della c.d. *plastic tax*, ovvero dell'imposta sul consumo dei manufatti con singolo impiego (Macsi) realizzati con materie plastiche, istituita e disciplinata dalla legge di bilancio 2020 (art. 1, commi 634-652 L. 160/2019).

COLLEGATO ALLA LEGGE DI STABILITÀ DELL'EMILIA-ROMAGNA: LE NOVITÀ IN CAMPO AMBIENTALE

Lr 27 dicembre 2022, n. 23

Burert n. 387 del 27 dicembre 2022

Art. 2 (Proseguimento dei procedimenti di bonifica dei siti “orfani” avviati dai Comuni ai sensi della normativa previgente)

Stabilisce che i procedimenti di bonifica dei c.d. siti orfani “avviati dai comuni ai sensi della normativa previgente e in corso alla data di entrata in vigore della presente legge, proseguono in capo alla Regione che li gestisce attraverso l'Agenzia regionale per la prevenzione, l'ambiente e l'energia (Arpa)” in conformità all'art. 242 del Testo unico ambientale (Dlgs 152/2006) e all'art. 16 della Lr 13/2015.

Con siti orfani si indicano quei siti potenzialmente contaminati per i quali il procedimento di individuazione del responsabile della contaminazione non sia stato avviato, ovvero si sia concluso ma il responsabile della contaminazione non sia individuabile o non provveda agli adempimenti di bonifica e a tali adempimenti non provveda nemmeno il proprietario del sito né altro soggetto interessato. Per tali interventi con il Dm del 29/12/2020 sono stati stanziati fondi statali per circa 105,6 milioni di euro per gli anni dal 2019 al 2024, ripartiti tra le Regioni. Con l'accordo siglato il 1° settembre 2021 tra Mite e Regione Emilia-Romagna, i fondi stanziati a favore di quest'ultima sono stati pari a 5 milioni e 370 mila. Ulteriori fondi (comunitari) sono stati stanziati nell'ambito del Pnrr, per 500 milioni di euro. Con il Dm del 04/08/2022 è stato approvato il “Piano d'azione per la riqualificazione dei siti orfani” al fine di ridurre l'occupazione del terreno e migliorare il risanamento urbano e sono stati ripartiti i predetti fondi tra le Regioni (nell'allegato 2 al Dm 04/08/2022 sono individuati i siti orfani della Regione Emilia-Romagna assegnatari dei finanziamenti per 27 milioni e 158 mila euro).

Art. 3 (Disposizioni transitorie in materia di autorizzazioni di cui alla Lr 17/1991)

Incrementa di un ulteriore anno la prorogabilità

dell'autorizzazione all'escavazione prevista dal comma 3 dell'art. 15 della Lr 17/1991 (Disciplina delle attività estrattive). Si precisa (primo comma, secondo periodo) che la disposizione *"trova applicazione anche per le proroghe già assentite alla data di entrata in vigore della stessa, la cui efficacia sia ancora in corso"*.

Art. 4 (Disposizioni per il rispetto dei parametri quantitativi delle acque)

Autorizza l'amministrazione competente ad effettuare – *"nelle more della redazione dei Piani di bilancio idrico"* e *"in ottemperanza alle misure previste nei Piani di gestione distrettuali vigenti"* – una *"revisione in riduzione dei quantitativi assentiti nelle concessioni"* di derivazione d'acqua pubblica ex r.d. n. 1775/1933 *"nel caso di corpi idrici che presentano criticità sotto il profilo dei parametri quantitativi (...), dando priorità agli atti in corso di rinnovo e secondo modalità stabilite mediante apposito atto di Giunta regionale"*. Con successivo atto di Giunta potranno essere individuate le modalità per procedere alle revisioni in riduzione delle concessioni di derivazione d'acqua pubblica.

Art. 5 (Modifiche all'art. 4 della Lr 16/2015)

Modifica l'articolo 4 della Lr 16/2015 sull'economia circolare e sulla riduzione della produzione di rifiuti urbani, introducendo un comma 2-bis in cui sono riportate le definizioni di Comuni "virtuosi" e "supervirtuosi". Vengono quindi adeguati i criteri di determinazione del fondo, attivato e gestito da Atersir, per incentivare la riduzione dei rifiuti e diminuire il costo del servizio di igiene urbana a carico degli utenti dei Comuni supervirtuosi e dei Comuni virtuosi (modifica dei commi 3 e 4 dell'art. 4 della Lr 16/2015 e introduzione di un comma 4-bis).

Art. 6 (Modifiche all'art. 5 della Lr 16/2015)

Viene prorogato al 31/12/2024 (rispetto al 31/12/2022) il termine previsto dal comma 8 dell'art. 5 della Lr 16/2015 per l'avvio su tutto il territorio regionale della tariffazione puntuale differenziata per utenze domestiche e non domestiche, sulla base delle linee guida predisposte da Atersir.

Art. 7 (Modifiche alla Lr 16/2015)

Introduce un articolo 10-bis (Disposizioni transitorie) alla Lr 16/2015 che riduce per l'anno 2023 gli incentivi previsti per le finalità indicate alle lettere a) e b) del comma 4 dell'art. 4 della medesima legge per riallocarle ai Comuni *"che nell'anno 2022 hanno percepito la linea di incentivo per la virtuosità e che per effetto della rimodulazione del Fondo subiscono una riduzione dell'incentivo, in proporzione all'entità della perdita"*.

Art. 8 (Modifiche alla Lr 26/2004)

Aggiunge un articolo 29-bis (Clausola valutativa) alla Lr 26/2004, recante la *"Disciplina della programmazione energetica territoriale ed altre disposizioni in materia di energia"*, in cui si delinea una sorta di procedura di valutazione sullo stato di attuazione della legge, del Piano energetico regionale e dei relativi Piani attuativi, da parte dell'Assemblea legislativa e della Giunta regionale, avvalendosi anche di Arpa.

Art. 9 (Disposizioni in materia di qualità dell'aria)

Viene prorogata la sospensione dell'obbligo di copertura delle vasche (di stoccaggio delle deiezioni) disposto a carico delle aziende

agricole dall'articolo 22, comma 1, lettera a) delle Nta del Pair 2020 (Piano aria integrato regionale) sino alla data di entrata in vigore del Pair 2030 in corso di approvazione.

METODO DI CAMPIONAMENTO DEGLI SCARICHI: SI PRONUNCIA LA CASSAZIONE

Cass. Pen., Sez. III, Sent. n. 45434 del 30/11/2022

La sentenza in commento, prendendo le mosse dalla definizione di "scarico" contenuta nel Tua (art. 74, comma 1, lettera ff), come modificata dal Dlgs 4/2008 (per cui costituisce scarico non *"qualsiasi immissione di acque reflue" tout court*, ma qualsiasi immissione *"effettuata esclusivamente tramite un sistema stabile di collettamento"*) ha precisato che ai fini della configurazione dei reati di cui all'art. 137, commi 1 e 2, del Tua (scarichi non autorizzati di acque reflue industriali), per aversi scarico non è necessario che il deflusso di reflui all'interno della canalizzazione sia attuale, ovvero in corso al momento dell'accertamento. Né tantomeno che il campionamento del refluo debba avvenire secondo le modalità indicate nell'Allegato 5 alla Parte terza del Tua (campione medio prelevato nell'arco di 3 ore). Piuttosto, proprio le caratteristiche dello scarico possono giustificare il ricorso (motivato) a un tipo di campionamento istantaneo in deroga alla raccolta di un campione medio. Osservano infatti i giudici: *"Ed invero, la circostanza della sussistenza di un deflusso attuale invece che precedente ovvero discontinuo di reflui industriali può rilevare, piuttosto, oltre che in relazione all'epoca dei fatti, sul piano della significatività degli accertamenti analitici svolti, posto che, come noto, le indicazioni sulle metodiche di prelievo e campionamento del refluo, contenute nell'allegato 5 alla Parte II^a [recte III^a] del Dlgs 3 aprile 2006, n. 152 (campione medio prelevato nell'arco di tre ore) non costituiscono un criterio legale di valutazione della prova e possono essere derogate, anche con campionamento istantaneo, in presenza di particolari esigenze individuate dall'organo di controllo, delle quali deve essere data motivazione e tali esigenze possono derivare dalle caratteristiche del ciclo produttivo, dal tipo di scarico – continuo, discontinuo, istantaneo –, dal tipo di accertamento"*.

Come la giurisprudenza amministrativa non ha mancato di puntualizzare, la scelta di seguire un metodo di campionamento diverso da quello ordinario (medio) deve essere sorretta dalla necessità di garantire in maggior misura la *"rappresentatività del campione da sottoporre ad analisi"*, ovvero dalla necessità di ottenere il campione più adatto a rappresentare lo scarico oggetto di accertamento (si vedano, in questo senso, Tar Umbria, Perugia, Sez. I, sentenze n. 269/2020 e n. 373/2020).

IL TAR BOLOGNA SI PRONUNCIA NUOVAMENTE SUI CRITERI DI INDIVIDUAZIONE DEL RESPONSABILE DELLA CONTAMINAZIONE

Tar Emilia-Romagna, Bologna, Sez. I, Sent. n. 1025 del 27/12/2022

Con la sentenza in epigrafe, il Tar Emilia-Romagna ha respinto il ricorso presentato da una società che era stata individuata da

Arpa come soggetto responsabile della contaminazione di un sito su cui la stessa società aveva svolto fino all'anno 1964 attività di produzione di gas combustibile tramite processo di distillazione del carbone. Con il ricorso la società contestava che potesse essere causalmente ricondotta alla sua attività la contaminazione del sito, piuttosto che a quella delle società che le erano succedute, tenuto conto della cessazione dell'attività e della cessione dell'area avvenute in epoca molto risalente (1964) e della permanenza sul sito, anche dopo il passaggio di proprietà, di un impianto (gasometro) ritenuto inquinante. Nel respingere il ricorso, il Tar ha ribadito due principi importanti: il primo, che in materia di responsabilità ambientale, l'individuazione del responsabile dell'inquinamento si basa sul criterio causale del "più probabile che non", per cui è sufficiente che il nesso eziologico tra l'attività svolta nell'area e l'inquinamento della medesima ipotizzato dall'amministrazione sia più probabile della sua negazione; il secondo, che il giudizio di individuazione del responsabile dell'inquinamento operato dall'amministrazione è frutto di discrezionalità tecnica, come tale soggetto a limiti di sindacabilità da parte del giudice amministrativo.

Alla luce di questi due principi, il Tar osserva che *"il soggetto individuato come responsabile dell'inquinamento, sulla base di un attendibile ragionamento presuntivo formulato nei termini sopra indicati, non può, per contrastarne le conclusioni, limitarsi a ventilare genericamente il dubbio circa una possibile responsabilità di terzi, ma deve, a sua volta, fornire specifiche prove idonee a dimostrare la reale dinamica degli avvenimenti ed indicare a quale altra specifica impresa debba addebitarsi la condotta causativa della contaminazione"*.

A differenza dei generici assunti della ricorrente, il Tar ha ritenuto che le circostanze comprovate da Arpa (quantitativo e tipologia di sostanze inquinanti rinvenute nei terreni e nelle acque sotterranee) rendessero verosimile che tali sostanze fossero residui delle attività di produzione del gas effettuate fino al 1964 dalla ricorrente.

Parimenti infondati sono stati ritenuti i vizi formali-procedimentali dedotti dalla ricorrente in ordine alla mancata comunicazione di avvio del procedimento di individuazione del responsabile della contaminazione (art. 245, comma 2, Tua) e alla violazione della buona fede procedimentale (art. 1, comma 2-bis, della L. 241/1990).

Aderendo a una *"interpretazione non formalistica degli istituti partecipativi"* il Tar ha evidenziato che la ricorrente aveva avuto accesso al procedimento inerente la potenziale contaminazione del sito, come tale preordinato e collegato al procedimento di individuazione del responsabile della medesima e che in quella sede non aveva svolto osservazioni o presentato memorie, pur potendo farlo. Oltretutto, il collegamento tra i due procedimenti non poteva nemmeno essere ignorato da un soggetto qualificato, come la ricorrente, da tempo operante nello specifico settore della produzione del gas.

OSSERVATORIO ECOCREATI

A cura di **Giuseppe Battarino** (magistrato) e **Silvia Massimi** (avvocata)

Con l'osservatorio sulla casistica applicativa della legge 22 maggio 2015 n. 68, *Ecoscienza* mette a disposizione dei lettori provvedimenti giudiziari sia di legittimità che di merito, con sintetici commenti orientati alle applicazioni concrete della legge. Per arricchire l'osservatorio giurisprudenziale chiediamo ai lettori (operatori del Sistema nazionale per la protezione dell'ambiente e non solo) di trasmettere alla redazione tutti i provvedimenti che ritengono significativi (dovutamente anonimizzati): decreti e ordinanze, prescrizioni, sentenze ecc.

I contributi possono essere inviati a ecoscienza@arpae.it

DANNO CONCRETO E RIPRISTINO AMBIENTALE

Cassazione Penale, Sezione III, sentenza n. 49487 del 14 settembre 2022 - 29 dicembre 2022

Uno dei temi più rilevanti in concreto nell'applicazione della legge n. 68 del 2015 è quello delle attività di ripristino a cui può essere tenuto il responsabile di un reato a esito del processo penale.

La Corte di Cassazione ha avuto occasione di pronunciarsi su questo tema nell'ambito di un processo sul delitto di attività connesse al traffico illecito di rifiuti di cui all'art. 452-quaterdecies c.p., con riferimento a una sentenza di patteggiamento emessa nei confronti di imputato ritenuto colpevole di ripetuti sversamenti di rifiuti non trattati su vasti appezzamenti di terreno.

Nel dettaglio, la sentenza di patteggiamento aveva previsto a carico dell'imputato l'applicazione della pena concordata di un anno e quattro mesi di reclusione, con beneficio della sospensione condizionale, e la pena accessoria del ripristino dello stato dell'ambiente, seppure tale ultima sanzione non fosse stata oggetto di accordo di applicazione della pena.

Tale sanzione accessoria era stata comunque prevista dal giudice di primo grado, che aveva argomentato sulla base del fatto che non si poteva pervenire a una valutazione di evidenza in ordine all'insussistenza di un danno ambientale. In buona sostanza, non potendosi escludere scientificamente che le condotte dell'imputato non avessero causato un danno all'ambiente, il Tribunale di merito aveva aprioristicamente applicato la pena accessoria.

La difesa dell'imputato ha proposto ricorso per Cassazione con riferimento proprio all'applicazione della pena accessoria del ripristino dello stato dell'ambiente di cui all'art. 452-quaterdecies, comma 4, c.p., in ordine alla quale non vi era stato alcun accordo fra il pubblico ministero e l'imputato: questa circostanza assume valore fondamentale nel rito del c.d. patteggiamento, posto che la pena è individuata a seguito di esplicito accordo fra l'accusa e la difesa.

Oltre tale aspetto, la difesa ha altresì rilevato sul medesimo punto che il Tribunale di merito avrebbe violato l'art. 452-quaterdecies c.p. in quanto avrebbe disposto il ripristino ambientale a carico del ricorrente in assenza di elementi di prova deponenti nel senso di una compromissione dell'ambiente, non potendosi ritenere in alcun modo sufficiente la supposizione di un danno ipotetico.

La difesa aveva insistito sul punto evidenziando come anche la relazione tecnica dell'Agenzia regionale per la protezione ambientale, svolta durante le indagini, aveva concluso con l'individuazione di una potenziale contaminazione e non con l'esistenza di un effetto negativo certo già in atto sul bene ambiente.

Il delitto di traffico illecito di rifiuti è un reato di pericolo, per cui, per ritenerlo configurato, è sufficiente dimostrare che l'ambiente sia stato

anche solo potenzialmente compromesso. Ma questa considerazione vale per la sola riconducibilità del reato in capo all'imputato e non è anche applicabile ed estendibile alle sanzioni accessorie.

In pratica: all'imputato può essere irrogata o applicata la pena, ma ci può essere la condanna al ripristino solo se c'è – ed è dimostrata – la compromissione dell'ambiente.

In questo caso la pena accessoria avrebbe dovuto essere oggetto di uno specifico approfondimento sulle condizioni del terreno oggetto dello sversamento, prima di poter essere disposta, circostanza non avvenuta nel caso di specie e costituente legittimo motivo di ricorso di fronte alle Corti di Cassazione.

Ci troviamo in un caso molto particolare, in quanto le sentenze di patteggiamento possono essere impugnate solo in limitati casi e solo davanti alla Corte di Cassazione.

Nel caso di specie, la Cassazione ha accolto il ricorso ritenendo che il giudice di merito avesse errato nel disporre la misura del ripristino dello stato dei luoghi non sulla base della obiettiva dimostrata esistenza di un danno ambientale, ma in base alla mancata evidenza della sua assenza, in tal modo facendo non corretta applicazione sia delle disposizioni giuridiche pertinenti, sia dell'interpretazione che di esse è stata data dalla Cassazione in altre e precedenti pronunce similari.

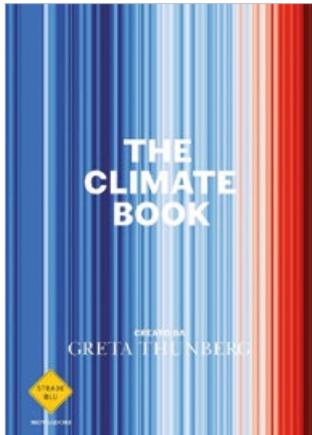
In particolare, quanto al reato di traffico illecito di rifiuti la Cassazione ha più volte ribadito nel corso del tempo come non fosse necessario un danno ambientale dimostrato e concreto per attribuire la responsabilità penale all'imputato del traffico illecito di rifiuti, ma che la sola configurazione del reato in questione non comporti un'automatica applicazione della pena accessoria del ripristino ambientale, contenuta nell'art. 452 quaterdecies, comma 4 c.p., che al contrario si riferisce – ed è quindi applicabile – alla sola eventualità in cui il pregiudizio per l'ambiente si sia effettivamente verificato.

A ulteriore conforto, la Cassazione ha inoltre affermato che neanche la subordinazione prevista dal comma 4 dell'art. 452-quaterdecies c.p. (secondo cui la sospensione condizionale della pena – applicata al caso in esame – può essere concessa solo se vi sia l'eliminazione delle conseguenze dannose del reato) va disposta solo ove sia stata specificamente accertata l'esistenza di tali conseguenze.

Come si è detto in apertura, il tema del ripristino è particolarmente sensibile, sia per gli effetti anche economici che può produrre sui responsabili di reati contro l'ambiente, sia per la necessità – che ancora una volta va ribadita – di una corretta descrizione dello stato delle matrici ambientali, sia all'inizio delle indagini sia nel corso del procedimento penale, da parte di chi svolge funzioni di polizia giudiziaria ovvero di supporto consulenziale alle autorità giudiziarie.

MEDIATECA

Libri, video, podcast, rapporti e pubblicazioni di attualità • A cura della redazione di Ecoscienza



THE CLIMATE BOOK (Versione italiana)

Curatrice: Greta Thunberg
Traduttori: Massimo Parizzi, Chiara Rizzo
Mondadori (collana Strade blu), 2022
464 pp., 28 euro

“Questa è la storia più grande del mondo, e bisogna raccontarla ovunque, fin dove arriverà la nostra voce e ancora più lontano”. Il grande libro del clima, curato dall'attivista svedese Greta Thunberg, ha una copertina rigida, 446 pagine e 102 capitoli,

in cui prendono la parola oltre 100 esperti, tra geofisici e matematici, oceanografi e meteorologi, climatologi, ingegneri ed economisti, medici e psicologi, docenti, filosofi e giornalisti. “La migliore scienza che oggi abbiamo a disposizione”.

“The climate book” è un libro prezioso, imponente, che raccoglie dati, aneddoti, grafici, saggi brevi e testi di scienziati del calibro di Johan Rockström, Michael Mann, Katherine Hayhoe, Friedrike Otto, Stefan Rahmstorf, Saleemul Huq e Carlos Nobre, cui si affiancano altri autori illustri come Thomas Piketty, Tedros Adhanom Ghebreyesus, Naomi Klein e anche gli scrittori Amitav Ghosh e Margaret Atwood. Affrontando i temi divisi nelle cinque sezioni (ognuna parte con uno scritto appassionato di Greta Thunberg) si può conoscere meglio la crisi che stiamo vivendo, come funziona la scienza, come sta cambiando il pianeta, in che modo questo ci riguarda, come siamo intervenuti in passato e cosa, invece, occorre fare adesso.

Non ci sono consolazioni facili, non ci sono scuse. I dati sono chiari, le conoscenze le abbiamo. Ora dobbiamo vedere se abbiamo anche la lungimiranza e il coraggio, prima che sia troppo tardi, di “cambiare nel profondo una società insostenibile”. È questa la sfida accalorata e lucida lanciata dalle pagine del libro. (BG)



LA QUALITÀ DELL'AMBIENTE IN EMILIA-ROMAGNA Dati ambientali 2021

Arpa e Regione Emilia-Romagna
170 pp.
www.arpae.it

La ventesima edizione dell'annuario dei dati ambientali dell'Emilia-Romagna raccoglie e riassume i principali dati

relativi all'ambiente in regione nel 2021. La pubblicazione è un resoconto sintetico del contesto ambientale in cui opera Arpa e evidenzia sinteticamente l'andamento nel tempo di alcuni indicatori ambientali (aria, clima ed energia, acque, rifiuti, radioattività, campi elettromagnetici, rumore e suolo).

Tra le novità dell'edizione di quest'anno c'è un nuovo capitolo dedicato alle attività produttive e alle autorizzazioni ambientali.

L'introduzione è a cura del direttore generale dell'Agenzia, Giuseppe Bortone: “Crisi climatica, crisi energetica, crisi pandemica: lo scenario



SICCITÀ

Un film di Paolo Virzi, 2022
Con Silvio Orlando, Valerio Mastandrea, Emanuela Fanelli, Claudia Pandolfi.
Disponibile su Prime Video

Virzi prende spunto dalla crisi climatica per parlare delle persone e delle loro difficili relazioni con gli altri, con se stessi e con il mondo, in un futuro non troppo lontano dove non piove da mesi, l'acqua da bere per i romani arriva con le autobotti dalla Valtellina, il Tevere è ridotto a terreno di scavo per i reperti archeologici e addirittura a un deserto, nel quale passa a piedi e a dorso d'asino una famiglia che ricorda tanto quella sacra, che cercava di fuggire dalle persecuzioni di Erode verso l'Egitto.

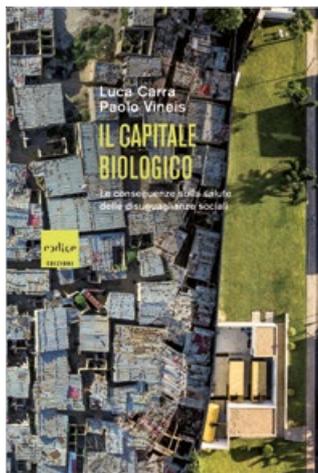
Grazie alle eccellenti interpretazioni di Silvio Orlando e di Valerio Mastandrea il film, nonostante l'ambientazione inquietante, riesce a tratti anche a far sorridere, benché il personaggio del primo in realtà sia un ergastolano in fuga involontaria, oppresso da un pesante senso di colpa, e il secondo, gravemente ammalato, si ostina a continuare il suo lavoro di taxista nel caos del traffico romano e delle sue relazioni famigliari.

Il film va senz'altro visto, se non altro per riflettere sulla condizione umana in questi tempi di crisi accavallate e senza apparenti vie d'uscita. Spettacolari gli effetti speciali. (Vittorio Marletto)

che ci troviamo ad affrontare in questi anni richiede un impegno concreto e molto consistente per riuscire a impostare un nuovo rapporto con l'ambiente. Le sfide della transizione ecologica, di una maggiore attenzione al rapporto tra ambiente e salute, di una trasformazione del sistema socio-economico verso la sostenibilità, la circolarità e l'equità devono essere viste, oltre che per la loro difficoltà, anche come opportunità per arrivare finalmente a migliorare le condizioni dell'ambiente in cui viviamo. La conoscenza scientifica che ogni giorno si arricchisce anche grazie a nuove scoperte e nuovi strumenti deve essere il fondamento di questo percorso e in questo le agenzie ambientali forniscono una base di conoscenza a livello territoriale imprescindibile. È in questo ambito che si colloca l'attività di diffusione dei dati ambientali raccolti e interpretati dal personale tecnico di Arpa nella propria attività quotidiana, che vengono presentati in questa pubblicazione in forma sintetica ed elaborati per essere facilmente comprensibili”.

Il documento vuole essere un contributo di conoscenza messo a disposizione del pubblico generale e dei decisori, per diventare strumento di maggiore consapevolezza e di indirizzo delle scelte per un futuro più sostenibile.

https://bit.ly/annuario_arpae_2021



IL CAPITALE BIOLOGICO
Le conseguenze sulla salute delle disuguaglianze sociali

Luca Carra, Paolo Vineis.
Codice edizioni, 2022
157 pp, 16,00 euro

Mentre scriviamo questa breve presentazione (è il 24 gennaio 2023) i quotidiani bolognesi pubblicano articoli intitolati “La salute non è uguale per tutti, ecco dove ci si ammala e perché” e “In certe periferie ci si ammala di più”. Raccontano di uno studio dell’Alma Mater Studiorum che ha prodotto una vera e propria mappa delle disuguaglianze

sanitarie locali. Il tema è al centro del libro di Luca Carra (giornalista scientifico che si occupa di ambiente e salute) e Paolo Vineis (professore ordinario di Epidemiologia ambientale all’Imperial College di Londra), che si sono domandati se e quanto la povertà, e più in generale le origini sociali e ambientali di una persona ne guidino lo sviluppo, le scelte, lo stato generale di salute e la stessa speranza di vita.

Analizzando dati, osservazioni e studi fatti in diverse parti del mondo, i due autori mostrano, come scrive Giuseppe Costa nella sua prefazione, che “ci sono conoscenze sufficienti per capire quali sono i meccanismi di generazione delle disuguaglianze della salute più plausibili, e per contrastarli con interventi appropriati”. Tra i temi che possono diventare oggetto di interventi preventivi, ci sono ad esempio “l’incremento della nostra memoria immunitaria” e la possibilità di evitare esposizioni a sostanze chimiche o a stimoli fisici dannosi fin da quando si è concepiti. La connessione tra le scienze umane e sociali e le scienze naturali è la strada percorsa e suggerita dal testo per intervenire e porre le basi per una nuova politica sociale, che consenta all’individuo di avere il controllo sulla propria vita, una parità di accesso alle opportunità e la cultura per fare le scelte migliori. (BG)



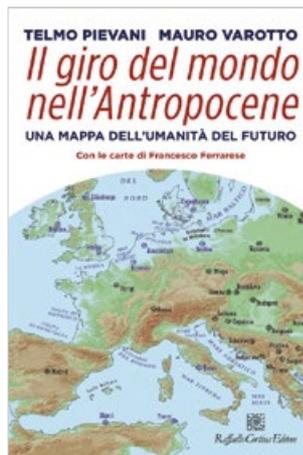
SPECIE CHIMICHE NEL PARTICOLATO (PM_{2,5}) IN ATMOSFERA
Anno 2021

Report Arpae Emilia-Romagna
www.arpae.it

Approfondire la conoscenza delle proprietà degli inquinanti atmosferici e dei loro impatti

sull’ambiente e sulla salute è uno dei compiti fondamentali dell’Agenzia regionale prevenzione, ambiente ed energia (Arpae), soprattutto considerando che i valori misurati nelle diverse stazioni di monitoraggio possono risultare al di fuori dei limiti normativi, specialmente per ciò che riguarda il particolato atmosferico, gli ossidi di azoto e l’ozono. Di conseguenza, in Emilia-Romagna è emerso l’interesse a indagare nel dettaglio la frazione delle polveri con diametro inferiore a 2,5 µm (PM_{2,5}), con l’obiettivo di studiare da cosa è composto quello che viene definito genericamente “particolato fine” e di cui normalmente viene espresso solo il valore di massa (per esempio relativamente al rispetto dei limiti di legge). Ciò può permettere di capirne meglio gli effetti sulla salute e sull’ambiente e la provenienza dalle diverse sorgenti, a supporto delle politiche per la salute e tutela dell’ambiente.

In questo report vengono brevemente riassunte misure aggiuntive rispetto a quelle richieste dalla normativa, che possono indicare da cosa è composto il particolato che conosciamo comunemente come PM_{2,5}.
https://bit.ly/report_specie_chimiche_2021



IL GIRO DEL MONDO NELL’ANTROPOCENE
Una mappa dell’umanità del futuro

Telmo Pievani, Mauro Varotto, con le carte di Francesco Ferrarese
Raffaello Cortina Editore, 2022
200 pp, 22,00 euro

Ispirandosi al *Giro del mondo in ottanta giorni* di Jules Verne, il filosofo delle scienze Telmo Pievani si diverte a immaginare un analogo futuristico viaggio (questa volta in 8 giorni) in una Terra in cui il mare si è alzato di 65 metri rispetto a oggi, come da possibili proiezioni

dell’Ipc, andando a sommergere moltissime città costiere, l’intera pianura Padana, i Paesi Bassi e quasi tutta la Danimarca, il Senegal, moltissime aree dell’Indonesia, la Florida e così via. È un *divertissement* scientifico-letterario, molto ironico (anche nella scelta dei nomi dei nuovi mari e delle nuove città galleggianti) che invita a guardare come potrebbe diventare il pianeta nel futuro rileggendo l’intero passato dell’umanità e il suo impatto, che si sta rendendo sempre più evidente.

Ai capitoli più “letterari” scritti da Pievani si alternano le descrizioni curate da Mauro Varotto (docente di Geografia e Geografia culturale all’Università di Padova) di alcuni luoghi che mettono particolarmente in evidenza i nodi dell’*Antropocene*: i campi profughi di Bidi Bidi in Uganda e Dadaab in Kenya, i monti Taihang in Cina con i loro ricchi giacimenti di carbone, il gigantesco macello di Tar Heel in North Carolina e tanti altri luoghi sconosciuti ai più ma emblematici delle storture, delle disuguaglianze, dell’insostenibilità degli stili di vita di quella parte dell’umanità che sta causando impatti sconvolgenti.

Ci sono poi le mappe di questo viaggio “fantageografico”, realizzate da Francesco Ferrarese (tecnico di elaborazione di dati geografici presso l’Università di Padova) per rendere graficamente evidente l’impatto possibile del *climate change* sulla morfologia del pianeta.

Il libro, che ondeggia sempre tra l’ineluttabilità di un percorso segnato e la speranza di un cambiamento possibile, è quindi un messaggio all’*Homo sapiens* del presente perché si attivi per permettere ai suoi successori di avere un pianeta abitabile e condizioni di vita più giuste per tutti: “Se l’umanità è il problema, una nuova umanità non può che essere la soluzione: ripensare non solo il nostro modello economico ed energetico, ma noi stessi e il nostro stile di vita è la strada obbligata per uscire dalla crisi”. (SF)

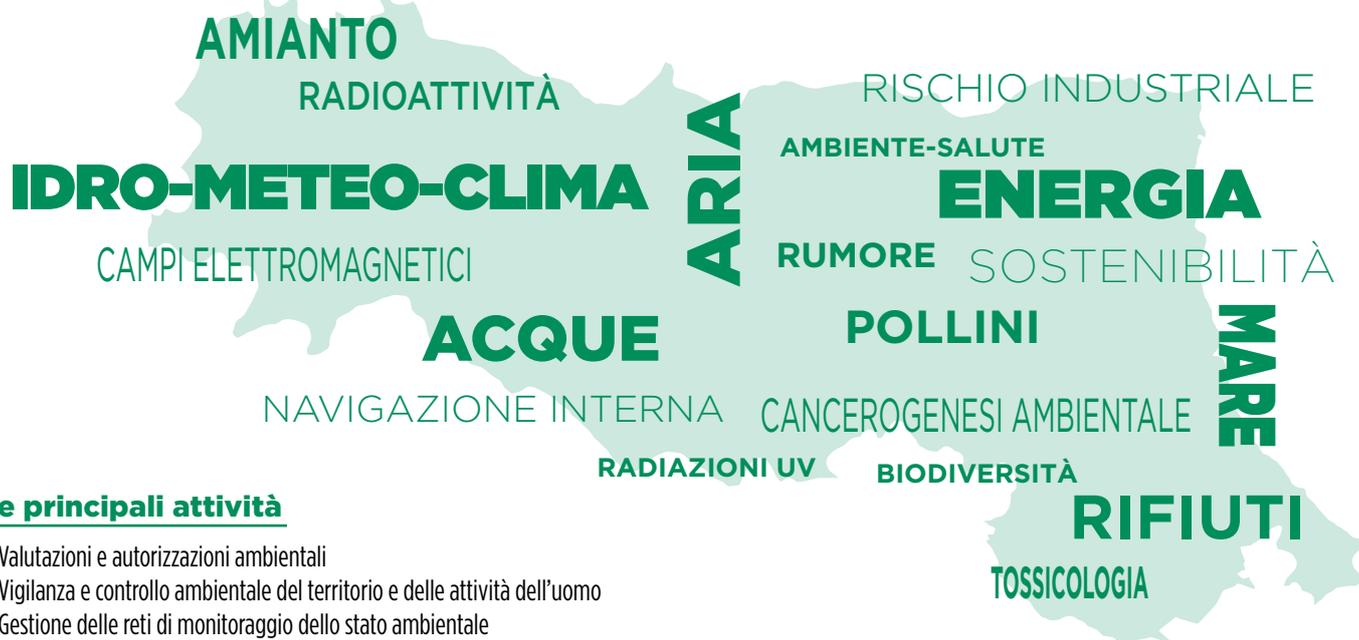
IN BREVE

Ispra, con il contributo delle Agenzie regionali e provinciali per la protezione dell’ambiente, ha pubblicato il rapporto *Rifiuti urbani* con i dati relativi al 2021. Giunto alla sua ventiquattresima edizione, il rapporto è frutto di una complessa attività di raccolta, analisi ed elaborazione di dati. Lo scopo è fornire un quadro di informazioni oggettivo, puntuale e sempre aggiornato di supporto al legislatore per orientare politiche e interventi adeguati, per monitorarne l’efficacia, introducendo eventuali misure correttive (https://bit.ly/rapporto_rifiuti_urbani_2021).



AmbienteInforma è il notiziario settimanale del Sistema nazionale a rete di protezione dell’ambiente (Snpa) che racconta le attività delle Agenzie per l’ambiente e presenta linee guida e report di Sistema. Tutti possono ricevere AmbienteInforma compilando il modulo online https://bit.ly/iscrizione_ambienteinforma_snpa

Arpae Emilia-Romagna è l'Agenzia della Regione che si occupa di ambiente ed energia sotto diversi aspetti. Obiettivo dell'Agenzia è favorire la sostenibilità delle attività umane che influiscono sull'ambiente, sulla salute, sulla sicurezza del territorio, sia attraverso i controlli, le valutazioni e gli atti autorizzativi previsti dalle norme, sia attraverso progetti, attività di prevenzione, comunicazione ambientale ed educazione alla sostenibilità. Arpae è impegnata anche nello sviluppo di sistemi e modelli di previsione per migliorare la qualità dei sistemi ambientali, affrontare il cambiamento climatico e le nuove forme di inquinamento e di degrado degli ecosistemi. L'Agenzia opera attraverso un'organizzazione di servizi a rete, articolata sul territorio. Quattro Aree prevenzione ambientale, organizzate in distretti, garantiscono l'attività di vigilanza e di controllo capillare; quattro Aree autorizzazioni e concessioni presidiano i processi di autorizzazione ambientale e di concessione per l'uso delle risorse idriche; una rete di Centri tematici, distribuita sul territorio, svolge attività operative e cura progetti e ricerche specialistici; il Laboratorio multisito garantisce le analisi sulle diverse matrici ambientali. Completano la rete Arpae due strutture dedicate rispettivamente all'analisi del mare e alla meteorologia e al clima, le cui attività operative e di ricerca sono strettamente correlate a quelle degli organismi territoriali e tematici. Il sito web www.arpae.it, quotidianamente aggiornato e arricchito, è il principale strumento di diffusione delle informazioni, dei dati e delle conoscenze ambientali.



Le principali attività

- › Valutazioni e autorizzazioni ambientali
- › Vigilanza e controllo ambientale del territorio e delle attività dell'uomo
- › Gestione delle reti di monitoraggio dello stato ambientale
- › Studio, ricerca e controllo in campo ambientale
- › Emissione di pareri tecnici ambientali
- › Concessioni per l'uso delle risorse idriche e demaniali
- › Previsioni e studi idrologici, meteorologici e climatici
- › Gestione delle emergenze ambientali
- › Centro funzionale e di competenza della Protezione civile
- › Campionamento e attività analitica di laboratorio
- › Diffusione di informazioni ambientali
- › Diffusione dei sistemi di gestione ambientale

Le città dovrebbero essere
costruite in campagna;
l'aria lì è più salubre.

Jean Louis A. Commerson