

ecoscienza

Rivista di Arpae
Agenzia regionale
prevenzione, ambiente ed energia
dell'Emilia-Romagna
N° 1 Aprile 2026, Anno XVII

SOSTENIBILITÀ E CONTROLLO AMBIENTALE

5G SOTTO LALENTE

IL SISTEMA AMBIENTALE DI
FRONTE ALL'EVOLUZIONE
DELLE TECNICHE DI MISURA
PER UN SEGNALE DINAMICO

QUALITÀ DELL'ARIA

PER IL BACINO PADANO UNA
SFIDA DI DIMENSIONE EUROPEA





Raccontare l'ambiente attraverso le parole più significative, spesso ritenute poco comprensibili e chiare. Termini scientifici che, invece di suscitare resistenze, prendono vita e costituiscono il punto di partenza per la narrazione di storie ambientali quotidiane e di attualità.

I podcast sono disponibili **gratuitamente sulle principali piattaforme audio** (Spotify, Spreaker, Apple Podcasts, Google Podcasts) e sul **canale YouTube di Arpae**.

Ogni puntata affronta un tema ambientale, nella convinzione che anche argomenti complessi possano essere spiegati in maniera semplice ma rigorosa.

Episodi già disponibili:



LA QUALITÀ DELL'ARIA NEL BACINO PADANO



Cleto Carlini • Direttore generale Cura del territorio e dell'ambiente, Regione Emilia-Romagna

La qualità dell'aria è da più di vent'anni una priorità nell'agenda politica regionale. Sin dall'inizio degli anni Duemila il sistema regionale ha avviato numerosi interventi nei settori più impattanti, attraverso accordi di programma tra Regione, Province, Comuni capoluogo e Comuni con più di 50.000 abitanti.

Gli accordi di programma, insieme ai piani provinciali, approvati a decorrere dal 2006, hanno rappresentato momenti di concertazione per una gestione coordinata della qualità dell'aria. Il Pair 2020, approvato nel 2017, è stato il primo piano regionale con oltre 90 azioni mirate sui principali settori emissivi (trasporti, energia, biomasse, agricoltura e attività produttive), con attenzione particolare alle aree urbane delle 30 città principali. Per accelerare il rispetto dei valori limite di PM₁₀ e dare attuazione alla sentenza della Corte di giustizia europea del 10 novembre 2020, nel 2021 è stato approvato un pacchetto di misure aggiuntive coordinate tra le Regioni del bacino padano.

All'inizio del 2024 è entrato in vigore il nuovo Pair 2030 che, in continuità con il precedente, individua oltre 60 interventi nei diversi ambiti (urbano, trasporti, energia, biomasse, agricoltura e attività produttive), insieme a misure trasversali per valutazioni ambientali, comunicazione e gestione degli strumenti di qualità dell'aria. Gli interventi realizzati hanno portato a una significativa riduzione degli inquinanti; nel 2023, per la prima volta, la regione ha rispettato il valore limite giornaliero di PM₁₀ su tutto il territorio, mentre nel 2024 e 2025 si sono verificati superamenti limitati alla sola zona pianura Ovest.

La complessità dell'inquinamento nella pianura Padana deriva dalle sue caratteristiche orografiche e meteorologiche: l'area è circondata da rilievi montuosi (Alpi a nord e Appennini a sud), presenta stabilità atmosferica, scarsa ventilazione e frequenti inversioni termiche in inverno, condizioni che favoriscono il ristagno degli inquinanti e

la formazione di elevate concentrazioni di particolato secondario, che costituisce circa il 70% del PM₁₀ totale. A questo si aggiunge che l'area padana ospita circa il 40% della popolazione italiana e genera circa il 50% del Pil nazionale.

In risposta a queste criticità, dal 2005 è iniziata la collaborazione tra le Regioni del bacino padano per sviluppare misure coordinate, evolutasi nell'accordo di bacino padano del 2013, il primo a coinvolgere anche il Ministero dell'Ambiente e gli altri Ministeri competenti. Gli sforzi regionali, pur significativi, richiedono infatti supporto statale per garantire equità su scala nazionale ed efficacia delle misure.

Dall'esperienza di collaborazione fra le Regioni nasce il progetto Life Ip Prepair, che coinvolge tutte le Regioni del bacino padano, le rispettive Arpa e la Slovenia, con l'obiettivo di rafforzare la cooperazione interistituzionale e intervenire sulle principali fonti di emissione tramite azioni integrate. Il progetto agisce come effetto moltiplicatore sull'efficacia dei piani di qualità dell'aria, contribuendo agli obiettivi della direttiva 2008/50/Ce.

Successivamente, il 9 giugno 2017 è stato sottoscritto a Bologna l'*Accordo di programma per l'adozione coordinata di misure per il miglioramento della qualità dell'aria nel bacino padano* tra Ministero dell'Ambiente e Regioni Lombardia, Piemonte, Emilia-Romagna e Veneto, coinvolte nelle procedure di infrazione su PM₁₀ e NO₂.

Nel 2019, in occasione del *Clean air dialogue* con la Commissione europea, è stato firmato un protocollo tra Ministeri e tutte le Regioni con interventi specifici a livello nazionale.

Per supportare i piani regionali nel bacino padano, il Ministero dell'Ambiente con il decreto direttoriale 412/2020 ha destinato per la prima volta ingenti risorse a interventi per la qualità dell'aria che per la Regione Emilia-Romagna ammontano a circa 280 milioni di euro per il periodo 2020-2035.

Tuttavia, la legge di bilancio n. 199 del 30 dicembre 2025 ha ridotto quasi completamente le risorse disponibili nel triennio 2026-2028, a fronte di un equivalente incremento negli anni 2029-2031. Tale riduzione compromette la realizzazione delle misure regionali necessarie al rispetto dei valori limite fissati per il 2030.

Per dare attuazione alla sentenza di condanna e prevenire l'aggravarsi della procedura di infrazione, il livello nazionale, su sollecitazione delle regioni, ha approvato il 20 giugno 2025 un piano d'azione nazionale per il miglioramento della qualità dell'aria, contenente misure in trasporti, energia/biomasse e agricoltura. La Regione Emilia-Romagna ha partecipato alla redazione del piano, dando parere positivo con raccomandazioni sul reperimento di risorse aggiuntive dedicate al trasporto pubblico e alla copertura delle vasche di stoccaggio degli effluenti zootecnici. L'impegno regionale e nazionale dovrà tuttavia rafforzarsi ulteriormente con l'entrata in vigore del recepimento della direttiva Ue 2024/2881 (dicembre 2026), che introduce limiti per la qualità dell'aria più stringenti.

Entro il 31 dicembre 2028 sarà necessario predisporre una *roadmap* con le misure necessarie al rispetto dei nuovi limiti e l'orizzonte temporale in cui si prevede il loro raggiungimento.

In conclusione, le azioni intraprese hanno generato un miglioramento della qualità dell'aria, facilitato anche da condizioni meteo-climatiche a volte più favorevoli. Per consolidare i risultati e raggiungere i nuovi obiettivi europei saranno necessarie misure integrate e sinergiche tra mobilità, trasporti, energia, agricoltura sostenibile e infrastrutture verdi.

Solo la cooperazione tra istituzioni, cittadini, imprese e professionisti potrà garantire la tutela della salute, la competitività territoriale e uno sviluppo sostenibile per le future generazioni.



ISSN 2039-0424

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

Numero 1 • Anno XVII
 Aprile 2026



DIRETTORE RESPONSABILE
 Stefano Folli

Segreteria
 Ecoscienza, redazione
 via Po, 5 40139 - Bologna
 tel 051 6223811
 ecoscienza@arpae.it

COMITATO EDITORIALE
 Coordinatore
 Erierto De' Munari

Progetto grafico
 Miguel Sal & C.

**Impaginazione,
 grafica e copertina**
 Edimill srl

Stampa
 Grafiche Baroncini srl
 Imola (BO)

Registrazione Trib. di Bologna
 n. 7988 del 27-08-2009

In redazione
 Pino Calliguri
 Barbara Galzigna
 Daniela Merli

Paola 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
 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: 13/04/2026

Stampa su carta
 Lenza Top Recycling Pure



SOMMARIO

3 **Editoriale**
La qualità dell'aria nel bacino padano
 Cleto Carlini

Qualità dell'aria

6 **Procedure di infrazione e pianificazione regionale**
 Katia Raffaelli, Tanya Fontana, Cecilia Guaitoli, Gianluca Iannuzzi, Lucia Ramponi, Giulia Righi

10 **La nuova direttiva aria Ue, obiettivi e criticità**
 Stefano Bande

13 **Qualità dell'aria e gas climalteranti**
 Luca Zagolin

16 **Cosa abbiamo capito sugli inquinanti atmosferici**
 Alessandro Marongiu, Eleonora Cuccia, Guido Lanzani

20 **Come parlare di qualità dell'aria e farsi capire**
 Michele Bartolomei, Marco Ottolenghi

22 **La qualità dell'aria in Emilia-Romagna nel 2025**
 Simona Maccaferri, Chiara Agostini

Campi elettromagnetici

26 **Le linee guida Snpa sulle misure 5G**
 Daniele Franci, Giuseppe Marsico

28 **L'interconfronto nazionale sulle misure 5G**
 Sara Adda, Enrica Caputo, Luca Chiaraviglio, Daniele Franci, Giuseppe Marsico, Settimio Pavoncello

30 **Per monitorare i Cem servono strumenti affidabili**
 Federica Bogo, Chiara Pedrolì, Pierre Blasotta, Alex Zanotto

32 **Un sistema innovativo in Arpa Piemonte**
 Pierre Blasotta, Chiara Pedrolì

33 **5G broadcast, la sperimentazione a Roma**
 Settimio Pavoncello, Maila Strappini, Alessandro Di Nezza, Stefano Coltellacci, Enrico Grillo, Tommaso Aureli

36 **La campagna di misura sul 5G in banda millimetrica**
 Settimio Pavoncello, Daniele Franci, Sara Adda, Nicola Pasquino, Maila Strappini, Stefano Coltellacci, Alessandro Di Nezza, Tommaso Aureli

38 **Il futuro corre sulle onde: la formazione in Arpae**
 Daniele Bontempelli, Barbara Notari

40 **La valutazione della massima esposizione**
 Barbara Notari

45 **Misure di segnali 5G in propagazione Nlos**
 Sara Adda, Valeria Bottura, Stefano D'Elia, Nicola Pasquino, Riccardo Suman, Mattia Vaccarone

48 **L'esposizione ai Cem in Veneto dall'avvento del 5G**
 Giuseppe Lorenzetto, Alexandru Timis, Flavio Trotti

51 **Caratterizzazione di un'antenna massive MIMO**
 Andrea Borellini, Barbara Bracci, Gaetano Licitra, Andrea Pinzauti, Francesco Sbrana, Alberto Maria Silvi

54 **Monitoraggio Cem con centralina selettiva**
 Maddalena Schirone, Tiziana Cassano, Lucia Barbone

Attualità

56 **Agrivoltaico, il ruolo delle linee guida Ispra**
 Saverio Venturelli, Flavia Caramelli, Giuseppe Trinchera, Massimo Gabellini

56 **Citizen science, salute e inclusione**
 Liliana Cori, Simona Quaglia Meloni

Rubriche

62 **Eco-Logos**
 Punto di non ritorno, rischio non a misura d'uomo
 Mario C. Cirillo

64 **Legislazione News**
 65 **Osservatorio ecreati**
 66 **Mediateca**

LA QUALITÀ DELL'ARIA NEL BACINO PADANO

Una sfida di dimensione europea

La qualità dell'aria è identificata, in numerosi studi e pubblicazioni, come il più rilevante determinante ambientale della salute in Europa. Il bacino padano, per la sua conformazione geografica, unita all'elevata densità di popolazione e di attività produttive rappresenta un *hotspot*: nonostante i miglioramenti nel tempo, la situazione resta ancora problematica.

Per affrontare la situazione, le risposte devono necessariamente essere integrate, attivate a tutti i livelli (da quello europeo a quello locale) e trasversali su tutti i settori, come evidenziano anche i risultati del progetto Life Prepair, grazie al quale è aumentata ulteriormente la conoscenza dei meccanismi alla base della formazione e della distribuzione degli inquinanti.

La nuova direttiva europea, che dovrà essere recepita nell'ordinamento italiano entro la fine del 2026, pone nuove sfide ai territori, alle amministrazioni, ai cittadini: solo con una consapevolezza diffusa e con azioni decise e condivise si riuscirà a produrre un miglioramento significativo.

Le politiche sulla qualità dell'aria devono poi intersecarsi (e rafforzarsi vicendevolmente) con quelle contro il cambiamento climatico. Nel dibattito pubblico le problematiche vengono spesso confuse, ma è bene riuscire a distinguere i fattori che influenzano fenomeni diversi e la scala a cui si applicano, per individuare le migliori strategie che portino co-benefici.
(SF)

PROCEDURE DI INFRAZIONE E PIANIFICAZIONE REGIONALE

LA QUALITÀ DELL'ARIA NEL BACINO PADANO È UNA SFIDA DI DIMENSIONE EUROPEA CHE RICHIEDE UNA VISIONE INTEGRATA E DI LUNGO PERIODO. IL QUADRO NORMATIVO E PIANIFICATORIO CONNESSO ALLE PROCEDURE D'INFRAZIONE UE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA NEL BACINO PADANO, CON UN FOCUS SULLE MISURE PREVISTE NEL PAIR 2030 DELL'EMILIA-ROMAGNA.

L'inquinamento atmosferico rimane oggi una delle principali emergenze ambientali e sanitarie in Europa.

La direttiva 2008/50/Ce, recepita con il Dlgs 155/2010, stabiliva standard di qualità dell'aria per PM_{10} , $PM_{2,5}$, NO_2 , ozono e altri inquinanti, imponendo agli Stati membri l'adozione di misure efficaci affinché il tempo di superamento dei limiti fosse "il più breve possibile". Le Regioni quindi, per rientrare negli obblighi fissati dalla normativa europea, hanno approvato piani regionali per la qualità dell'aria. Nonostante il progressivo miglioramento registrato negli ultimi anni, il bacino padano continua, tuttavia, a essere una delle aree più critiche per la qualità dell'aria in Europa ed è in questo contesto che si colloca l'azione delle Regioni, chiamate a rispondere alle procedure di infrazione europee e a definire politiche coordinate per garantire il rispetto dei valori di qualità dell'aria fissati dall'Unione europea.

Il bacino padano risulta particolarmente sfavorito a causa delle sue caratteristiche orografiche e meteorologiche, che comportano nel periodo autunnale e invernale frequenti episodi di ristagno degli inquinanti al suolo, con il raggiungimento di elevate

concentrazioni di inquinanti di fondo, di tipo secondario.

Tali inquinanti secondari – in particolare PM_{10} e ozono – si formano in atmosfera attraverso reazioni complesse a partire da precursori (ossidi di azoto, ossidi di zolfo, composti organici volatili, ammoniaca) emessi da trasporti, agricoltura, combustione di biomasse e attività industriali. Nel bacino padano la componente secondaria del PM_{10} arriva al 65-70% del totale, elemento che richiede pertanto politiche integrate e coordinate su larga scala. Al tal fine tutte le Regioni e le Province della pianura Padana hanno sottoscritto accordi di programma fin dal 2005 e adottato propri piani per la qualità dell'aria, al fine di assicurare azioni coordinate e sinergiche per ridurre i livelli di inquinamento di fondo e soddisfare gli standard europei per PM_{10} , NO_2 e ozono.

Infrazione alle direttive europee

L'Italia è attualmente coinvolta in diversi procedimenti di infrazione per la qualità dell'aria:

- *Procedura 2014/2147* per il PM_{10} , con sentenza di condanna della Corte di giustizia dell'Ue del 10 novembre 2020,

che ha riconosciuto che i superamenti dei limiti sono stati sistematici e continuativi dal 2008 al 2017, tuttora in corso in numerose zone, e che le misure individuate dai piani non sono appropriate affinché il periodo di superamento dei valori limiti sia il più breve possibile. Alla sentenza è seguita la lettera di messa in mora ai sensi dell'art. 260, paragrafo 2, del Trattato sul funzionamento dell'unione europea (Tfue) in data 13/03/2024

- *Procedura 2015/2043* per il biossido di azoto (NO_2), giunta alla fase della sentenza della Corte di giustizia dell'Ue del 12 maggio 2022

- *Procedura 2020/2299* per il $PM_{2,5}$, riguardante due regioni (Lombardia e Veneto).

La procedura di infrazione in cui è coinvolta l'Emilia-Romagna, per le zone pianura Ovest e pianura Est, è quella relativa al superamento del valore limite giornaliero del PM_{10} .

Considerate la gravità dell'inadempimento, la sua durata e la natura degli interessi primari coinvolti, in primis la salute dei cittadini, le eventuali sanzioni pecuniarie per lo Stato potrebbero risultare molto elevate con il rischio di protrarsi per un periodo minimo di 3 anni o anche più a lungo.



La Commissione europea infatti, per propria prassi, accerta il conseguimento stabile dei limiti in ogni zona oggetto di infrazione, verificando che questi vengano rispettati per tre anni consecutivi dal momento della *compliance* con la norma europea.

Con il decreto legge 131/2024 è stata quindi istituita una cabina di regia nazionale con il compito di elaborare un piano di azione nazionale per il miglioramento della qualità dell'aria e di individuare ulteriori misure volte ad assicurare l'esecuzione della sentenza della Corte di giustizia dell'Unione europea del 10 novembre 2020 e della conseguente lettera di costituzione in mora della Commissione europea del 13 marzo 2024. Il piano, approvato dal Consiglio dei ministri il 20 giugno 2025, opera principalmente nell'ambito dell'agricoltura, della mobilità e del riscaldamento civile, con una dotazione di circa 2,4 miliardi di euro per il biennio 2025-2027. Le Regioni hanno partecipato alla definizione dei

provvedimenti che riguardano incentivi in agricoltura (copertura vasche, gestione dei reflui zootecnici e tecniche di spandimento), sostituzione degli impianti domestici di riscaldamento a biomassa obsoleti, rafforzamento dei controlli, misure per la mobilità sostenibile, accordi regionali e attività di comunicazione.

Pair 2030, il nuovo piano aria dell'Emilia-Romagna

Il Piano aria integrato regionale (Pair 2030) è stato approvato il 30/01/2024 con la deliberazione dell'Assemblea legislativa n. 152 ed è entrato in vigore dalla data della sua pubblicazione, il 6 febbraio 2024.

Il Pair 2030 adotta misure di tipo normativo e incentivante volte a proseguire e intensificare molte azioni, anche a carattere emergenziale, già attuate con la precedente pianificazione, al fine di garantire definitivamente il rispetto del valore limite giornaliero di PM₁₀ nel più breve tempo possibile, risultato parziale comunque già ottenuto nel 2023.

Sulla base delle valutazioni emerse dal quadro conoscitivo relativamente alle situazioni di superamento dei valori limite, ai contributi emissivi dei diversi settori e ambiti territoriali, alle condizioni meteo-climatiche medie e allo studio degli scenari emissivi e di qualità dell'aria, sono state identificate 64 azioni in 8

ambiti di intervento prioritari, di cui 3 trasversali, su cui il piano indirizza le proprie politiche, prescrizioni e risorse illustrate in *figura 1*.

Gli obiettivi del Pair 2030 sono i seguenti:

- ridurre le emissioni sia di inquinanti primari sia di precursori degli inquinanti secondari: PM₁₀, PM_{2,5}, ossidi di azoto (NOx), ammoniaca (NH₃), composti organici volatili (Cov) e biossido di zolfo (SO₂)

- agire simultaneamente sui settori più impattanti: agricoltura (NH₃), combustione di biomasse (PM₁₀), trasporti (NOx)

- agire sia su scala spaziale estesa (da quella di bacino padano a quella nazionale) sia locale

- prevenire gli episodi di inquinamento acuto e ridurre i picchi locali (i superamenti del valore limite giornaliero possono contribuire al superamento del valore limite annuale).

Le azioni introdotte riguardano principalmente i comuni delle zone di pianura Est, Ovest e dell'agglomerato di Bologna nei quali vengono superati i valori limite per la qualità dell'aria oppure in cui sussiste il rischio del loro superamento (*figura 2*).

I comuni hanno un ruolo centrale nell'attuazione delle politiche per la qualità dell'aria: gestiscono la mobilità e le misure sul traffico, la pianificazione urbanistica, le regole edilizie e il verde pubblico.

Attraverso strumenti come il piano territoriale metropolitano, i Pug, i Paesc,

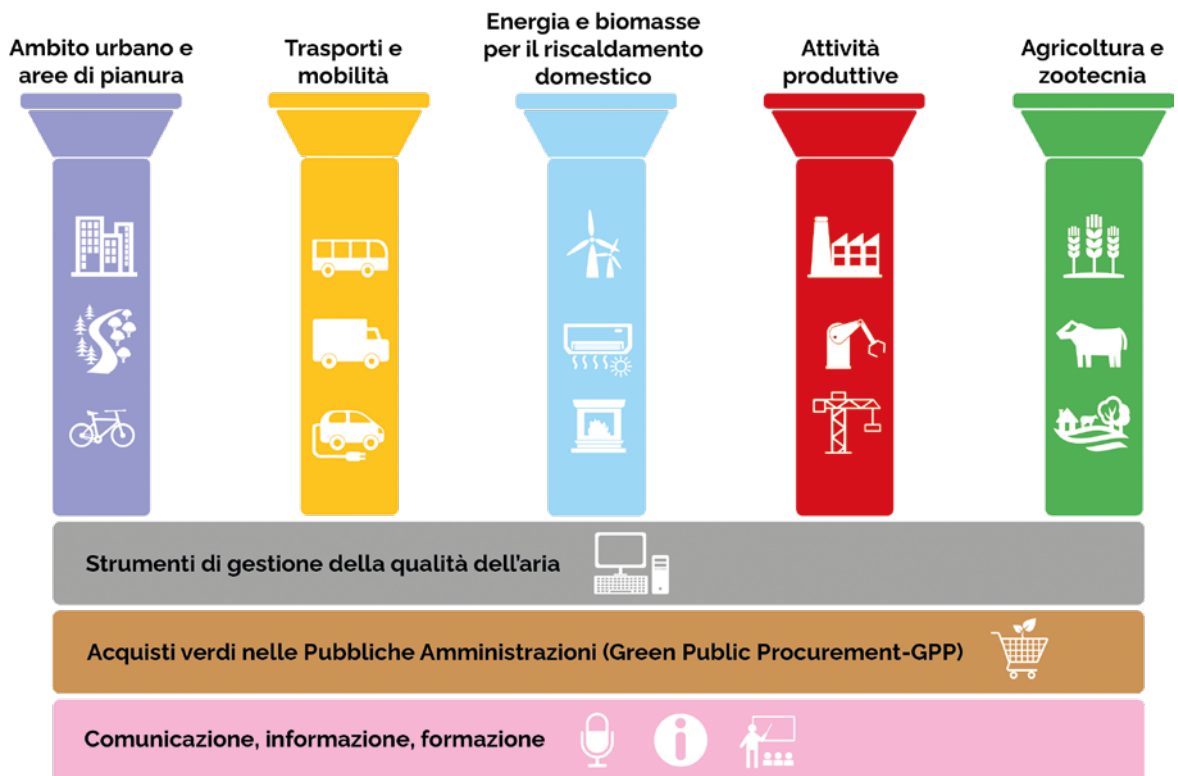


FIG. 1
PAIR 2030

Gli ambiti di intervento del Piano aria integrato regionale 2030 dell'Emilia-Romagna.

i Pums o i Put, possono programmare interventi strutturali che influenzano direttamente le emissioni e la vivibilità urbana.

Nel quadro normativo regionale, i Comuni delle zone di pianura Est, pianura Ovest e dell'agglomerato di Bologna sono tenuti ad adottare ordinanze sindacali per recepire le prescrizioni di cui sono soggetti attuatori. In ambito urbano, nelle zone di pianura e nell'agglomerato di Bologna il piano prevede come obiettivo primario la riduzione dei flussi di traffico privato al 2030, a favore dell'utilizzo del trasporto pubblico o della mobilità ciclopedonale e condivisa.

Gli obiettivi di *share modale* sono stabiliti in funzione della popolazione dei comuni e per i comuni più grandi sono vincolanti (tabella 1).

Tali obiettivi possono essere raggiunti attraverso varie misure di mobilità sostenibile, a discrezione degli enti, quali l'estensione delle aree pedonali, delle Ztl, delle zone 30 km/h e dei chilometri delle corsie preferenziali e la promozione della mobilità ciclistica e del trasporto pubblico. Allo *shift modale* contribuisce anche la misura di limitazione della circolazione dei mezzi più inquinanti nei centri abitati dei comuni di pianura, valevole dal 1° ottobre al 31 marzo, dalle 8.30 alle 18.30, nei giorni feriali e nelle domeniche ecologiche, per il rispetto della quale i Comuni sono tenuti ad attuare un certo numero di controlli annuali. Con progressione biennale fino al 2029 è poi prevista una graduale estensione delle classi ambientali interessate, destinate comunque a risultare progressivamente obsolete anche grazie al naturale ricambio del parco veicolare.

Il Pair 2030 prevede anche una razionalizzazione delle deroghe alla limitazione della circolazione, compensata dall'avvio del servizio Move-in, che consente ai cittadini di usufruire di un sistema alternativo alle limitazioni strutturali e che favorisce uno stile di guida più consapevole e sostenibile. Tale servizio, attivo su tutto il bacino padano, garantisce maggiore equità sociale all'interno delle politiche ambientali, poiché consente anche a chi non può permettersi di sostituire il proprio veicolo di continuare a circolare entro un limite chilometrico annuale di percorrenza fissato per contribuire alla riduzione delle emissioni.

L'adozione delle opportune ordinanze di limitazione alla circolazione e sul servizio Move-in e la comunicazione sui controlli effettuati per il rispetto delle stesse sono vincolanti per la concessione ai comuni

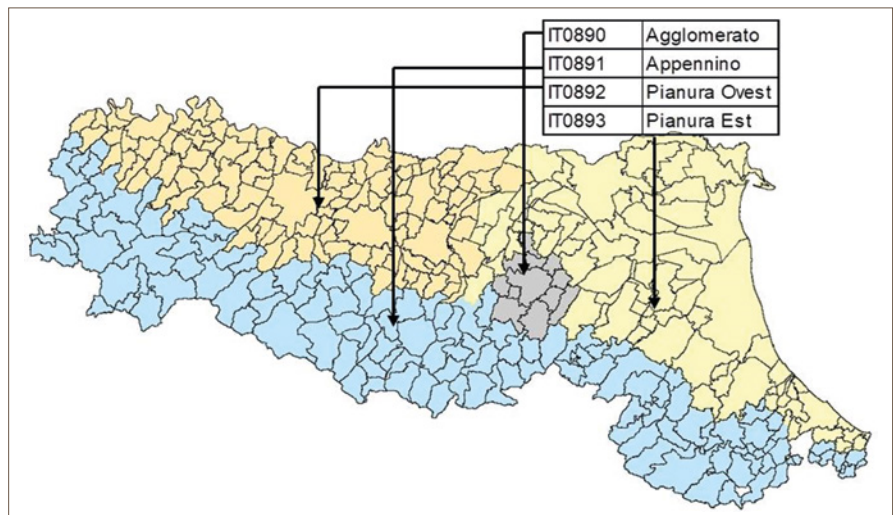


FIG. 2 PAIR 2030
Ambito di applicazione del Pair 2030, la zonizzazione del territorio regionale.

DIMENSIONE DELL'AREA D'AMBITO DEL PAIR 2030

Popolazione: 4.046.127 (circa il 91% della popolazione regionale)

Superficie: 13.392 km² (circa il 60% del territorio regionale)

Dati riferiti al 2022

di finanziamenti regionali per interventi di mobilità sostenibile, finalizzati all'attuazione delle misure di piano.

La Regione supporta poi i comuni e i cittadini incentivando la promozione della mobilità ciclistica, il *bike-to-work* e l'acquisto di bici a pedalata assistita e *cargo bike*: attualmente le risorse del Pair 2030 messe in campo a tal fine, dal 2021 al 2029, ammontano quasi a 57 milioni di euro.

Nell'ambito dei trasporti il Pair 2030 prevede anche, a livello regionale, il potenziamento del trasporto pubblico sia su gomma sia su ferro, il rinnovo del parco autobus, la conferma dell'integrazione tariffaria per gli abbonamenti "Salta su" e "Mi nuovo" e gli incentivi per lo spostamento del trasporto merci su ferro, che attualmente per le annualità 2026-2029 ammontano a 6 milioni di euro di risorse del piano medesimo.

Per quanto riguarda il settore dell'energia e biomasse, il Pair 2030 regola l'installazione e l'utilizzo degli impianti a biomassa per il riscaldamento domestico nelle zone di pianura, prevedendo limitazioni progressive in funzione della classificazione emissiva degli impianti e, in tutto il territorio regionale, l'obbligo di installazione di impianti aventi classificazione emissiva "5 stelle" (classificazione ai sensi del Dm 186/2017). La Regione accompagna questa misura con l'incentivazione alla

sostituzione delle stufe più obsolete con sistemi a basse o nulle emissioni: negli anni 2021-2025 ha dedicato allo scopo più di 40 milioni di euro, di cui circa 11,5 milioni per il primo bando (2021-2023) e circa 29 milioni per il secondo bando (2024-2025).

Ai fini del risparmio energetico, il Pair 2030 conferma l'obbligo di chiusura delle porte degli esercizi commerciali e degli edifici con accesso al pubblico in tutto il territorio regionale e regola la temperatura negli ambienti riscaldati durante la stagione termica nei comuni di pianura.

Nelle zone di pianura, nel periodo 1° ottobre-31 marzo il Pair 2030 stabilisce poi il divieto di qualsiasi tipologia di combustione all'aperto a scopo di intrattenimento (ad esempio falò rituali legati a tradizioni o fuochi d'artificio, esclusi i barbecue) e il divieto di abbruciamenti di residui vegetali, fatte salve alcune condizioni per le quali possono essere ammesse delle deroghe e i casi in cui l'abbruciamento sia necessario per emergenze fitosanitarie.

Per le attività produttive l'obiettivo è quello della riqualificazione progressiva delle tecniche adottate nelle aziende e della riduzione delle emissioni, promuovendo anche accordi d'area o territoriali.

Infine, per agricoltura e zootecnia, sono previsti bandi di finanziamento per la



Città	Veicoli privati (autovetture + moto) (%)	
	Dato al 2019 (fonte: indagine Isfort 2019)	Obiettivo al 2030
Bologna	46 (dato Pums)	27 (dato Pums)
Comuni capoluogo	57,3	40
Comuni con più di 30.000 abitanti	69,4	50
Comuni con meno di 30.000 abitanti (obiettivo indicativo)	74,5	60

TAB. 1 SHARE MODALE
Obiettivi di share modale per i veicoli privati

copertura delle vasche di stoccaggio e per migliorare l'efficienza delle tecniche di spandimento di effluenti e di distribuzione di fertilizzanti. Per queste finalità è stato aperto un bando, a fine 2025, per un ammontare complessivo di 10 milioni di euro dedicati al risanamento della qualità dell'aria. Il Pair 2030 stabilisce, inoltre, l'obbligo di interrimento degli effluenti zootecnici entro le 12 ore dallo spandimento, nel periodo dal 1° ottobre al 31 marzo, e l'obbligo di copertura delle vasche di stoccaggio a decorrere dal 1° gennaio 2030.

Il Pair 2030 prevede inoltre misure emergenziali che si attivano sulla base di un meccanismo previsionale volto a evitare il più possibile il verificarsi dei superamenti del valore limite giornaliero di PM₁₀. Tali misure riguardano limitazioni agli spandimenti dei reflui

zootecnici e la limitazione dei veicoli diesel euro 5 nei comuni con popolazione superiore a 30.000 abitanti e nei comuni dell'agglomerato di Bologna. Il Piano prevede anche che i Comuni, nel momento in cui vengano raggiunti i 25 superamenti del valore limite giornaliero di PM₁₀ in una delle stazioni di monitoraggio collocate sul proprio territorio, intervengano con misure aggiuntive a livello locale sulle principali sorgenti emissive.

A queste azioni se ne affiancano poi altre per la sostenibilità ambientale degli enti pubblici e per la comunicazione, l'educazione e la formazione. La qualità dell'aria nel bacino padano è una sfida di dimensione europea, che richiede continuità e rafforzamento delle

politiche settoriali che contribuiscono all'inquinamento atmosferico. La complessità del tema impone una visione integrata e di lungo periodo: solo attraverso la cooperazione tra livelli istituzionali, comunità locali, associazioni e cittadini sarà possibile garantire un'aria più pulita e città più vivibili. L'Emilia-Romagna, attraverso il Pair 2030 e la partecipazione al coordinamento di bacino padano, contribuisce a questo percorso e al miglioramento della salute pubblica.

Katia Raffaelli, Tanya Fontana, Cecilia Guitoli, Gianluca Iannuzzi, Lucia Ramponi, Giulia Righi

Regione Emilia-Romagna



FOTO: PETR SIOVÁČEK - UNSPLASH

LA NUOVA DIRETTIVA ARIA UE, OBIETTIVI E CRITICITÀ

LA NUOVA NORMATIVA EUROPEA SULLA QUALITÀ DELL'ARIA RAPPRESENTA UN PASSAGGIO FONDAMENTALE NELLA POLITICA AMBIENTALE. TUTTAVIA, LA SUA EFFICACIA DIPENDERÀ DALLA CAPACITÀ DEGLI STATI MEMBRI DI AFFRONTARE I PROBLEMI TECNICI, ISTITUZIONALI E SOCIALI DEL RECEPIMENTO E DI PREVEDERE AZIONI COERENTI, MISURABILI E DURATURE.

Con la direttiva (Ue) 2024/2881, l'Unione europea rinnova in modo profondo il quadro normativo sulla qualità dell'aria ambiente, fondendo, ma soprattutto aggiornando, in un unico testo la direttiva 2008/50/Ce e la direttiva 2004/107/EC (entrambe le norme sono state recepite nella legislazione italiana tramite il Dlgs 155/2010). Il nuovo testo si inserisce nel più ampio contesto delle politiche europee per la transizione ecologica e la tutela della salute pubblica, rafforzando il legame tra ambiente, salute e pianificazione territoriale. L'obiettivo di lungo periodo è esplicito: raggiungere livelli di inquinamento atmosferico prossimi allo zero entro il 2050, attraverso un percorso graduale scandito da obiettivi intermedi vincolanti al 2030. La revisione normativa affonda le sue radici nel *Clean air programme for Europe*, lanciato dalla Commissione europea a fine 2013 e nel progressivo consolidamento delle linee guida dell'Organizzazione mondiale della sanità (Oms) sulla qualità dell'aria. Le evidenze scientifiche accumulate negli ultimi anni hanno infatti dimostrato come gli effetti sanitari dell'inquinamento atmosferico – in particolare sul sistema cardiovascolare e respiratorio – si manifestino anche a concentrazioni inferiori agli attuali valori limite. La direttiva 2024/2881 recepisce questo cambio di paradigma, spostando l'attenzione dalla sola gestione dei superamenti alla riduzione strutturale dell'esposizione della popolazione. Uno degli elementi più evidenti e rilevanti della direttiva (Ue) 2024/2881 è la revisione dei valori limite di qualità dell'aria. I nuovi standard, fissati con orizzonte temporale al 2030, riflettono il progressivo allineamento alle linee guida dell'Organizzazione mondiale della sanità. La distanza che ancora separa alcuni valori normativi dalle linee guida Oms (tabelle 1 e 2) evidenzia tuttavia come il percorso richiederà ulteriori revisioni future, già previste dalla direttiva

attraverso meccanismi di riesame periodico basati sulle nuove evidenze scientifiche.

Per il particolato fine PM_{2,5} il valore limite annuale viene ridotto da 25 a

10 µg/m³, con un dimezzamento rispetto ai limiti vigenti. Per il PM₁₀ e per il biossido di azoto (NO₂) il valore limite annuale viene dimezzato, passando da 40 a 20 µg/m³. Sugli standard di lungo periodo la direttiva interviene anche su

Inquinante	Periodo di mediazione	2008/50/EC 2024/07/EC Dlgs 155/2010	2024/2881/EC	Linee guida Oms
PM ₁₀	anno civile	40 µg/m ³	20 µg/m³	15 µg/m ³
PM _{2,5}	anno civile	25 µg/m ³	10 µg/m³	5 µg/m ³
NO ₂	anno civile	40 µg/m ³	20 µg/m³	10 µg/m ³
SO ₂	anno civile	-	20 µg/m³	-
Benzene	anno civile	5 µg/m ³	3,4 µg/m³	1,7 µg/m ³
Piombo	anno civile	0,5 µg/m ³	0,5 µg/m³	0,5 µg/m ³
Arsenico	anno civile	6 ng/m ³	6 ng/m³	6,6 ng/m ³
Nichel	anno civile	20 ng/m ³	20 ng/m³	25 ng/m ³
Cadmio	anno civile	5 ng/m ³	5 ng/m³	5 ng/m ³
Benzo(a)pirene	anno civile	1 ng/m ³	1 ng/m³	0,12 ng/m ³

TAB. 1 VALORI LIMITE PER LA PROTEZIONE DELLA SALUTE UMANA SUL LUNGO PERIODO
Confronto tra standard vigenti (2008/50/EC e 2024/07/EC), quelli stabiliti dalla direttiva (UE) 2024/2881 e le raccomandazioni delle linee guida Oms.

Inquinante	Periodo di mediazione	2008/50/EC Dlgs 155/2010	2024/2881/EC	Linee guida Oms
PM ₁₀	giorno	50 µg/m ³ - 35 gg	45 µg/m³ - 18 gg	valore limite 45 µg/m ³ - 3 gg
PM _{2,5}	giorno	-	25 µg/m³ - 18 gg	valore limite 15 µg/m ³ - 3 gg
NO ₂	giorno	-	50 µg/m³ - 18 gg	valore limite 50 µg/m ³ - 3 gg
NO ₂	ora	200 µg/m ³ - 18 h	200 µg/m³ - 3 h	valore limite 200 µg/m ³ - 1 h
SO ₂	giorno	125 µg/m ³ - 3 gg	50 µg/m³ - 18 gg	valore limite 40 µg/m ³ - 3 gg
SO ₂	ora	350 µg/m ³ - 24 h	350 µg/m³ - 3 h	valore limite -
CO	giorno	-	4 mg/m³ - 18 gg	valore limite 4 mg/m ³ - 3 gg
CO	massima media giornaliera su 8 ore	10 mg/m ³	10 mg/m³	valore limite 10 mg/m ³
Ozono	massima media giornaliera su 8 ore	120 µg/m ³ - 25 gg (come media su 3 anni)	120 µg/m³ - 18 gg (come media su 3 anni)	valore obiettivo 100 µg/m ³ - 3 gg
Ozono	massima media giornaliera su 8 ore	120 µg/m ³	100 µg/m³ - 3 gg (per anno civile)	valore obiettivo a lungo termine 100 µg/m ³ - 3 gg

TAB. 2 VALORI LIMITE PER LA PROTEZIONE DELLA SALUTE UMANA SUL BREVE PERIODO
Confronto tra standard vigenti (2008/50/EC e 2024/07/EC), quelli stabiliti dalla direttiva (UE) 2024/2881 e le raccomandazioni delle linee guida Oms.

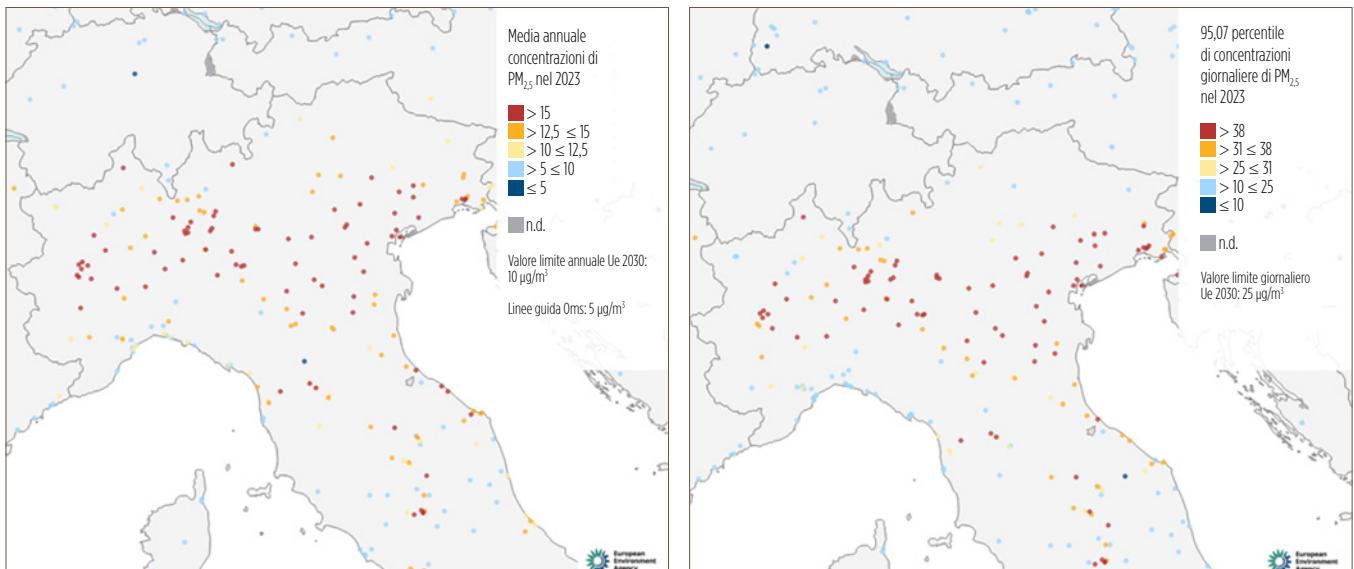


FIG. 1 SITUAZIONE NORD ITALIA

Analisi dell'Agenzia europea per l'ambiente (Eea) sul rispetto dei valori limiti stabiliti dalla direttiva (UE) 2024/2881 nel nord Italia. Simulazione sul rispetto dei valori limiti stabiliti dalla nuova direttiva europea con i dati misurati per l'anno 2023 sull'Italia settentrionale per il particolato PM_{2,5}: a sinistra valore medio annuo e a destra numero di superamenti del valore limite giornaliero.

inquinanti come il benzene, per il quale il valore limite annuale viene abbassato da 5 a 3,4 µg/m³ avvicinandolo alle raccomandazioni Oms, e il biossido di zolfo (SO₂) per il quale viene introdotto il limite annuale di 20 µg/m³ (limite, peraltro, non presente nelle raccomandazioni Oms). Non si hanno variazioni rispetto a quanto stabilito dalla direttiva 2008/50/Ce per i metalli nel PM₁₀ (nichel, cadmio, arsenico e piombo), i cui standard di lungo periodo erano già in linea con le raccomandazioni Oms, e per il benzo(a)pirene, per il quale il valore limite resta comunque significativamente più elevato rispetto alla raccomandazione Oms. Questo scarto evidenzia le difficoltà tecniche e socioeconomiche ancora presenti nel ridurre le emissioni legate alla combustione di biomassa e ad alcune attività industriali, soprattutto in contesti territoriali complessi.

La direttiva interviene in modo importante anche sugli standard di breve periodo (tabella 2). Per il PM_{2,5} viene introdotto un valore limite giornaliero pari a 25 µg/m³ da non superare per più di 18 volte per anno civile, mentre per il PM₁₀ il valore limite giornaliero viene abbassato dai 50 µg/m³ fissati dalla direttiva 2008/50/Ce a 45 µg/m³ e accompagnato da una riduzione del numero di superamenti consentiti, che ora diventano 18 per anno civile. Per il biossido di azoto viene introdotto un limite giornaliero pari a 50 µg/m³ da non superare per più di 18 volte per anno civile e viene anche diminuito da 18 a 3 il numero di superamenti consentiti per il limite orario. La direttiva rivede anche gli standard per il biossido di zolfo, per il quale si ha un marcato abbassamento

del valore limite giornaliero da 125 a 50 µg/m³ accompagnato però da un innalzamento da 3 a 18 del numero di superamenti consentiti per anno civile, e per il monossido di carbonio, per il quale introduce un valore limite giornaliero pari a 4 mg/m³ da non superare per più di 18 volte per anno civile. Infine, per l'ozono (O₃) il valore obiettivo per la protezione della salute umana rimane invariato ma viene ridotto a 18 il numero di giorni di superamento consentiti per anno civile, mentre il valore obiettivo a lungo termine viene allineato alle raccomandazioni Oms.

Nel loro insieme, i nuovi limiti rappresentano una sfida particolarmente complessa per quelle zone come la pianura Padana che presentano criticità strutturali anche nel rispetto dei limiti attualmente vigenti a causa dell'elevata densità emissiva, legata a traffico, riscaldamento civile, agricoltura e attività industriali. In particolare, in pianura Padana, analizzando i dati degli anni passati, le criticità maggiori e più diffuse saranno presumibilmente legate al PM_{2,5} (figura 1) e al PM₁₀, mentre per il biossido di azoto i problemi di rispetto saranno più localizzati sui grandi centri urbani.

Accanto ai valori limite tradizionali, la direttiva introduce nuove metriche orientate all'esposizione, tra cui l'indicatore di esposizione media (Iem) per il PM_{2,5}. Questo indicatore, calcolato come media triennale delle concentrazioni misurate nei siti di fondo urbano, impone agli Stati membri un obbligo di riduzione progressiva dell'esposizione media della popolazione,

andando oltre il semplice rispetto formale dei limiti.

Un ulteriore elemento di innovazione introdotto dalla direttiva (Ue) 2024/2881 riguarda il rafforzamento del sistema di monitoraggio e la sua estensione agli inquinanti emergenti. Vengono introdotti infatti obblighi specifici per la misurazione delle particelle ultrafini (Ufp) e del *black carbon*, rispondendo alle raccomandazioni dell'Oms che sottolineano la necessità di colmare le attuali lacune conoscitive. Sebbene non siano ancora definiti valori di riferimento, la raccolta sistematica di dati di queste frazioni del particolato rappresenta un passaggio fondamentale per migliorarne la comprensione degli effetti sanitari e ambientali. In questo contesto si colloca anche l'istituzione dei supersiti di monitoraggio, stazioni avanzate dedicate alla raccolta di dati a lungo termine su composizione chimica del particolato, distribuzione dimensionale delle particelle, potenziale ossidativo, ammoniaca e precursori dell'ozono. La rete di supersiti, articolata tra aree urbane e rurali di fondo, costituirà un'infrastruttura strategica per supportare le politiche di risanamento e per garantire una base conoscitiva solida e armonizzata a livello europeo.

La direttiva 2024/2881 attribuisce inoltre un ruolo centrale alla modellistica della qualità dell'aria, rafforzandone l'uso in tutte le fasi della gestione: valutazione, previsione, attribuzione delle sorgenti emmissive e pianificazione delle misure. I modelli diventano strumenti indispensabili per stimare la distribuzione spaziale degli inquinanti, quantificare le aree di superamento e valutare

l'efficacia delle politiche di riduzione. Il coordinamento tecnico a livello europeo è affidato al *Joint research centre*, mentre agli Stati membri è richiesto di garantire qualità, armonizzazione e trasparenza delle applicazioni modellistiche, anche attraverso la partecipazione a esercizi di interconfronto e l'adozione di migliori pratiche.

Sul piano della governance, la direttiva introduce una pianificazione più strutturata e vincolante. Ai tradizionali piani di qualità dell'aria si affiancano tabelle di marcia con obiettivi intermedi e piani di azione a breve termine rafforzati, caratterizzati da vincoli temporali più stringenti e da un maggiore livello di dettaglio tecnico. È prevista la possibilità di prorogare i termini per il raggiungimento dei valori limite in situazioni specifiche – come condizioni orografiche e climatiche sfavorevoli o contributi transfrontalieri – o nel caso sia impossibile rispettare i valori limite nonostante le misure individuate nelle tabelle di marcia. Nel primo caso la proroga è fino al 1° gennaio 2040, nel secondo caso fino al 1° gennaio 2035; in entrambe le situazioni sono però richieste solide dimostrazioni tecniche e scientifiche e proiezioni modellistiche credibili.

La fase di recepimento nazionale, da completare entro il 2026, rappresenterà uno snodo cruciale per l'efficacia della direttiva. Gli Stati membri saranno chiamati a tradurre un impianto normativo complesso in disposizioni operative chiare, definendo ruoli, responsabilità e strumenti di attuazione.

In Italia, il recepimento richiederà un forte coordinamento tra livello nazionale, regionale e locale e un ruolo centrale del Sistema nazionale per la protezione dell'ambiente (Snpa).

Le criticità applicative della nuova direttiva appaiono particolarmente evidenti nei contesti territoriali più complessi, come il bacino padano, dove elevate pressioni emissive si combinano con condizioni meteorologiche e orografiche sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti. In queste aree, il raggiungimento dei nuovi standard al 2030 richiederà politiche integrate che coinvolgano trasporti, riscaldamento civile, agricoltura e industria, superando approcci settoriali. A ciò si aggiungono i costi elevati di attuazione, legati al potenziamento del monitoraggio, alla digitalizzazione e interoperabilità dei dati, allo sviluppo della modellistica e all'implementazione delle misure di riduzione delle emissioni. Ulteriori sfide riguardano i tempi contingentati, la necessità di una governance multilivello efficace e l'accettabilità sociale delle

misure, che richiederà una comunicazione chiara, trasparente e basata su evidenze scientifiche. La capacità di spiegare obiettivi, benefici e limiti delle politiche di risanamento sarà determinante per costruire consenso e supporto alle azioni più incisive.

In conclusione, la direttiva 2024/2881 rappresenta un passaggio fondamentale nella politica ambientale europea. Tuttavia, la sua efficacia dipenderà dalla capacità dei singoli Stati membri di affrontare le criticità tecniche, istituzionali e sociali del recepimento, trasformando un quadro normativo ambizioso in azioni coerenti, misurabili e durature, capaci di produrre un reale miglioramento della qualità dell'aria e della salute delle popolazioni.

Stefano Bande

Dipartimento Rischi naturali e ambientali, Struttura semplice Meteorologia, clima e qualità dell'aria, Arpa Piemonte

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

https://environment.ec.europa.eu/topics/air/air-quality/revision-ambient-air-quality-directives_en

<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/2881/oj/eng>

Eea, 2025, *Benchmark analysis against the standards in the revised directive (EU) 2024/2881*, www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/air-quality-status-report-2025/benchmark-analysis-against-the-standards-in-the-revised-directive-eu-2024-2881



FOTO: DILIFF - WIKIMEDIA - CC BY-SA 3.0

QUALITÀ DELL'ARIA E GAS CLIMALTERANTI

L'INQUINAMENTO ATMOSFERICO E IL CAMBIAMENTO CLIMATICO, PUR ESSENDO PROFONDAMENTE INTERCONNESSI, RAPPRESENTANO DUE SFIDE SIGNIFICATIVAMENTE DIVERSE, SIA PER LE PRINCIPALI SOSTANZE CHE NE SONO CAUSA, SIA PER LA SCALA A CUI DEVONO ESSERE VALUTATI I RELATIVI IMPATTI. È IMPORTANTE PERÒ INDIVIDUARE STRATEGIE SINERGICHE.

Nel dibattito pubblico sui temi ambientali, si tende spesso a confondere o sovrapporre due problematiche distinte come l'inquinamento atmosferico e il cambiamento climatico che, pur essendo profondamente interconnessi, rappresentano due sfide significativamente diverse sia per le principali sostanze che ne sono causa sia per la scala a cui devono essere valutati i relativi impatti.

Da un lato si collocano gli inquinanti atmosferici propriamente detti, come il biossido di azoto (NO₂), il particolato atmosferico (PM₁₀ e PM_{2,5}), il monossido di carbonio (CO), il biossido di zolfo (SO₂), l'ozono troposferico (O₃) e microinquinanti come il benzo(a)pirene. Queste sostanze si caratterizzano per avere conseguenze dirette sulla salute umana, essendo tra le cause di diverse patologie, tra cui quelle respiratorie e

cardiovascolari, oltre a produrre effetti avversi anche sulla vegetazione e gli ecosistemi. Le problematiche relative alla qualità dell'aria vengono tendenzialmente valutate a scala locale, regionale o al più di bacino (ad esempio la pianura Padana), perché già a questo livello spaziale possono emergere situazioni di criticità molto diversificate che necessitano di azioni di risanamento declinate sulle caratteristiche specifiche del territorio, al fine di tutelare nel modo più efficace la salute umana.

Dall'altro lato si definiscono i gas climalteranti (o gas serra, *greenhouse gases*, Ghg), tra cui si annoverano primariamente l'anidride carbonica (CO₂), il metano (CH₄), il protossido di azoto (N₂O) e alcuni gas fluorurati, come l'esaffluoro di zolfo (SF₆). A differenza degli inquinanti atmosferici, questi gas non presentano tossicità alle concentrazioni ambientali, ma si

caratterizzano invece per la capacità di alterare il bilancio energetico del pianeta. La loro scala di azione è globale perché, a prescindere dal luogo in cui questi composti vengono emessi, contribuiscono a potenziare processi, come l'effetto serra, che agiscono a livello planetario. Se quindi l'effetto diretto di questi gas sulla salute è trascurabile, essi hanno un ruolo significativo nell'alterare il clima della Terra.

L'effetto serra: da meccanismo vitale a minaccia globale

Per affrontare il tema dei gas climalteranti (Ghg), è necessario distinguere tra l'effetto serra naturale e la sua alterazione antropica. L'effetto serra è un meccanismo che ha svolto un ruolo essenziale per lo sviluppo della



FOTO: E. NIELMI - UNsplash

vita sulla Terra: i gas come l'anidride carbonica e il vapore acqueo, presenti naturalmente nell'atmosfera da milioni di anni, hanno la capacità di trattenere parte della radiazione solare, contribuendo a mantenere una temperatura media sulla superficie terrestre ideale per la vita come la conosciamo che, in assenza di atmosfera e di effetto serra, sarebbe stata di diversi gradi sotto lo zero. Il problema attuale, definito riscaldamento globale, è invece legato all'incremento massiccio delle emissioni di alcuni gas climalteranti di origine antropica, che sta accentuando in maniera molto significativa l'effetto serra: l'aumento delle emissioni di questi gas in atmosfera è diventato rilevante con la rivoluzione industriale e ha subito una preoccupante accelerazione negli ultimi decenni.

Non tutti i Ghg hanno lo stesso potere climalterante: a questo scopo è stato definito il *global warming potential* (Gwp), un indicatore che misura quanta energia (calore) viene assorbita da una tonnellata di uno specifico gas in un determinato periodo (solitamente 100 anni) rispetto a una tonnellata di CO₂. Questo parametro evidenzia che il metano (CH₄) di origine fossile ha un potere climalterante circa 28 volte superiore alla CO₂, il protossido di azoto (N₂O) circa 273 volte superiore, mentre l'esafluoruro di zolfo (SF₆) arriva a essere oltre 24.000 volte più potente della CO₂ [1].

È bene tuttavia sottolineare che la priorità nelle strategie di mitigazione non dipende solo dal potenziale climalterante del gas, ma soprattutto dalla quantità totale emessa. L'anidride carbonica, pur avendo il Gwp più basso, è emessa in quantità enormi (circa 45 miliardi di tonnellate annue stimate a livello mondiale al 2019), mentre l'esafluoruro di zolfo, pur avendo un Gwp molto alto, ha delle emissioni estremamente esigue (circa 9.000 tonnellate l'anno) [2]. I dati emissivi dei diversi Ghg, espressi in CO₂ equivalente, mostrano che l'anidride carbonica e il metano rappresentano i principali target su cui si stanno focalizzando le politiche di mitigazione dei cambiamenti climatici, che devono necessariamente agire sulle principali sorgenti emissive di questi gas. La CO₂ deriva quasi interamente dall'utilizzo di combustibili fossili, impiegati per il riscaldamento, i processi produttivi e i trasporti. L'emissione di metano invece ha un'origine antropica per circa il 60%, legata prevalentemente all'agricoltura, all'allevamento (fermentazione enterica), alle discariche e alle perdite nelle reti di distribuzione del gas.

TAB. 1
EMISSIONI GHG

Emissioni dei principali gas serra stimate a livello globale.

Fonte: Ippcc, 2022

Gas climalterante	Emissione annue (stima 2019)
Anidride carbonica (CO ₂)	45.000 milioni di tonnellate
Metano (CH ₄)	380 milioni di tonnellate
Protossido di azoto (N ₂ O)	10 milioni di tonnellate
Esafluoruro di zolfo (SF ₆)	0,009 milioni di tonnellate

TAB. 2
EMISSIONI GHG (CO₂ EQ.)

Emissioni dei principali Ghg espresse come CO₂ eq.

Fonte: Ippcc, 2022

Gas climalterante	Emissione equivalenti di CO ₂
Anidride carbonica (CO ₂)	45.000 milioni di tonnellate
Metano (CH ₄)	10.640 milioni di tonnellate
Protossido di azoto (N ₂ O)	2.730 milioni di tonnellate
Esafluoruro di zolfo (SF ₆)	218 milioni di tonnellate

La qualità dell'aria: la criticità del particolato

Quando si parla di qualità dell'aria, l'inquinante più critico, specialmente in aree come il bacino padano, è il particolato atmosferico (PM₁₀ e PM_{2,5}). Una frazione di queste polveri sottili (detta primaria) è quella che viene emessa direttamente in atmosfera, mentre una quota di particolato (detto secondario), si genera per reazioni chimiche in atmosfera a partire da due precursori principali, il biossido di azoto (NO₂) e l'ammoniaca (NH₃). In relazione al particolato primario la combustione di biomasse per il riscaldamento domestico (legna e pellet) rappresenta nel nord Italia il settore emissivo più significativo, seguito dai trasporti e dall'industria, mentre per quanto concerne la frazione secondaria, il biossido di azoto è legato principalmente al traffico veicolare e più in generale ai processi di combustione, mentre l'ammoniaca è derivante quasi esclusivamente dal settore agricolo e zootecnico (gestione dei reflui e fertilizzazioni). Questa natura "composita" del PM₁₀ spiega perché sia necessario agire simultaneamente su diversi settori emissivi (riscaldamento, trasporti e agricoltura) per poter ridurre efficacemente le concentrazioni di particolato sottile in atmosfera. In relazione al rapporto tra qualità dell'aria e cambiamento climatico, va anche detto, per inquadrare la complessità della tematica, che alcuni inquinanti atmosferici, tra cui il particolato, il monossido di carbonio, il biossido di zolfo, gli ossidi di azoto, l'ozono e i composti organici volatili, possono avere un ruolo anche nei processi legati all'effetto serra, anche se di entità relativamente limitata e soprattutto nel breve e medio periodo. Ad esempio il *black carbon* e la frazione carboniosa

organica delle polveri sottili tendono ad assorbire la radiazione solare, favorendo l'effetto serra, mentre il particolato di natura inorganica riflette parzialmente la radiazione, agendo in contrasto con l'effetto serra.

Soluzioni sinergiche e nodi da sciogliere

La sfida odierna è individuare strategie che contribuiscano coerentemente a ridurre il problema del riscaldamento globale e quello della qualità dell'aria, massimizzando le sinergie ed evitando, dove possibile, i conflitti. La strada maestra è l'abbandono graduale (*phase out*) delle fonti fossili, che si attua principalmente sostituendo l'utilizzo per fini energetici di petrolio, metano di origine fossile e carbone con fonti rinnovabili senza combustione (come idroelettrico, eolico, fotovoltaico e geotermico), permettendo di abbattere sia la CO₂ sia gli ossidi di azoto e parte delle polveri sottili. In questo contesto si inseriscono in maniera virtuosa le politiche per la mobilità sostenibile: il passaggio alla mobilità elettrica (alimentata da rinnovabili), la mobilità dolce (ciclabile e pedonale) e il potenziamento del trasporto collettivo riducono sia i gas serra sia i precursori del particolato secondario (NOx). Parallelamente, l'efficientamento energetico degli edifici (cappotti termici, nuovi serramenti) rappresenta una soluzione trasversale che consente di consumare meno energia, indipendentemente dalla fonte utilizzata. Un altro settore chiave per le sinergie è l'agrozootecnica. Poiché agricoltura e allevamento sono responsabili sia di emissioni climalteranti (metano e protossido di azoto) sia di precursori del particolato (ammoniaca), alcuni

interventi quali la copertura delle vasche di stoccaggio dei reflui zootecnici, la valorizzazione energetica dei reflui (biogas) e il dosaggio ottimale dei fertilizzanti possono avere un effetto sinergico nella riduzione delle emissioni di ammoniaca e di Ghg. Esistono però ambiti in cui strategie per il clima e la qualità dell'aria rischiano di entrare in conflitto: un esempio concreto è rappresentato dall'uso delle biomasse legnose (legna e pellet) per il riscaldamento. La legna è infatti considerata una fonte rinnovabile e "neutra" dal punto di vista delle emissioni di CO₂: l'anidride carbonica emessa durante la combustione è infatti la stessa che la pianta ha assorbito dall'atmosfera durante la sua crescita, garantendo un saldo emissivo netto pari a zero (se la foresta viene gestita in modo sostenibile). Tuttavia, dal punto di vista della qualità dell'aria, la combustione del legno presenta a oggi delle oggettive criticità essendo una delle principali fonti di emissione di particolato primario (PM₁₀) e di composti tossici e cancerogeni come il benzo(a)pirene. A questo proposito è bene però sottolineare che la quantità di emissioni di inquinanti atmosferici dipende in maniera estremamente significativa dal tipo di impianto che viene utilizzato, oltre che dalle modalità con cui viene stagionato il combustibile. Un camino aperto alimentato con legna in ciocchi emette circa 800 grammi di PM₁₀ per ogni gigajoule di energia prodotta, mentre una stufa a pellet di ultima generazione ("5 stelle") ne emette circa 40 grammi. Ferma restando quindi la potenziale criticità per la qualità dell'aria delle biomasse, lo svecchiamento del parco impianti è una priorità assoluta per mitigare il conflitto tra tutela del clima e aria pulita. Nel bacino padano ad esempio, l'utilizzo delle biomasse è abbastanza diffuso, anche in pianura, poiché in media una famiglia su cinque fa un uso frequente di questa risorsa e soprattutto per gli impianti a legna è ancora molto rilevante la quota di apparecchi con più di 15 anni, assimilabili quindi alla fascia di gran lunga più emissiva [3]. In questo contesto, nelle aree di pianura e nei fondovalle urbanizzati, dove le criticità legati ai livelli di polveri sono spesso più significative, l'uso della legna, in particolare negli apparecchi più vetusti, deve essere disincentivato a favore ad esempio di impianti alimentati a fonti rinnovabili che non prevedano la combustione (quali pompe di calore ecc.). Diversamente, nelle zone montane dove non vengono superati i limiti per



FOTO: S. KARDIE - UNSPLASH

il PM₁₀ la biomassa può rappresentare una risorsa valida per il clima, a patto di utilizzare impianti di ultima generazione, per minimizzare le emissioni di polveri sottili, di composti organici volatili e di benzo(a)pirene. La piena consapevolezza della distinzione tra sfide climatiche e qualità dell'aria è il presupposto imprescindibile per una comunicazione chiara, che eviti di generare confusione su tematiche così delicate e complesse. Informare correttamente la popolazione è inoltre un passo obbligato per favorire la comprensione di strategie politiche territoriali che, per essere efficaci, richiedono sempre più spesso adattamento e impegno diretto da parte di tutti i cittadini.

Luca Zagolin

Unità organizzativa Qualità dell'aria,
Arpa Veneto

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Intergovernmental panel on climate change (Ipc), 2021, *Sixth assessment report (Ar6), Working group I, "The physical science basis"*.
- [2] Intergovernmental panel on climate change (Ipc), 2022, *Sixth assessment report (Ar6), Working group III, "Mitigation of climate change"*.
- [3] Prepair, 2020, *Indagine sul consumo delle biomasse legnose nel bacino padano*, www.lifeprepare.eu/wp-content/uploads/2017/06/D3_Report-indagine-sul-consumo-domestico-di-biomasse-legnose-1.pdf
- [4] Nasa earth observatory/Noaa National centers for environmental information, <https://earthobservatory.nasa.gov/features/GlobalWarming/page2.php>
- [5] Eea, 2025, *Europe's air quality status*, www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/air-quality-status-report-2025
- [6] Snpa, 2026, "Qualità dell'aria 2025, i primi dati dalle regioni", www.snpambiente.it/notizie/temi/aria/qualita-dellaria-2025-i-primi-dati-dalle-regioni/

COSA ABBIAMO CAPITO SUGLI INQUINANTI ATMOSFERICI

IL PROGETTO LIFE PREPAIR, AVVIATO CON L'OBIETTIVO DI REALIZZARE STRUMENTI E AZIONI PER IL MIGLIORAMENTO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA NEL BACINO DEL PO, HA CONFERMATO LA NECESSITÀ DI AGIRE SU TUTTO IL TERRITORIO E SU TUTTE LE FONTI: RISCALDAMENTO A LEGNA, TRASPORTI, ALLEVAMENTI, FERTILIZZAZIONE ED EMISSIONI INDUSTRIALI.

Il progetto Life-Ip Prepair è stato avviato nel 2017 con l'obiettivo di realizzare strumenti e azioni per il miglioramento della qualità dell'aria nel bacino del Po. Tra i primi, la condivisione delle informazioni relative alle sorgenti di emissioni e l'avvio di un'analisi della composizione del particolato sul territorio, che hanno permesso di approfondire le conoscenze

sulla qualità dell'aria del bacino del Po con un approccio coordinato a supporto di azioni condivise. La pianura Padana, per quanto riguarda la qualità dell'aria, rappresenta infatti un'area unica, senza barriere, in cui le emissioni tendono a ristagnare e a trasformazioni anche a causa di condizioni meteorologiche frequentemente sfavorevoli, con superamenti degli standard di polveri

fini e ozono e, localmente, ossidi di azoto e benzo(a)pirene fissati dall'Unione europea.

Questa zona è densamente popolata e altamente industrializzata. Tonnellate di ossidi di azoto, polveri e ammoniaca vengono emesse annualmente in atmosfera da un'ampia varietà di fonti inquinanti, principalmente legate al traffico, al riscaldamento domestico,

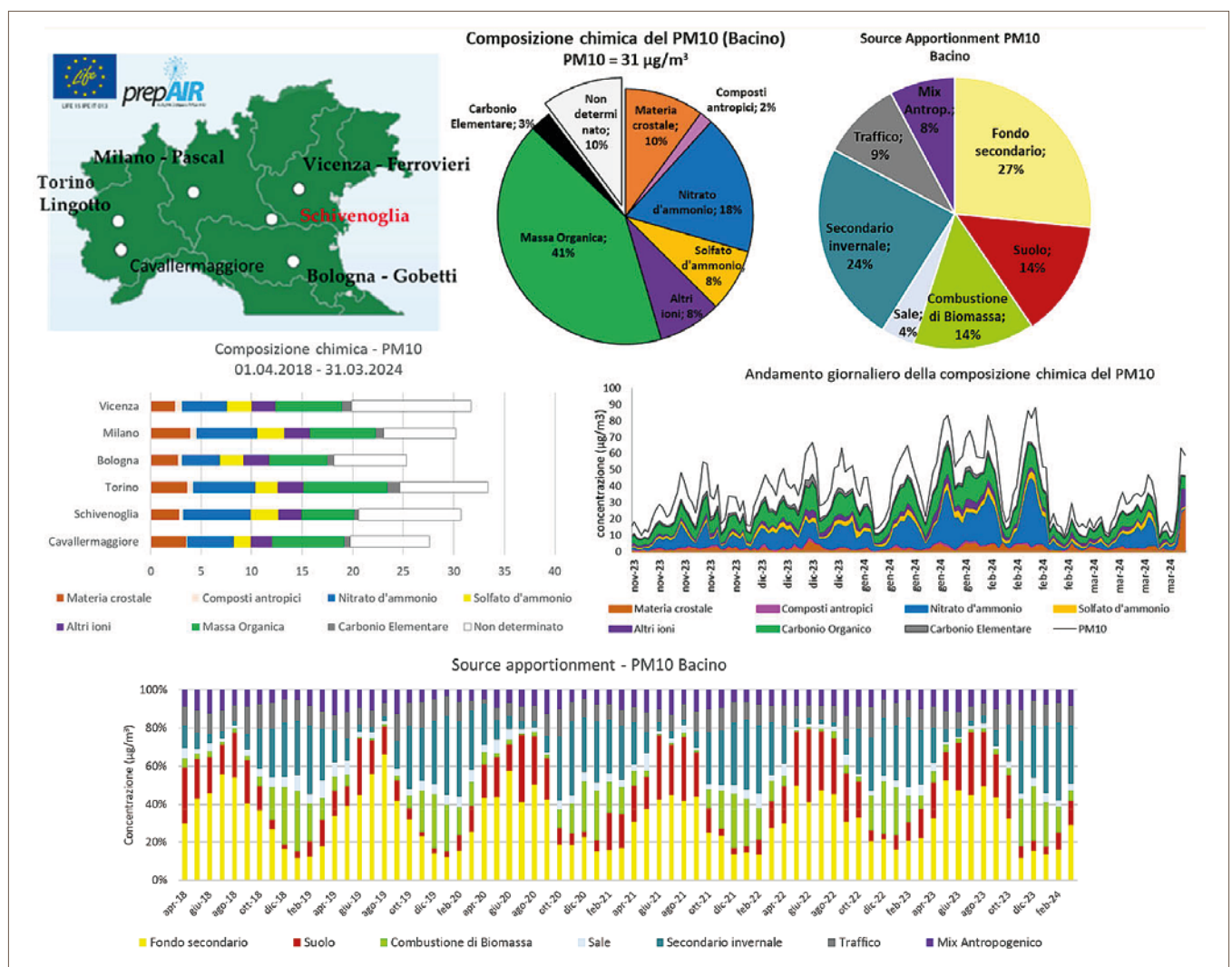


FIG. 1 PM₁₀
 Le frazioni principali che compongono il PM₁₀. I principali risultati del monitoraggio nei siti speciali del progetto (dal 1° aprile 2018 al 31 marzo 2024).
 Fonte: Progetto Life Prepair.

all'industria, alla produzione di energia e all'agricoltura. L'ammoniaca, emessa principalmente dalle attività agricole e zootecniche, contribuisce in modo sostanziale alla formazione delle polveri secondarie inorganiche, che costituiscono una frazione significativa delle polveri totali in atmosfera. La conoscenza delle fonti e dei meccanismi di formazione, che possono essere approfonditi conoscendo la composizione delle polveri, sono fondamentali per indirizzare le misure di risanamento.

Metodologia

Tra gli obiettivi del progetto Prepair, era prevista l'attivazione di una rete di misura per la caratterizzazione chimica del PM₁₀. Tale rete è stata creata sulla base di stazioni di monitoraggio già esistenti ed è composta da quattro siti di fondo urbano (Torino, Milano, Vicenza e Bologna) e uno di fondo rurale (Schivenoglia, MN) ai quali, nel corso del progetto, si è aggiunto il sito di fondo suburbano di Cavallermaggiore (CN). Mediante specifiche analisi di laboratorio dei campioni raccolti giornalmente nei sei siti, è stato creato un database che copre complessivamente 6 anni (dal 1° aprile 2018 al 31 marzo 2024). È stata poi eseguita un'analisi di *source apportionment*, effettuata con la *positive matrix factorization*, Pmf (Us-Epa, 2014). Il progetto ha permesso di valutare le emissioni del bacino e della Slovenia in modo coerente, sulla base dei risultati degli inventari di emissioni locali (per l'Italia riferiti a regioni, province e comuni) che permettono di caratterizzare dettagliatamente il peso delle pressioni emissive e consentono di identificare l'efficacia delle politiche di risanamento della qualità dell'aria. È così stata completata una banca dati emissiva che ha coperto il periodo 2013-2019.

Principali risultati

Mediamente, nei 6 anni del progetto, le frazioni principali che compongono il PM₁₀ (figura 1) sono risultate essere il secondario inorganico, che si forma in atmosfera a partire da ossidi di azoto, di zolfo e ammoniaca (che rappresenta circa il 30% del PM₁₀ di cui il 20% come nitrato d'ammonio e circa il 10% come solfato d'ammonio) e la frazione carboniosa (che è oltre il 40% del PM₁₀, di cui circa il 40% come massa organica e il restante come carbonio elementare).

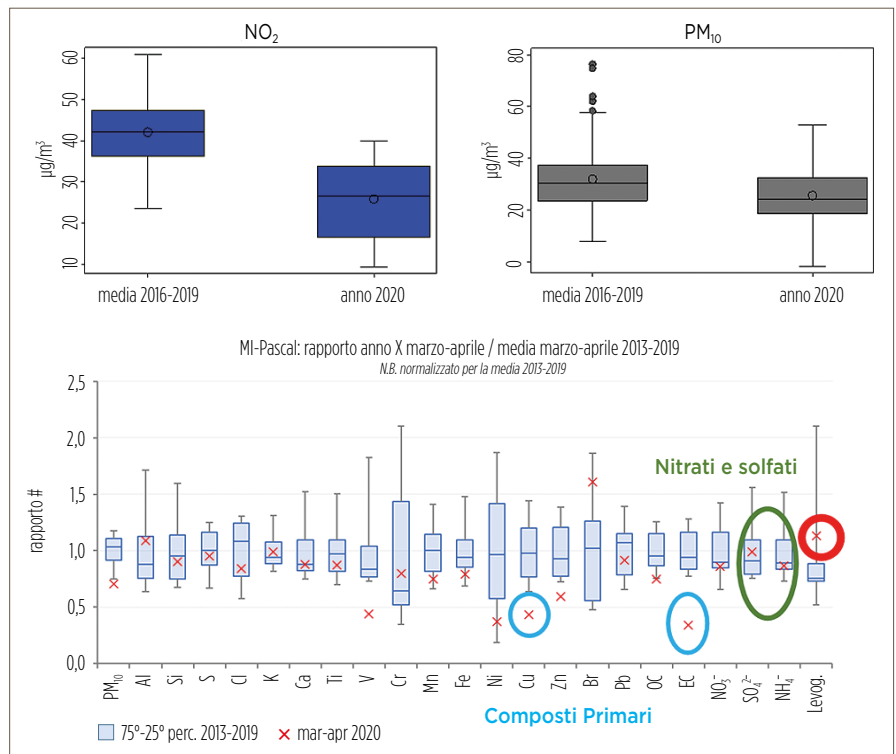


FIG. 2 LOCKDOWN
Misure di speciazione chimica effettuate durante il lockdown. Confronto tra il periodo del 2020 interessato dalle misure di contenimento dell'emergenza Covid-19 e i corrispondenti periodi degli anni precedenti per PM₁₀, NO₂ e le principali componenti del PM₁₀.

Seguono la componente crostale e altri ioni solubili (entrambi intorno al 10%) e i composti antropogenici (<5%). Dall'osservazione dell'andamento giornaliero della chiusura di massa si nota come la composizione chimica del PM₁₀ sia estremamente variabile durante il corso dell'anno solare. Come atteso, il nitrato d'ammonio presenta i massimi durante la stagione invernale, tipicamente nei mesi di gennaio e febbraio, arrivando a rappresentare fino a oltre il 50% della massa del PM₁₀, mentre il solfato d'ammonio presenta concentrazioni assolute tendenzialmente simili durante l'anno. Anche la frazione carboniosa presenta i valori maggiori durante i mesi invernali con i massimi di concentrazione nel trimestre da dicembre a febbraio. La frazione crostale ha il contributo maggiore nella stagione estiva e rappresenta una frazione importante della massa del PM₁₀ in corrispondenza di fenomeni di trasporto di sabbia da regioni desertiche. La composizione chimica nel bacino padano risulta abbastanza uniforme, specialmente in termini percentuali. In particolare, composti inorganici secondari (Sia) sono omogenei sulla pianura Padana. Durante le giornate, dei mesi tra dicembre e febbraio, caratterizzate da concentrazioni della media di bacino superiori ai 50 µg/m³ il nitrato d'ammonio risulta la specie che maggiormente incrementa le sue

concentrazioni, arrivando anche a raddoppiare il suo valore medio rispetto a quando il PM₁₀ di bacino è inferiore a 50 µg/m³. L'analisi di *source apportionment* ha permesso l'individuazione, seppur con margini di incertezza, delle principali sorgenti e/o processi di formazione del particolato. In sintesi, sono stati risolti 7 fattori (figura 1) comuni a tutti i siti ricettori: due fattori di origine secondaria, fondo secondario e secondario invernale, oltre a combustione da biomassa, traffico, sale, suolo e mix antropogenico. In media sul bacino padano, i due fattori suolo e sale spiegano complessivamente più del 15% della massa di PM₁₀ ricostruita. Il suolo presenta un contributo superiore al 10%, mentre il sale ha un contributo di circa il 5%. I fattori primari di origine antropica, traffico e combustione di biomassa hanno un contributo simile, intorno al 10%. La componente secondaria rappresenta circa il 50% della massa totale di PM₁₀ ed è ripartita in egual misura nei due fattori che la caratterizzano: secondario invernale e fondo secondario. In particolare, il fondo secondario risulta arricchito di una componente carboniosa che sta probabilmente a indicare che il solfato d'ammonio si può essere formato molto lontano dal recettore, arricchendosi quindi durante un processo di invecchiamento. Come sottolineato anche nell'analisi della composizione

chimica, i contributi delle diverse sorgenti sono uniformi sul bacino. Si sottolinea la presenza di accumulo di nitrato d'ammonio durante i mesi invernali che porta il secondario invernale a rappresentare oltre il 30% della massa del PM_{10} nei mesi di gennaio e febbraio. Nel sito di Milano i campionamenti di PM_{10} sono attivi dal 2013, per cui è disponibile una lunga serie storica di composizione chimica, che unisce le misure effettuate durante il progetto a quelle raccolte precedentemente. Nell'ultimo decennio si nota un calo della massa totale di PM_{10} e della concentrazione del carbonio elementare (EC); si evidenzia quindi una riduzione del contributo del fattore associato alle emissioni da traffico allo scarico. La frazione di secondario invernale (nitrato d'ammonio in particolare) è, invece, piuttosto stabile.

Durante il progetto Prepair si è vissuta anche l'emergenza Covid-19, che ha comportato l'adozione di una serie di misure restrittive da parte di molti Paesi; tra queste, in particolare, il blocco di molte attività da marzo a giugno 2020. In particolare, dal punto di vista emissivo è emerso che nel bacino padano il traffico urbano è diminuito del 90% e l'industria del 30%; mentre l'agricoltura è rimasta sostanzialmente stabile la combustione della legna è aumentata. In questo particolare periodo l' PM_{10} mostra una diminuzione molto più contenuta e – in alcuni giorni – ha superato la soglia di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media giornaliera (figura 2). Le misure di speciazione chimica effettuate nell'ambito del Life Prepair hanno evidenziato la diminuzione nel PM_{10} durante il *lockdown* delle componenti legate al traffico (EC e Cu) e l'aumento di quelle legate alla combustione della legna, ad esempio levoglucosano (figura 2), con una sostanziale stabilità, anche in questo periodo, del secondario inorganico (Life Prepair, 2021). I risultati sull'intero periodo e quelli durante il *lockdown* sottolineano quindi che è necessario proseguire con le azioni sul traffico, ma che intervenire solo su tale settore non basta: è necessario limitare la parte legata al carbonio organico ma anche quella legata alla formazione in atmosfera di secondario inorganico, connesso alle emissioni di ossidi di azoto, di zolfo e ammoniaca.

Il progetto in effetti ha permesso di evidenziare quali siano i maggiori responsabili delle emissioni di tali parametri, con la loro distribuzione sul territorio. Le aree di maggiore

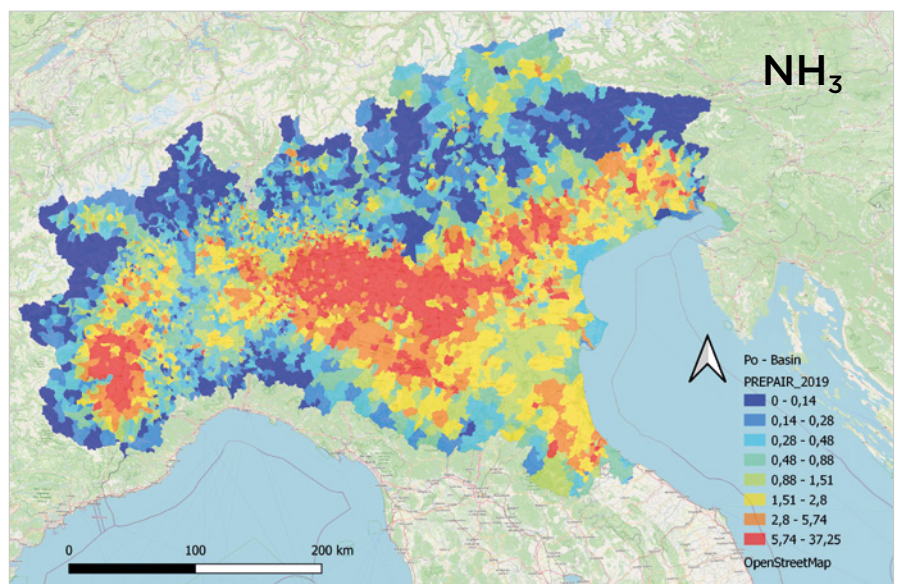
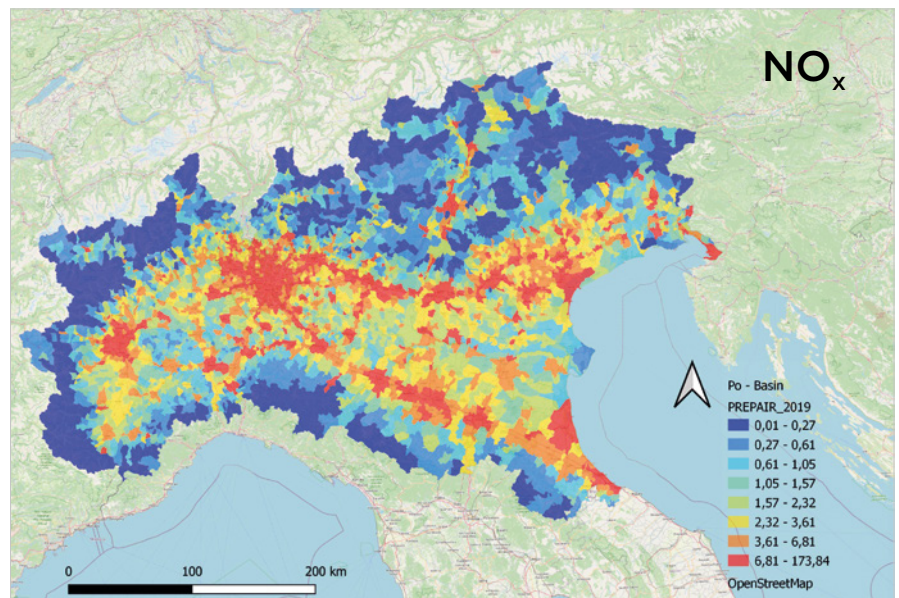
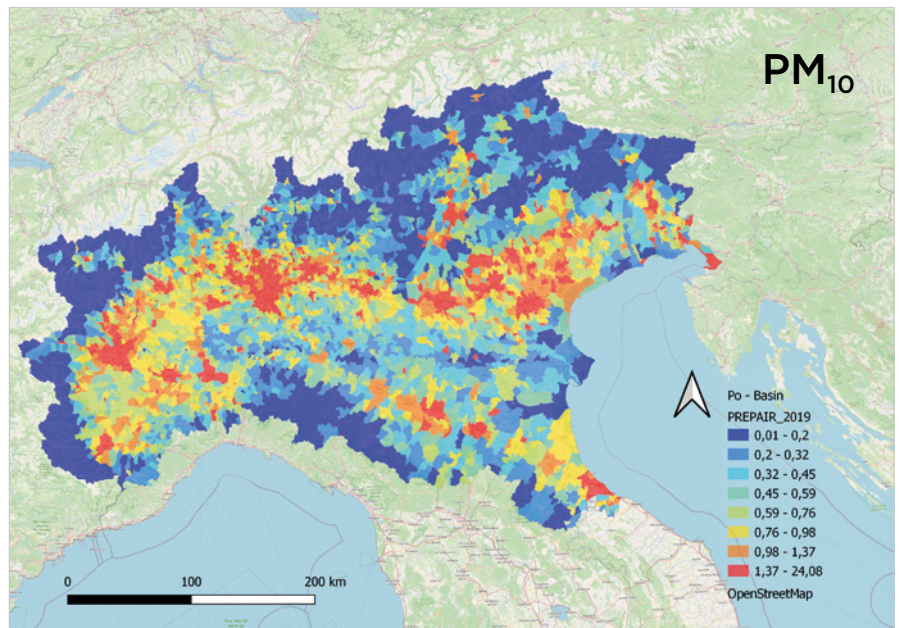


FIG. 3 AREE DI MAGGIORE PRESSIONE EMISSIVA
Mappe di densità di emissione comunale in t/anno/km² per i principali inquinanti atmosferici.

pressione emissiva sono infatti facilmente identificabili in *figura 3*.

Maggiori emissioni per km² di PM₁₀ primario interessano le principali aree urbane del nord Italia. Nella mappa del PM₁₀ è ben visibile anche l'area prealpina. Le principali fonti di particolato primario sono infatti il riscaldamento prevalente in media sul bacino e il trasporto su strada, prevalente se si restringe l'analisi alle aree urbane (*tabella 1*).

Il trasporto su strada si conferma anche la prima sorgente di emissione degli ossidi di azoto (NO_x): nella mappa sono molto evidenti le reti di connessione interurbana tra i principali centri. Il settore zootecnico e l'impiego di fertilizzanti sintetici sono la fonte prevalente delle emissioni di ammoniaca (NH₃). Le aree più interessate da quest'ultimo inquinante sono quelle caratterizzate da maggiori estensioni delle superfici agricole e storicamente con maggiore vocazione agricola. Le emissioni industriali continuano a rappresentare una sorgente non trascurabile di ossidi di azoto a livello complessivo, oltre che poter avere potenziali impatti a livello locale.

Entrando nel dettaglio dei risultati, è evidente come nel riscaldamento il contributo più alto alle emissioni derivi dalla combustione di biomassa legnosa bruciata in piccoli apparecchi domestici, mentre nelle emissioni da traffico la principale fonte di PM₁₀ è ormai dovuta all'usura di pneumatici, freni e manto stradale. L'impiego di carburante diesel risulta ancora la sorgente principale delle emissioni di NO_x del traffico stradale, non solo in ambito urbano ma anche extraurbano e autostradale.

Il progetto Life Prepair ha così confermato la necessità di agire in modo coerente sul tutto il territorio del bacino del Po, agendo, su tutte le fonti appena citate:

- riscaldamento a legna
- trasporti su strada in tutti gli ambiti: urbano, extraurbano e autostradale considerando sia le emissioni di NO_x da combustione sia le cosiddette emissioni *non-exhaust* delle polveri da usura
- allevamenti zootecnici e fertilizzazione minerale
- emissioni industriali.

Alessandro Marongiu, Eleonora Cuccia, Guido Lanzani

Uo Aria e supporto political decision maker, Direzione generale, Arpa Lombardia



Settore	NO _x	NH ₃	PM ₁₀	Cov
Produzione di energia e raffinerie	6%	0%	1%	1%
Combustione in ambito residenziale e terziario	10%	2%	55%	8%
Combustione in ambito industriale	16%	0%	3%	2%
Processi produttivi	2%	0%	3%	11%
Estrazione e distribuzione carburanti	0%	0%	0%	7%
Uso dei solventi	0%	0%	3%	60%
Trasporto su strada	49%	1%	22%	9%
Altre sorgenti mobili	14%	0%	3%	1%
Trattamento e smaltimento rifiuti	2%	1%	1%	0%
Agricoltura	1%	96%	5%	0%
Altre sorgenti e assorbimenti	0%	0%	4%	1%

TAB. 1 FONTI DI PARTICOLATO PRIMARIO
Impatto sulle emissioni dei principali inquinanti atmosferici delle sorgenti.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Marongiu A., Angelino E., Moretti M., Malvestiti G., Fossati G., 2022, "Atmospheric emission sources in the Po-Basin from the Life-Ip Prepair project", *Open Journal of Air Pollution*, 11, 70-83, <https://doi.org/10.4236/ojap.2022.113006>

Marongiu A., Distefano G.G., Moretti M., Petrosino F., Fossati G., Collalto A.G., Angelino E., 2024, "Machine learning approach for local atmospheric emission predictions", *Air*, 2(4), 380-401, <https://doi.org/10.3390/air2040022>

Us-Epa, 2014, *Epa Positive matrix factorization (Pmf) 5.0. Fundamentals and user guide*, Publishing House Washington, DC 20460, www.epa.gov/sites/default/files/2015-02/documents/pmf_5.0_user_guide.pdf

Life Prepair, 2021, *Report 3 Covid-19: studio degli effetti delle misure Covid-19 sulla composizione chimica del particolato nel bacino padano. Gennaio 2021*, www.lifeprepareu/wp-content/uploads/2021/02/Prepair_covidQA_Report3_def2.pdf

Life Prepair, 2024, *Final report: Monitoring the environmental effects of pollutants reduction measures implemented by air quality improvement plans. Report on source apportionment*, www.lifeprepareu/index.php/azioni/air-quality-and-emission-evaluation

COME PARLARE DI QUALITÀ DELL'ARIA E FARSI CAPIRE

UN'INDAGINE DI ART-ER MOSTRA CHE, SE L'ATTENZIONE DEI CITTADINI DEL BACINO PADANO È GENERALMENTE ALTA, LA LORO PERCEZIONE NON È SEMPRE BASATA SUI FATTI. GLI INTERLOCUTORI SONO MOLTEPLICI, DAI CITTADINI AGLI ESPERTI AI DECISORI POLITICI, GLI UNICI CHE POSSONO AFFRONTARE IL TEMA IN TUTTA LA SUA COMPLESSITÀ.

Parlare di qualità dell'aria non è un compito facile. L'abbiamo imparato sulla nostra pelle: negli ultimi 9 anni, Art-Er è stata partner responsabile della comunicazione di Prepair, il progetto Life integrato che ha affrontato il problema della qualità dell'aria nel bacino padano.

Se l'attenzione dei cittadini sul tema è generalmente alta, la loro percezione non è sempre basata su fatti. La maggior parte dei cittadini del bacino padano è convinta che la qualità dell'aria sia peggiorata negli anni. Sappiamo che non è così, e questa non è l'unica difficoltà che emerge dall'indagine "Valuta l'aria" realizzata nel 2023¹. Ad esempio il ruolo dell'industria tende a essere sovrastimato, mentre si tende a sottostimare quello delle biomasse e dell'agricoltura. Insomma c'è molto bisogno di comunicazione. Partendo da queste considerazioni proponiamo non una vera guida, ma alcuni spunti di riflessione su come parlare di qualità dell'aria e farsi capire².

La qualità dell'aria è un problema complesso

Ossidi di azoto, particolato, ozono troposferico, componenti organici volatili, inquinanti primari e secondari, concentrazioni, emissioni ecc. Anche solo la lista di concetti che bisogna conoscere rende l'idea di quanto sia difficile per un profano capirci qualcosa.

Anche dal punto di vista delle politiche non mancano le complessità: basti pensare alla pluralità di soggetti e strumenti normativi che intervengono sulla qualità dell'aria (direttive europee, sentenze della Corte di giustizia europea, leggi e piani nazionali, piani regionali, ordinanze comunali ecc.).

La qualità dell'aria dipende da dove vivi

Facciamo alcuni esempi. Il tema della qualità dell'aria è percepito dai più come un problema urbano: in molti luoghi in Europa questo corrisponde al vero. Pur rimanendo una criticità complessa, in

questi contesti è possibile immaginare soluzioni locali. In altre situazioni, come in alcune regioni dell'Est Europa, l'inquinamento atmosferico è causato in buona parte dall'utilizzo di combustibili solidi per il riscaldamento domestico. In questo caso sono disponibili delle soluzioni tecnologiche: cambiare il sistema di riscaldamento delle case. Un esempio molto specifico, ancora diverso, è la piana di Venafro (IS) in Molise: uno dei luoghi in Italia dove si registrano superamenti dei limiti di qualità dell'aria (NO_x e PM₁₀). Si tratta di una ampia vallata pianeggiante circondata da montagne dove vivono circa 10.000 persone, non certo il posto dove ci si aspetterebbe di trovare dell'aria inquinata. Infine la pianura Padana: uno dei luoghi con la concentrazione di persone e attività umane più elevata d'Europa, in un territorio caratterizzato da condizioni orografiche, climatiche e meteorologiche che facilitano la concentrazione di inquinanti. In questo contesto il problema della qualità dell'aria colpisce tutta la pianura, non solo l'ambito urbano e dipende da una pluralità di fonti emissive rilevanti che toccano praticamente tutti i settori produttivi (trasporti, agricoltura allevamento, riscaldamento domestico, in particolare a biomassa). La soluzione? Sovraregionale, plurisettoriale, multitecnologica, integrata, sinergica, complessa ecc.

È una questione di salute

L'inquinamento atmosferico ha un impatto (molto significativo) sulla salute delle persone. La cattiva qualità dell'aria ha effetti anche su altri aspetti come la biodiversità, la produttività agricola o il deterioramento del patrimonio artistico, ma il tema centrale, per importanza e impatti, rimane la tutela della salute umana.

Un capitolo a parte, ma altrettanto rilevante, riguarda la qualità dell'aria degli ambienti chiusi (*indoor*). Soprattutto in inverno, la maggior parte di noi passa gran parte del proprio tempo in casa, a scuola, in ufficio: va da sé che la qualità dell'aria che respiriamo in questi ambienti ha un importante effetto sulla nostra salute e non dipende (solo) dalla qualità *outdoor*, ma da fonti emissive interne (cucina, sistemi di riscaldamento, detergenti, mobili, vernici ecc.) e dalle modalità di aerazione. Parlare degli effetti sulla salute umana della qualità dell'aria è necessario per motivare le persone ad agire e dare fondamento all'azione delle istituzioni.

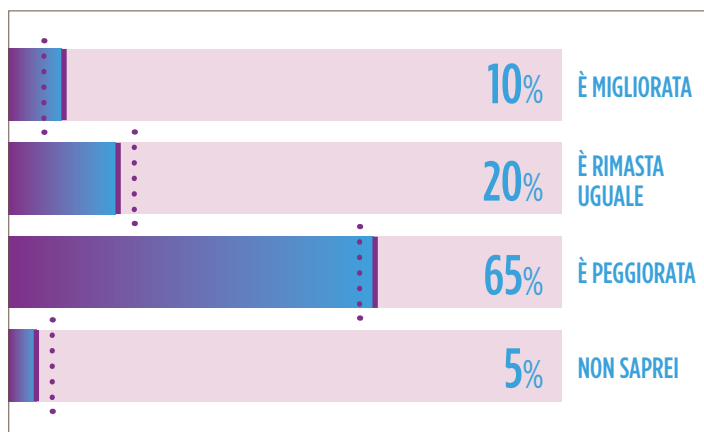
Concentrazioni diverse da emissioni

Più emissioni inquinanti uguale peggiore qualità dell'aria? Dipende. Emissioni e concentrazioni sono in una relazione complicata. Altri elementi meteorologici e climatici favoriscono in modo determinante l'aumento o la diminuzione delle concentrazioni. Le politiche, ahimè,

FIG. 1
PERCEZIONI

Andamento percepito della qualità dell'aria negli ultimi 10 anni. La maggior parte dei cittadini del bacino padano è convinta che la qualità dell'aria sia peggiorata.

Fonte: Indagine "Valuta l'aria 2023", Art-Er, Life Prepair



possono intervenire solo sulle emissioni: il meteo è dato.⁵

Qualità dell'aria vs crisi climatica

Nel discorso pubblico, capita spesso che dalla qualità dell'aria si scivoli nella crisi climatica. I due temi hanno tanto in comune, a partire dall'atmosfera (che è una sola), una parte delle cause (i combustibili fossili) e della terminologia (ad esempio emissioni e concentrazioni). Ma i due fenomeni non sono sovrapponibili: mentre i cambiamenti climatici sono un fatto eminentemente globale, abbiamo visto che la qualità dell'aria è un problema sostanzialmente locale o regionale. Questa differenza di scala si rispecchia nella ricerca di soluzioni e quindi nelle politiche. La confusione è comprensibile: la preoccupazione nei confronti dell'inquinamento atmosferico si mescola e confonde con l'ansia climatica e, più in generale, a una generica attenzione per l'ambiente.

Migliorare e risolvere sono due cose diverse

La qualità dell'aria in pianura Padana è migliorata e continua a migliorare nel tempo. Possiamo sostenerlo con cognizione di causa: nel lungo periodo le concentrazioni di tutti gli inquinanti sono in diminuzione, alcuni inquinanti che sono stati un problema in passato sono diventati sostanzialmente irrilevanti (piombo, SO₂, CO). Questo non significa che il problema sia risolto. In pianura Padana fatichiamo

a rispettare i limiti di concentrazioni previsti dalla direttiva 2008/50/Ce per NO_x e PM₁₀. Sappiamo che la nuova direttiva 2024/2881/UE introdurrà limiti molto più stringenti. Le linee guida Oms individuano come soglie "sicure per la salute" dei livelli ancora più bassi. Tenere insieme questi due concetti, il miglioramento e la mancata soluzione del problema, è una grande sfida per la comunicazione.

Con chi parlare

Qual è il target della comunicazione sulla qualità dell'aria?

La risposta più semplice sono "i cittadini" perché tutti respiriamo l'aria. C'è molto bisogno di informazioni corrette e non fuorvianti, per alimentare un dibattito pubblico consapevole. In questo senso può essere utile attivare e formare una rete di soggetti intermedi – come giornalisti, medici, pediatri, insegnanti – che possano mantenere l'attenzione sul tema e veicolare informazioni attendibili. Senza nascondere i problemi, altrimenti non si capisce perché serva agire. È importante che i cittadini siano consapevoli e proattivi perché le nostre scelte su come ci spostiamo e come riscaldiamo casa impattano direttamente sull'aria che respiriamo. Attenzione però: i cittadini da soli non possono risolvere il problema!

Altri aspetti cruciali per la qualità dell'aria sono in mano a operatori di settori specifici: ad esempio agricoltori, allevatori o impiantisti. Anche loro sono

interlocutori da tenere presenti, sapendo che per diffondere delle buone pratiche serve anche un cambiamento culturale, non solo delle regole da rispettare. In ultima analisi, gli interlocutori più importanti sono i decisori politici perché sono gli unici soggetti che possono affrontare il tema in tutta la sua complessità.

Michele Bartolomei, Marco Ottolenghi

Unità ambiente Art-er

NOTE

¹ Report "Valuta l'aria 2023. Cittadini e qualità dell'aria nel bacino padano", Art-Er, Life Prepair, <https://bit.ly/Valutalaria2023>

² Disclaimer: siamo consapevoli che le informazioni riportate di seguito sono poco approfondite. Su ognuno dei punti presentati si potrebbero aggiungere vari livelli di complessità.

³ Si vedano i progetti Life integrati Malopolska, <https://powietrze.malopolska.pl/en/> (Polonia), Clean Air lifeipcleanair.eu (Bulgaria).

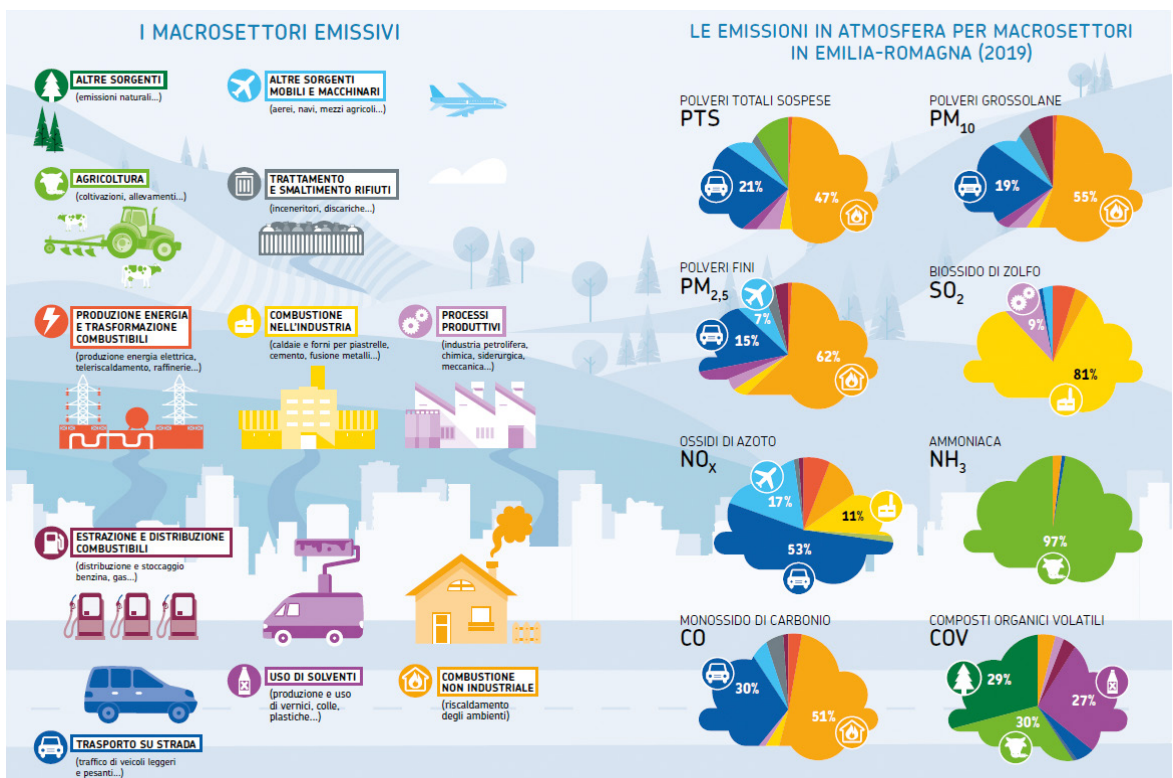
⁴ Si veda il progetto Pnc Atlante aria outdoor e salute (capofila Regione Emilia-Romagna) che sta sviluppando una mappa nazionale interattiva che mette in relazione la qualità dell'aria registrata in ciascun comune italiano e gli esiti di salute sulla popolazione esposta. L'atlante non è ancora disponibile. Per informazioni: www.atlanteariasalute.it

⁵ Si cita per completezza il progetto pionieristico di "abbattimento a livello del mare del passo del Turchino", Diacono P. e Tortora E., Portobello, Rai 1978.

FIG. 2
LA QUALITÀ
DELL'ARIA
IN EMILIA-ROMAGNA

Un'infografica ben fatta, ma comunque complessa.

Fonte: Arpae, 2023



LA QUALITÀ DELL'ARIA IN EMILIA-ROMAGNA NEL 2025

I VALORI MEDI ANNUALI DI PM_{10} E $PM_{2,5}$ SONO ENTRO I LIMITI DI LEGGE, IN UNA SOLA STAZIONE SI È OSSERVATO IL SUPERAMENTO DEL LIMITE GIORNALIERO PER IL PM_{10} PER OLTRE 35 GIORNI. NEI LIMITI IL BISSIDO DI AZOTO. ANCORA DIFFUSI I SUPERAMENTI DELLE SOGLIE DI OZONO, CON UNA STAGIONE ESTIVA CARATTERIZZATA DA RILEVANTI EPISODI ACUTI.

Nel 2025 in Emilia-Romagna i livelli misurati dalla rete regionale della qualità dell'aria continuano a mostrare per tutti gli inquinanti concentrazioni medie in linea o inferiori rispetto alla variabilità dell'ultimo quinquennio.

PM₁₀

Per quanto riguarda il valore limite giornaliero di PM_{10} , i mesi di gennaio e febbraio hanno presentato alcuni episodi di superamenti protratti, dovuti a condizioni meteorologiche favorevoli all'accumulo degli inquinanti. Nella parte finale dell'anno, a ottobre, novembre e dicembre sono stati osservati superamenti sporadici o di minore persistenza. Il valore limite annuale di PM_{10} ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) continua a essere rispettato in tutte le stazioni della regione e nel 2025 i valori medi annui mostrano una diminuzione sebbene non omogenea per tutto il territorio.

Le condizioni meteorologiche favorevoli all'accumulo e alla formazione degli inquinanti secondari hanno invece influito sul superamento del valore limite giornaliero ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tuttavia nel 2025 il limite giornaliero è stato superato per oltre 35 giorni solo in 1 delle 43 stazioni della rete regionale che lo misurano (Modena – Giardini, che ha registrato 40 superamenti nel corso dell'anno). Nel 2021 le stazioni che superavano il limite di 35 giorni risultavano 11, mentre erano 12 nel 2022, 0 nel 2023 e 3 nel 2024.

PM_{2,5}

La media annuale di $PM_{2,5}$ nel 2025 è stata inferiore ovunque al valore limite della normativa ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), con valori in linea con i cinque anni precedenti.

Biossido di azoto

La media annuale di biossido di azoto (NO_2) risulta in linea o in lieve diminuzione rispetto ai valori misurati



FOTO: J. DNAG-SUUNSP/PLASH

TAB. 1
 PM_{10}

Stazioni che superano il valore limite giornaliero per il PM_{10} ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tipologia di stazione	2021	2022	2023	2024	2025
traffico	6	8	1(0*)	5(2*)	1
fondo urbano/suburbano	5	4	0	1	0
fondo rurale	0	0	0	0	0

* Valore al netto degli episodi di trasporto di polveri. Eliminando quindi i superamenti attribuibili alle polveri desertiche, nel 2023 nessuna stazione ha superato i limiti per più di 35 giorni e nel 2024 i superamenti sono 2.

TAB. 2
 NO_2

Stazioni che superano la media annuale per NO_2 ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tipologia di stazione	2021	2022	2023	2024	2025
traffico	1	0	1	0	0
fondo urbano/suburbano	0	0	0	0	0
fondo rurale	0	0	0	0	0

TAB. 3
OZONO

Stazioni che superano la soglia di informazione dell'ozono ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tipologia di stazione	2021	2022	2023	2024	2025
fondo urbano/suburbano	1	13	11	8	15
fondo rurale	3	5	1	1	10

nell'ultimo quinquennio. Il valore limite annuale di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ è stato rispettato in tutte le stazioni, come nel 2020, 2022 e 2024; nel 2021 e 2023 era stato superato in 1 stazione. Inoltre in nessuna stazione si è avuto il superamento del valore limite orario ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Ozono

Per l'ozono le concentrazioni rilevate e il numero di superamenti delle soglie continuano a non rispettare gli obiettivi previsti dalla legge e la stagione estiva del 2025 è stata caratterizzata da rilevanti episodi acuti.

Diffuso ancora il superamento dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come massimo della media mobile giornaliera su 8 ore), sebbene il dato cumulato sull'intera regione risulti inferiore a quello totale riscontrato nel periodo 2022-2024. Superamenti protratti per diversi giorni dell'obiettivo a lungo termine per la salute umana hanno avuto luogo in coincidenza con le principali ondate di calore, a metà giugno, all'inizio di luglio e all'inizio di agosto, e una sola stazione, Alto Reno Terme - Castelluccio (BO), non ha fatto registrare alcun superamento di questo obiettivo di legge.

Nel 2025, principalmente a causa dell'andamento meteorologico estivo, il numero totale di ore di superamento della soglia di informazione ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è stato superiore a quello degli anni precedenti (periodo 2022-2024). I primi superamenti sono stati registrati l'11 giugno, data dalla quale si è verificato l'episodio acuto di ozono più intenso dell'estate, che ha interessato buona parte del territorio europeo. Le concentrazioni di ozono hanno raggiunto valori orari elevati dall'11 al 15 giugno. In questo stesso periodo il superamento è stato

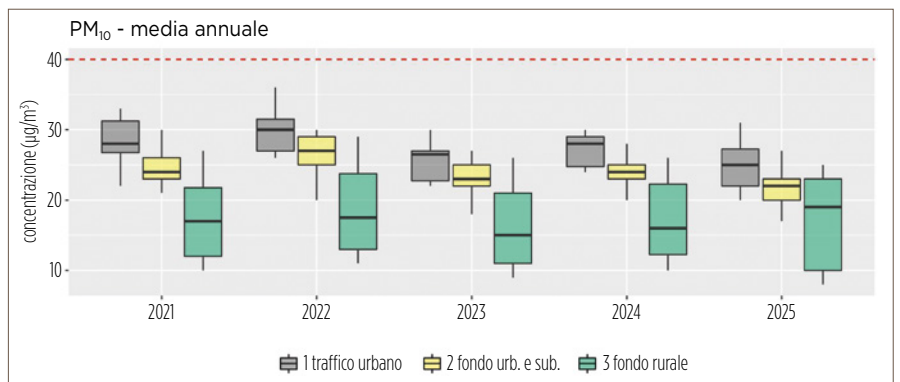


FIG. 1 CONCENTRAZIONE MEDIA ANNUALE DI PM_{10}



FOTO: JUSTIN SU UNSPLASH

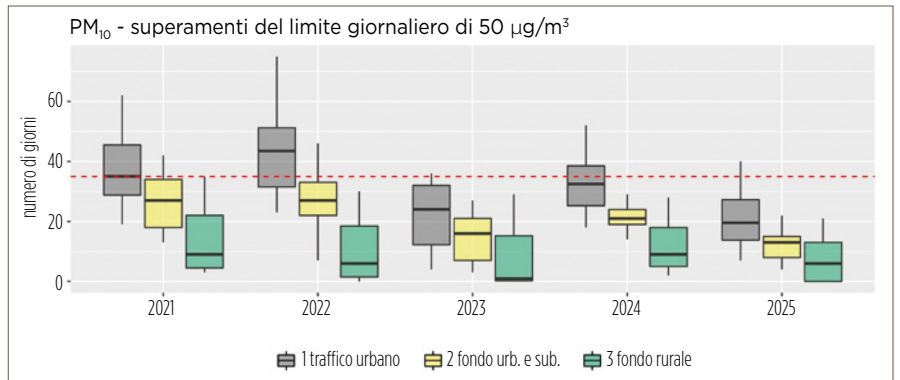


FIG. 2 NUMERO DI SUPERAMENTI DEL VALORE LIMITE GIORNALIERO PER PM_{10}

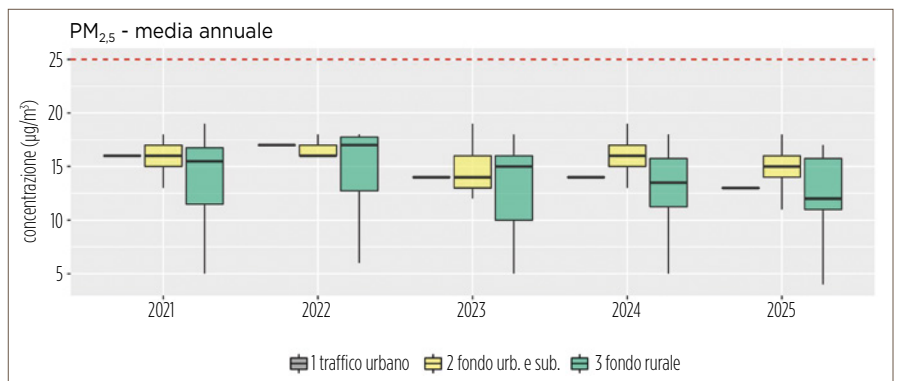


FIG. 3 CONCENTRAZIONE MEDIA ANNUALE DI $\text{PM}_{2.5}$

In tutte le figure la linea rossa indica il valore limite annuale ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$). I valori rilevati ogni anno dalle stazioni da traffico (in grigio), 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 medi annuali ed è evidenziata la linea della mediana. La lunghezza delle barre è pari a 1,5 per la distanza interquartile.

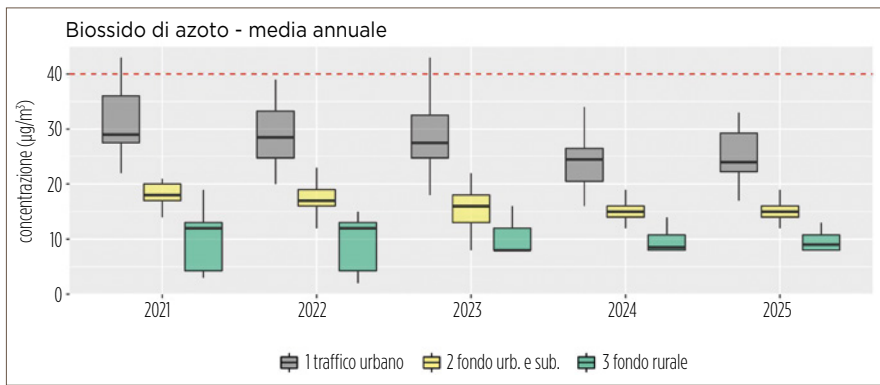


FIG. 4 CONCENTRAZIONE MEDIA ANNUALE DI NO₂

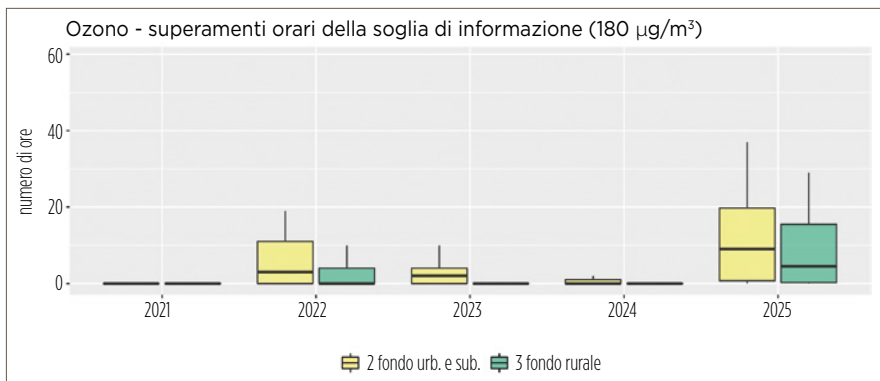


FIG. 5 NUMERO DI SUPERAMENTI (ORE) DELLA SOGLIA DI INFORMAZIONE DELL'OZONO

Nelle due figure i valori rilevati ogni anno dalle stazioni 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. La lunghezza delle barre è pari a 1,5 per la distanza interquartile.

persistente (più ore nell'arco di uno stesso giorno) e l'episodio ha interessato prevalentemente la parte occidentale e centrale della regione. Nell'ultima decade di giugno, sempre nella zona ovest della regione, sono stati registrati altri superamenti, mentre sporadici superamenti sono occorsi anche nell'area orientale. Il perdurare del più intenso episodio acuto dell'estate 2025, ha fatto superare anche a inizio luglio la soglia di informazione. Nel prosieguo di luglio (giorno 15) e ad agosto (giorni 9-10 e 14) hanno avuto luogo sporadici e localizzati superamenti della soglia di informazione.

La soglia di allarme (240 µg/m³ superata per almeno 3 ore consecutive) non è mai stata superata.

Altri inquinanti

I valori degli altri inquinanti (biossido di zolfo, benzene e monossido di carbonio) sono rimasti entro i limiti di legge in tutte le stazioni di rilevamento.

Simona Maccaferri, Chiara Agostini

Arpae Emilia-Romagna

LA RETE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA IN EMILIA-ROMAGNA

I DATI, LE ANALISI E I REPORT GIORNALIERI E RIASSUNTIVI SONO PUBBLICATI ONLINE SUL SITO DI ARPAE

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.

La rete 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 sono prevalentemente in area urbana e rappresentative delle aree a maggiore densità abitativa della regione.

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

La pagina sulla situazione riassuntiva dell'Emilia-Romagna (www.arpae.it/temi-ambientali/aria/dati-qualita-aria/situazione-riassuntiva-regionale) riporta anche i livelli giornalieri e le statistiche riepilogative relative al superamento dei limiti in ciascuna stazione. I dati giornalieri vengono pubblicati previa validazione da parte di 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 validazione nel primo giorno lavorativo).

Il sito Liberiamo l'aria (www.arpae.it/temi-ambientali/aria/liberiamo-laria) è aggiornato quotidianamente durante il periodo invernale e riporta le informazioni relative ai provvedimenti emergenziali e le informazioni aggregate a livello provinciale relative al superamento del valore limite giornaliero per PM₁₀.

Tutti i dati sono disponibili anche in modalità open data (<https://dati.arpae.it/dataset/qualita-dell-aria-rete-di-monitoraggio>). Per il 2025 è disponibile anche un report interattivo pubblicato da Arpae e suddiviso in quattro sezioni con i dati dei quattro inquinanti principali (PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂, e O₃) analizzati presentati su base provinciale (www.arpae.it/temi-ambientali/aria/report-aria/report-regionali/report-la-qualita-dellaria-in-emilia-romagna-anno-2025).



5G SOTTO LALENTE

Evoluzione delle tecniche di misura per un segnale dinamico

L'esposizione alle onde elettromagnetiche è un argomento che incute sempre un po' di timore nella popolazione, poiché si tratta di qualcosa che non vediamo, non sentiamo, ma della cui innegabile realtà abbiamo prova ogni giorno dalle continue e pervasive innovazioni tecnologiche. Ogni nuova generazione di tecnologie, insieme alla capacità di trasportare una sempre maggior quantità di dati in un sempre minor tempo, porta con sé anche la necessità di adeguare le metodiche di misura da parte degli organi di controllo per poter dare risposte efficaci, trasparenti, scientificamente corrette alle diverse istanze: degli enti da una parte, che devono regolare l'inserimento degli impianti sul proprio territorio, e dei cittadini dall'altra, spesso preoccupati da un continuo proliferare di antenne, viste come possibile minaccia alla propria salute e al valore del proprio immobile. Nel caso del 5G, come testimoniano i numerosi contributi specialistici delle pagine seguenti, non si ritiene eccessivo parlare di un vero

e proprio "cambio di paradigma". L'introduzione della capacità delle antenne 5G di formare dei fasci di traffico indirizzati verso singoli o gruppi di utenti (*beamforming*) ha messo in discussione il modo di operare consolidato del Sistema delle agenzie ambientali, che però ha reagito prontamente, dando dimostrazione di robuste competenze maturate nei precedenti 20 anni, uno spiccato spirito di iniziativa e grande passione degli operatori.

Le linee guida Snpa 54/2025 sono state il punto di raccolta di diverse esperienze sul campo, spesso sviluppate indipendentemente, di tante Agenzie regionali che hanno percepito l'esigenza di essere proattive nell'individuare nuove tecniche e procedure operative davanti a questo cambiamento strutturale: ne è la riprova l'altissima partecipazione all'interconfronto nazionale svoltosi a Roma nel mese di giugno 2025 e i numerosi gruppi di lavoro tutt'ora attivi a livello nazionale per l'approfondimento delle metodiche di misura legate alle nuove tecnologie.

(Matteo Tiberti e Barbara Notari)

LE LINEE GUIDA SNPA SULLE MISURE 5G

LA GUIDA SNPA 54/2025 AGGIORNA LE METODOLOGIE DI MISURA DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI PER IL 5G. IL DOCUMENTO AFFRONTA SFIDE COME IL BEAMFORMING E LE ANTENNE ATTIVE, INTRODUCENDO TECNICHE DI FORZATURA DEL TRAFFICO E ANALISI A BANDA STRETTA PER VALUTARE L'ESPOSIZIONE UMANA.

L'avvento della quinta generazione tecnologica della telefonia mobile – il sistema 5G New Radio – ha rivoluzionato radicalmente l'attività di valutazione dell'esposizione umana ai campi elettromagnetici. È da subito apparso chiaro che le novità introdotte dalla transizione tecnologica avrebbero impattato in maniera critica le metodologie di misura e di simulazione previsionale dei livelli di campo elettromagnetico generati nell'ambiente. Questo ha obbligato gli esperti del settore a intraprendere un articolato processo di revisione delle normative tecniche di riferimento. Sulla base di questa esigenza comune, l'*International electrotechnical commission (Iec)* ha preso in carico il gravoso compito di aggiornare gli standard internazionali, su tutti il Technical standard Iec 62232:2022 *Determination of Rf field strength, power density and Sar in the vicinity of base stations for the purpose of evaluating human exposure*, che a oggi rappresenta il testo di riferimento per la valutazione dell'esposizione umana. Lo slancio internazionale è stato ovviamente declinato anche su scala nazionale, con il Comitato elettrotecnico italiano (Cei) impegnato nella revisione della Guida Cei 211-10 (aggiornata a giugno 2024) e della Guida Cei 211-7, il cui aggiornamento è tuttora in corso.

La linea guida Snpa

In questo contesto complesso e sfidante nasce in seno al Sistema nazionale per la protezione ambientale (Snpa), l'idea di produrre un documento tecnico autoconsistente che racchiudesse l'enorme mole di esperienza diretta di misura dei sistemi 5G accumulata dai tecnici di Ispra e delle varie Agenzie regionali e che, al tempo stesso, potesse rappresentare uno standard a cui riferirsi per la corretta esecuzione di misure di segnali di ultimissima generazione. La

storia della linea guida Snpa 54/2025 nasce a marzo del 2024, quando vengono designati i componenti del gruppo di lavoro incaricato della preparazione del documento. Un compito complesso e impegnativo, reso ancora più difficile dalla tempistica certamente non favorevole: il 30 dicembre 2023 era infatti entrata in vigore la legge n. 214/2023 che aveva adeguato i valori limite di campo elettromagnetico consentiti nel nostro Paese. Il gruppo di lavoro si accingeva a lavorare a un documento di importanza cruciale proprio nel bel mezzo di un processo di adeguamento delle potenze di tutti gli impianti di telefonia mobile

presenti su scala nazionale, che avrebbe impegnato il personale tecnico delle Agenzie ambientali con un carico di lavoro istituzionale enorme da evadere in tempi estremamente compressi. Nonostante ciò, la consapevolezza dell'importanza di una linea guida specificatamente dedicata alle misure su segnali 5G è stata motivante per tutti i partecipanti che sono riusciti a rispettare la scadenza imposta dal Consiglio Snpa, che ha potuto infine adottare il testo finale delle *Linee guida per la misura dei campi elettromagnetici generati da sistemi di telecomunicazione in tecnologia 5G* con la delibera n. 262 del 26 novembre 2024.

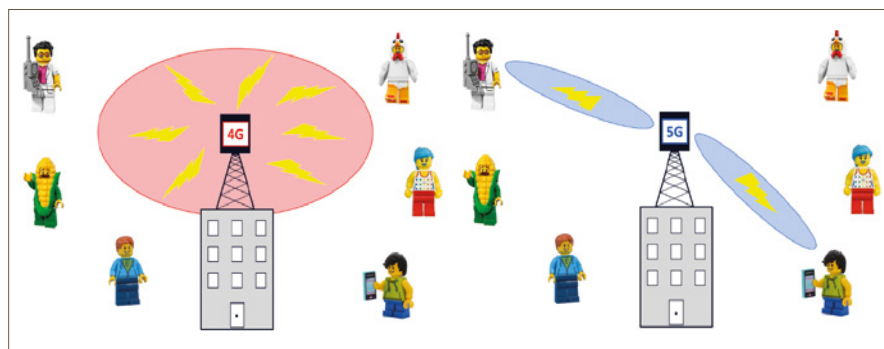


FIG. 1 ESPOSIZIONE
Confronto tra le modalità di esposizione dovuta a tecnologie 4G e 5G.

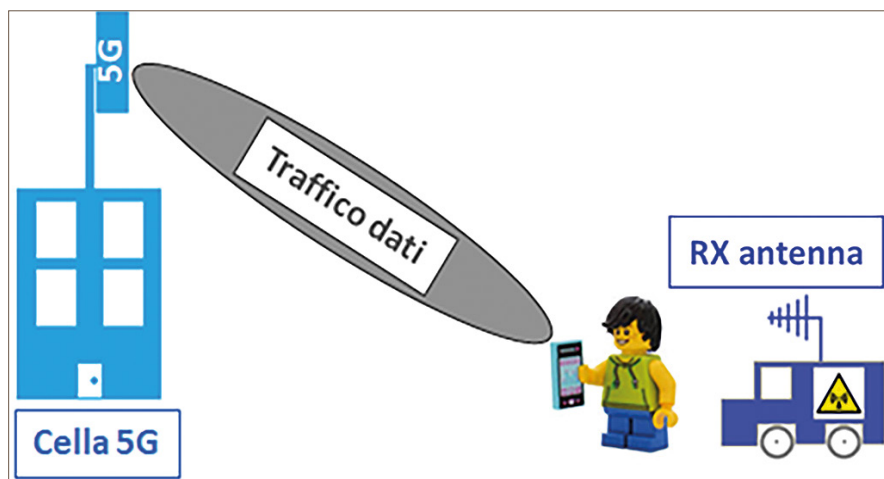


FIG. 2 TRAFFICO FORZATO
Misura di campo in condizioni di traffico forzato.

I contenuti

La linea guida si propone come una summa di tutta la conoscenza del segnale 5G fino a quel momento maturata all'interno di Snpa. Per questo motivo è stata progettata con finalità più ampie rispetto a quelle di un asettico documento tecnico. La linea guida inizia infatti con una vasta introduzione teorica sulle principali caratteristiche dei segnali 5G, ponendo un particolare risalto sugli aspetti che si traducono direttamente in modalità di esposizione della popolazione rispetto al passato. Tra questi, un' enfasi particolare viene posta su ciò che rappresenta la più grande discontinuità rispetto alle tecnologie del passato: l'implementazione di antenne attive intelligenti per la trasmissione del segnale.

Queste antenne avanzate sono caratterizzate da un elevato numero di elementi radianti indipendenti che abilitano il meccanismo di trasmissione chiamato *beamforming*: agendo in tempo reale sulla fase di ogni singolo elemento, il sistema è in grado di sintetizzare fasci di radiazione caratterizzati da direzioni di massimo puntamento che variano in maniera dinamica. Grazie al *beamforming*, il sistema 5G è in grado di "seguire" un utente connesso attraverso un fascio che si orienta dinamicamente seguendo la sua posizione.

Le implicazioni che un meccanismo di trasmissione come il *beamforming* si porta dietro dal punto di vista dell'esposizione umana sono enormi: per la prima volta la popolazione è esposta ai campi elettromagnetici generati dalle sorgenti di telefonia mobile diventa rilevante solo quando si instaura attivamente una connessione. La *figura 1* mostra il cambio di paradigma in maniera semplice: per le generazioni tecnologiche precedenti, il diagramma di irraggiamento rappresentava un'entità statica che non poteva modificare la sua forma indipendentemente dal numero (e posizione) degli utenti attivi. Con il *beamforming* delle antenne 5G, invece, l'irraggiamento è dinamico e ottimizzato solo nelle direzioni in cui sono presenti utenti attivi.

Come diretta conseguenza del *beamforming*, per valutare l'esposizione massima che una persona può ricevere in un determinato punto, la misura va effettuata in condizioni di forzatura



1

di traffico dati. In altre parole, bisogna essere sicuri che la misura avvenga mentre il sistema 5G sta puntando un fascio di traffico nella direzione dell'antenna ricevente (*figura 2*). Per venire incontro alle nuove esigenze di misura, il capitolo 2 della linea guida è interamente dedicato alla descrizione dei meccanismi di forzatura del traffico che si possono utilizzare in campo per effettuare una corretta valutazione della massima esposizione.

Il capitolo 3 affronta invece la tematica delle metodologie di misura in banda larga che, sebbene rappresenti una tecnica standard e ampiamente consolidata, può condurre a interpretazioni fuorvianti in presenza di segnali caratterizzati da modulazioni complesse come quelle del 5G. Il fulcro della linea guida è tuttavia rappresentato dal capitolo 4, che descrive nel dettaglio le tre principali tecniche di misura in banda stretta:

- *channel power*
- *zero span*
- demodulazione vettoriale.

È compresa anche una dettagliata descrizione delle tecniche di estrapolazione alla massima potenza che consentono di effettuare una stima attendibile del campo generato dalla sorgente 5G in condizione di massimo traffico a partire da una misura puntuale e istantanea.

Il capitolo 5 contiene le conclusioni insieme a una pratica tabella riepilogativa di tutte le procedure di misura trattate all'interno del documento. Queste procedure sono state oggetto di sperimentazione durante l'interconfronto nazionale sulle misure 5G, tenutosi dal

24 al 26 giugno 2025, organizzato da Università di Roma Tor Vergata, Ispra, Arpa Lazio e Arpa Piemonte, che ha visto la partecipazione di 34 laboratori provenienti da tutta Italia.

Il sistema agenziale ha fatto veramente tanta strada ma non è ancora tempo di fermarsi: il 2026 sarà infatti l'anno di una prima revisione ed estensione della linea guida per includere alcuni recentissimi temi che non è stato possibile includere nella versione precedente.

Daniele Franci, Giuseppe Marsico

Ispra

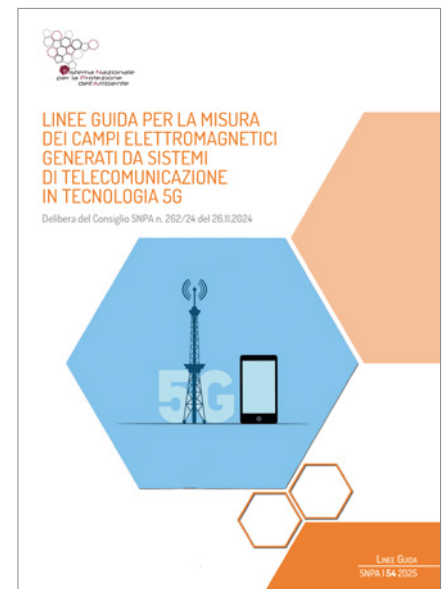


FIG. 3 COPERTINA E QR CODE PER SCARICARE GRATUITAMENTE LA LINEA GUIDA

1 I partecipanti dell'interconfronto Snpa (Roma, 24-26 giugno 2025) all'opera.

L'INTERCONFRONTO NAZIONALE SULLE MISURE 5G

PER VALUTARE LE LINEE GUIDA 5G PRODOTTE DA SNPA E CONSOLIDARE UNA BASE SPERIMENTALE CONDIVISA NEL MONITORAGGIO AMBIENTALE, SI È TENUTO A ROMA NEL GIUGNO 2025 IL PRIMO INTERCONFRONTO NAZIONALE SULLE MISURE DELL'ESPOSIZIONE A CAMPI ELETTROMAGNETICI GENERATI DA IMPIANTI 5G.

Agiugno 2025 si è tenuto a Roma il primo interconfronto nazionale sulle misure dell'esposizione a campi elettromagnetici generati da impianti 5G. L'iniziativa, organizzata dall'Università degli Studi di Roma Tor Vergata con il patrocinio di Arpa Lazio, Arpa Piemonte, Ispra, Airp, Cnit, e Fondazione Restart, ha coinvolto 34 laboratori provenienti dalle Arpa regionali, da istituti pubblici e da enti privati. L'obiettivo era duplice: valutare la coerenza tra diverse metodiche di misura definite nelle Linee guida 5G prodotte in ambito Snpa (Sistema nazionale di protezione ambientale) e consolidare una base sperimentale condivisa per affrontare le sfide introdotte dal 5G nel monitoraggio ambientale.

Obiettivi e contesto operativo

L'interconfronto è stato organizzato presso l'Università degli Studi di Roma



1

Tor Vergata, utilizzando una rete privata composta da una *Ran* e da una *Core 5G Standalone*, acquisita tramite i fondi del progetto del Pnrr Restart che ha supportato l'iniziativa. La rete è stata configurata per operare con traffico forzato tramite *Cpe* dedicata (con antenna *multi-user MIMO* a diagramma statico). Questa scelta ha garantito una condizione stabile, evitando la

variabilità tipica delle reti commerciali. L'attività si è articolata su due giornate: la prima dedicata ai metodi basati sulla *maximum power extrapolation (MPE)*, utilizzando antenne e cavi identici per tutti i partecipanti; la seconda incentrata su misure *Chp* effettuate con le catene strumentali proprie di ogni laboratorio. Questa impostazione ha permesso di isolare le differenti sorgenti di variabilità:



2

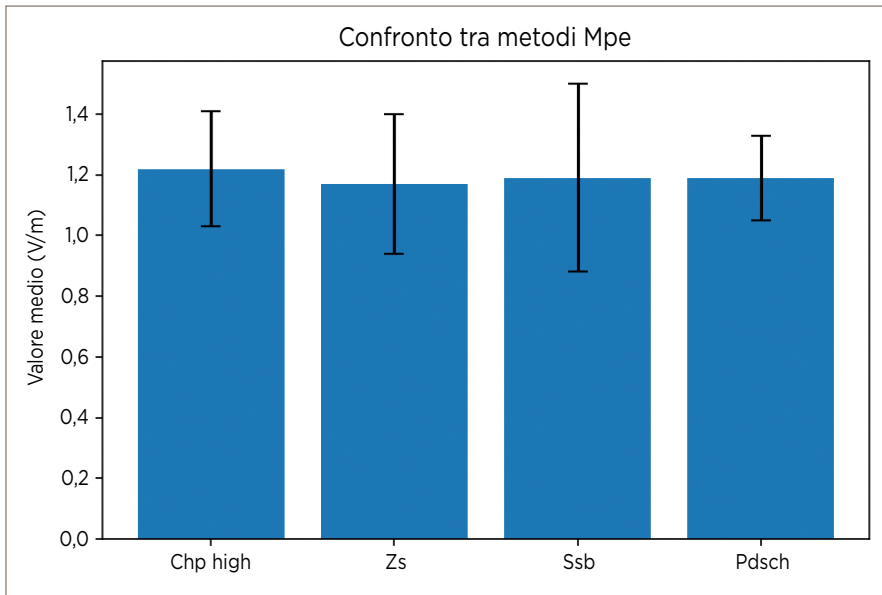


FIG. 1 CONFRONTO TRA METODI
Risultati di media robusta tra le misure dei partecipanti, ottenute con i diversi metodi testati. L'intervallo di variabilità associato è la deviazione standard robusta dei dati

nella prima giornata si testava la capacità tecnica del laboratorio di applicare correttamente i metodi; nella seconda si valutava anche la qualità complessiva delle catene di misura, incluse antenne, cavi e strumenti di analisi.

Metodiche di misura analizzate

Per affrontare la complessità del segnale 5G Nr, caratterizzato da Tdd, *beamforming* e allocazione dinamica delle risorse, sono state testate quattro metodiche principali:

- misura *channel power* (Chp): consiste nella misura diretta della potenza complessiva trasmessa. Si tratta del metodo più diffuso tra le Arpa, utilizzato nelle attività di vigilanza e controllo
- misure zero-span (Zs): permettono di analizzare porzioni temporali specifiche del segnale, misurando canali di controllo (Ssb) o di traffico (Pdsch) per estrapolare alla potenza massima
- demodulazione Ssb: tramite analizzatori vettoriali è possibile ricostruire la potenza per *resource element* (Re) del blocco di sincronizzazione, l'unico trasmesso costantemente
- demodulazione completa del frame 5G: rappresenta la tecnica più sofisticata, capace di analizzare la distribuzione della potenza nei canali dati Pdsch all'interno della trama.

Parametri testati e sfide tecniche

Durante l'interconfronto sono stati analizzati:

- i livelli di campo elettrico per Re del canale Ssb
- i livelli per Re del canale Pdsch
- i valori della potenza massima estrapolata tramite diversi metodi Mpe
- le incertezze dichiarate dalle singole strutture di misura.

L'interconfronto ha confermato una buona compatibilità generale tra le metodiche. Le stime della potenza massima ottenute dai laboratori risultano infatti molto vicine, con valori medi compresi tra 1,17 e 1,22 V/m. Il metodo più stabile è risultato essere la demodulazione completa del frame, mentre la maggiore variabilità è stata osservata nelle misure basate sul canale Ssb. Le misure Chp hanno mostrato la presenza di due gruppi (*low* e *high*), dovuti alla modulazione dinamica della potenza da parte del nodo 5G. In *figura 1*, sono visibili i risultati

di media robusta tra le misure dei partecipanti, ottenute con i diversi metodi testati. L'intervallo di variabilità associato è la deviazione standard robusta dei dati. Il dato di *channel power* utilizzato per questo confronto è quello ricavato dal gruppo di partecipanti individuato come *high*, in quanto rappresentativo della massima esposizione (in assenza di sistemi di controllo di potenza).

Oltre al valore tecnico, l'interconfronto ha svolto un ruolo cruciale nel consolidare le pratiche di misura condivise. Ha permesso ai laboratori di confrontarsi con la complessità del 5G, verificare la coerenza delle proprie procedure, individuare criticità e rafforzare le competenze interne.

Conclusioni

Il lavoro evidenzia che, nonostante la complessità del 5G, è possibile ottenere misure affidabili e riproducibili con una pluralità di metodiche, definite a partire dai lavori di approfondimento e ricerca effettuati negli ultimi anni in Italia dalle Agenzie insieme alle Università. La buona compatibilità tra i risultati dei laboratori rappresenta un importante passo avanti verso l'armonizzazione delle pratiche operative. Questi risultati, basati anche su metodiche innovative non descritte negli standard internazionali, possono anche costituire un interessante punto di discussione nei tavoli di stesura e adeguamenti degli standard stessi.

Sara Adda¹, Enrica Caputo¹, Luca Chiaraviglio², Daniele Franci³, Giuseppe Marsico³, Settimio Pavoncello⁴

1. Arpa Piemonte
2. Università Roma Tor Vergata
3. Ispra
4. Arpa Lazio

IL CONCETTO DI MPE

La *maximum power extrapolation* (Mpe) è un metodo codificato nelle norme tecniche per stimare la massima esposizione teorica generabile da una stazione radio, anche quando questa non trasmette al massimo della potenza. Il principio è semplice: alcuni canali, come l'Ssb, sono sempre presenti e vengono emessi a potenza costante. Misurandoli e applicando un fattore di estrapolazione è possibile stimare la potenza massima del sistema. Nel 5G Nr, il processo si complica a causa del *beamforming* e dell'allocazione dinamica delle risorse. Per questo motivo esistono metodiche diverse per stimare l'Mpe, basate in alcuni casi sulla misura dei canali di traffico in condizioni di forzatura, anziché sulla classica misura dei canali di controllo.

1 Seminario di apertura dell'interconfronto.
2 Zona delle misure con le squadre in attività.

PER MONITORARE I CEM SERVONO STRUMENTI AFFIDABILI

CONOSCERE PUNTI DI FORZA E LIMITI DEGLI STRUMENTI PERMETTE DI EVITARE INTERPRETAZIONI ERRATE E DI ATTRIBUIRE INVECE CORRETTAMENTE IL CONTRIBUTO DELLE DIVERSE SORGENTI ELETTROMAGNETICHE. ECCO PERCHÈ SERVONO STRUMENTI DI MISURA AFFIDABILI PER DESCRIVERE CON PRECISIONE IL CEM AMBIENTALE.

Negli ultimi anni il tema dell'inquinamento elettromagnetico ha assunto un ruolo sempre più centrale nel dibattito pubblico, complice la diffusione delle reti di nuova generazione, la moltiplicazione delle sorgenti emmissive e la crescente sensibilità dei cittadini verso le questioni ambientali. Le Agenzie per la protezione dell'ambiente sono chiamate ogni giorno a fornire valutazioni puntuali, sia attraverso controlli preventivi e monitoraggi sul territorio, sia tramite attività di ricerca e sperimentazione nei laboratori accreditati.

Per svolgere correttamente questi compiti è essenziale poter contare su strumenti di misura affidabili, capaci di descrivere con accuratezza il campo elettromagnetico realmente presente nell'ambiente. In quest'ottica Arpa Piemonte ha condotto uno studio approfondito sulle prestazioni delle antenne utilizzate per le misure in banda stretta. L'attenzione si è concentrata sulle due tipologie oggi più diffuse:

- antenne triassiali, progettate per misurare il campo su tre assi e restituire rapidamente il valore totale del campo elettrico
 - antenne omnidirezionali, più recenti, caratterizzate da una costruzione semplice e da un costo più contenuto. L'obiettivo non era stabilire quale delle due rispondesse meglio "in assoluto", ma comprendere in quali condizioni ogni tipologia garantisce misure affidabili e in quali situazioni possono comparire limiti o comportamenti non ideali.
- Per questo il lavoro è stato articolato in due parti: una serie di prove condotte in laboratorio e una fase di verifica in campo.

Comportamento delle antenne in condizioni controllate

Le prove sperimentali sono state svolte a Ivrea, presso il laboratorio accreditato LAT00067 di Arpa Piemonte, utilizzando:

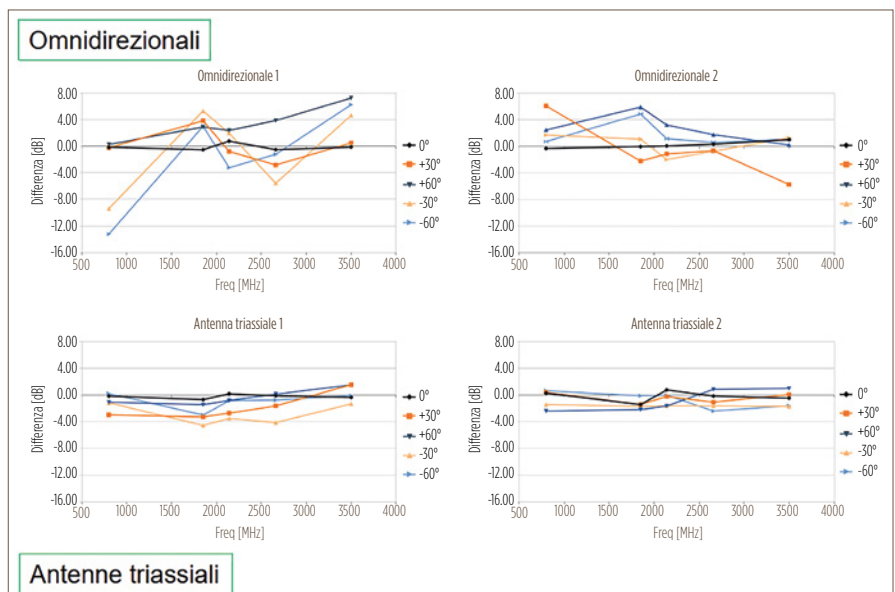


FIG. 1 RISPOSTA DELLE ANTENNE AL VARIARE DELL'ANGOLO DI INCIDENZA. In nero si identifica la posizione di taratura, riferimento rispetto alle diverse angolazioni.

TAB. 1
INDICI DI
COMPATIBILITÀ

Confronto tra antenna triassiale e omnidirezionale in campo aperto, per diverse frequenze e diversi angoli di incidenza.

Ambiente aperto						
Angolo	5°		40°		50°	
Frequenza (MHz)	Indice di compatibilità	Intervallo valori CE (V/m)	Indice di compatibilità	Intervallo valori CE (V/m)	Indice di compatibilità	Intervallo valori CE (V/m)
800	0,10	2,2-2,5	0,83	0,2	0,45	0,5-0,6
1800	0,72	0,5-0,6	0,90	1,7-2,3	2,25	0,4-0,9
2100	0,41	0,7-0,8	1,40	1,8-2,7	1,64	0,2-0,4

- una cella Tem, impiegata per le frequenze da 100 kHz a 200 MHz, ideale per generare campi uniformi e controllati
- una camera anecoica, che permette di operare da 400 MHz fino a 4 GHz eliminando le riflessioni e isolando la risposta dell'antenna.

In questo contesto sono stati analizzati due aspetti fondamentali: linearità della risposta (indica la capacità dell'antenna di rispondere in modo proporzionale all'aumento del campo incidente a frequenza fissa) e influenza dell'angolo di incidenza (fattore cruciale, perché nella realtà il segnale non è quasi mai in piena polarizzazione con l'antenna).

Le antenne omnidirezionali hanno mostrato una buona linearità, a eccezione delle misure effettuate per livelli di campo inferiori a 3 V/m.

Le antenne triassiali, invece, hanno evidenziato criticità di linearità per campi inferiori a 3 V/m per frequenze al di sotto i 200 MHz, risultando più sensibili alle condizioni di misura.

Per quanto riguarda l'angolo di incidenza, in *figura 1* si riportano i risultati.

Le antenne triassiali hanno presentato una risposta stabile, con variazioni contenute entro ± 4 dB rispetto al campo generato, comportamento considerato coerente e prevedibile.

Le antenne omnidirezionali hanno invece mostrato una maggiore variabilità: in alcuni casi il campo misurato è risultato superiore a quello generato, suggerendo la presenza di effetti interni o risonanze responsabili di comportamenti anomali.

Confronto tra antenna triassiale e antenna omnidirezionale in campo

Il lavoro svolto dal laboratorio rappresenta la parte "a monte" del processo di misura: definisce le prestazioni degli strumenti, individua i parametri critici e fornisce un riferimento certo su cui poggiano le attività operative.

Al fine di valutare la risposta delle antenne in condizioni di utilizzo reale, in ambiente non controllato, è stata condotta una campagna sperimentale finalizzata a confrontare le prestazioni di due tipologie di antenne, comunemente utilizzate da Arpa Piemonte nelle misure di campo elettromagnetico:

- antenna triassiale (420 MHz - 6 GHz)
- antenna omnidirezionale (20 MHz - 6 GHz).

L'obiettivo è stato quello di approfondire la risposta delle antenne in funzione di alcune variabili ambientali riscontrabili in campo: il contesto urbano, l'intensità di campo e l'angolo di incidenza tra la sorgente e l'antenna.

Queste le tipologie di contesto analizzate:

- ambiente urbano (area con edificato, sorgenti multiple e possibile presenza di riflessioni)
- ambiente semi-urbano (zone aperte come aree sportive o giardini, con minore densità edilizia)
- ambiente aperto (presenza di un'unica sorgente dominante).

Le misure sono state eseguite su segnali a diversa frequenza (700, 800, 1.800, 2.100, 2.600, 3.700 MHz), utilizzando lo strumento Srm3006.

Ogni serie di misure è stata effettuata tramite l'acquisizione di *channel power* e analizzando i segnali di un unico operatore. Nella fase di analisi, si è lavorato sui valori di media di ogni set di dati. Le misure di confronto tra le due antenne, al fine di riprodurre uniformità del segnale, sono state effettuate in condizioni di forzatura di traffico, mediante *speed test*. Gli strumenti sono stati impostati in acquisizione automatica al fine di registrare più misure possibili nell'unità di tempo.

Il confronto tra le risposte delle antenne è stato valutato mediante la stima dell'indice di compatibilità che, tenendo conto dello scarto tra le misure rapportato all'incertezza a esse associata, permette di dare un'indicazione sintetica e immediata di tale compatibilità: se il valore dell'indice è inferiore a 1, allora le misure sono compatibili.

Si riportano in *tabella 1* alcuni risultati significativi, in particolar modo quelli relativi all'ambiente aperto, nel quale è stato possibile variare l'angolo di incidenza.

Ciò che si nota è che vi sono due parametri principali che danno luogo ai casi di non compatibilità: il valore di campo elettrico e l'angolo di incidenza tra la sorgente e il punto di misura. Risulta infatti che i casi non compatibili (evidenziati nella tabella) corrispondono o a condizioni con valori di campo minori di 0,5 V/m oppure a condizioni con angoli maggiori di circa 40°. La sperimentazione ha evidenziato che la risposta delle due antenne in condizioni di misura reali è indipendente dalla tipologia di ambiente e che negli scenari operativi più comuni la risposta risulta compatibile.

Conclusioni

Nel complesso, lo studio ha messo in evidenza che entrambe le tipologie di antenna possono essere utilizzate per il monitoraggio ambientale, viste le normali condizioni operative di misura (valori di campo elettrico maggiori di 0,5 V/m e angolo di incidenza inferiore a 40°).

I test di laboratorio hanno evidenziato che:
- le antenne triassiali risultano più stabili in diverse condizioni di orientamento del segnale o quando il campo è debole
- le antenne omnidirezionali possono introdurre una maggiore incertezza, in particolare per la loro sensibilità all'angolo di incidenza.

Queste informazioni sono fondamentali per una lettura consapevole dei dati raccolti sul territorio: conoscere punti di forza e limiti degli strumenti permette di evitare interpretazioni errate e di attribuire correttamente il contributo delle diverse sorgenti elettromagnetiche.

Federica Bogo, Chiara Pedroli, Pierre Blasotta, Alex Zanotto

Dipartimento Rischi fisici e tecnologici, Arpa Piemonte

UN SISTEMA INNOVATIVO IN ARPA PIEMONTE

ARMS (AUTOMATIC REMOTE MEASUREMENT SYSTEM) È UN PROGETTO DI SVILUPPO E SPERIMENTAZIONE DI UNA CENTRALINA DI MONITORAGGIO CEM PER IL MONITORAGGIO AUTOMATICO IN BANDA STRETTA DEI LIVELLI DI CAMPO ELETTROMAGNETICO PRODOTTI DAI SEGNALI DI TELECOMUNICAZIONI.

Il progetto Arms (*Automatic remote measurement system*) nasce con l'obiettivo di sviluppare una centralina autonoma per il monitoraggio in banda stretta dei segnali di telecomunicazioni, in accordo con la guida tecnica Cei 211-7. Le Agenzie ambientali devono infatti poter controllare nel tempo i livelli di campo elettromagnetico e, quando necessario, individuare il contributo delle singole sorgenti radio. Gli strumenti commerciali disponibili, pur essendo di alta gamma, non sempre si adattano alle esigenze operative di un monitoraggio continuo, distribuito sul territorio e a basso costo. Da qui la scelta di progettare una soluzione proprietaria, aperta e facilmente scalabile. Il cuore del sistema è un analizzatore di spettro remoto integrato con un *single-board computer* (Raspberry Pi) e alimentato da una batteria ricaricata tramite pannelli fotovoltaici. Attualmente la centralina utilizza un'antenna omnidirezionale, che consente di ricevere i segnali da tutte le direzioni, rendendo il sistema adatto ai posizionamenti tipici delle misure ambientali. Le misure vengono eseguite in modalità *channel power*, che fornisce la potenza misurata su un intervallo di frequenza corrispondente alla banda di uno specifico servizio (ad esempio LTE o 5G). Una caratteristica innovativa del progetto è l'integrazione dell'acquisizione di dati

I/Q. Questi sono campioni grezzi del segnale radio e permettono di analizzare la modulazione, identificare gli elementi di sincronizzazione e ricavare il Cell-Id. Finora tali informazioni erano ottenibili solo con strumenti dedicati; l'uso di software *open source* rende invece la soluzione più accessibile e flessibile. Al fine di validare il sistema di monitoraggio, sono state condotte prime sperimentazioni in campo. Una prima serie di prove ha confrontato l'antenna omnidirezionale con una classica antenna triassiale, utilizzata come riferimento per le misure in banda stretta. Successivamente è stato confrontato l'intero sistema con una catena strumentale commerciale. Le misure sono state effettuate in tre ambienti molto differenti (urbano, semi-urbano e aperto), variando anche l'angolo di incidenza rispetto alla sorgente per valutare la risposta in condizioni reali. Le analisi si sono basate sull'indice di compatibilità, che valuta se due misure sono coerenti considerando le rispettive incertezze.

I risultati indicano che la centralina fornisce misure compatibili con gli strumenti professionali, salvo alcune situazioni critiche: valori di campo molto bassi (inferiori a 0,5 V/m) o angoli di incidenza elevati (oltre 40°), condizioni comunque rare nei contesti di monitoraggio dove l'Agenzia sospetta superamenti dei limiti. A seguito dei primi risultati si è effettuato un monitoraggio di test per un periodo di più giorni, svolto in un'area urbana con livelli di campo elevati; in due giorni sono state registrate oltre 12.000 misure senza interruzioni. Oltre a validare l'affidabilità del sistema, questi dati serviranno per affinare gli algoritmi di post-analisi. Nel complesso, il prototipo si è dimostrato uno strumento efficace per il monitoraggio automatico in banda stretta e per l'identificazione delle sorgenti radio. I risultati hanno consentito di definire un protocollo d'uso e confermare



1

la possibilità di impiegare antenne omnidirezionali in modo coerente con le esigenze dell'Agenzia. I passaggi futuri comprendono la standardizzazione del sistema, la certificazione presso enti accreditati e lo sviluppo di software di analisi avanzata, con l'obiettivo finale di rendere Arms una piattaforma condivisa e diffusa a livello nazionale, capace di alimentare un archivio *open data* sul campo elettromagnetico.

Pierre Blasotta, Chiara Pedroli

Dipartimento Rischi fisici e tecnologici, Arpa Piemonte

1 Sistema di monitoraggio in banda stretta nella configurazione operativa.

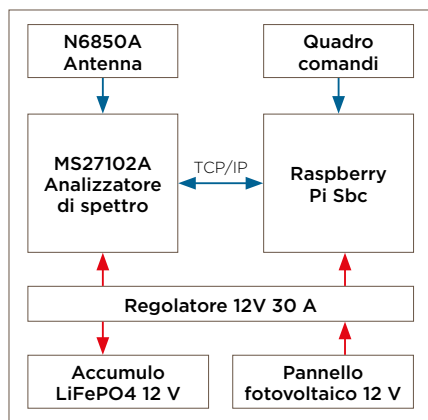


FIG. 1 SCHEMA A BLOCCHI DELLA CENTRALINA

5G BROADCAST, LA SPERIMENTAZIONE A ROMA

UNO STUDIO DI ARPA LAZIO HA PERMESSO DI CARATTERIZZARE IL SEGNALE TRASMESSO DALLA RAI NELL'AMBITO DELLE ATTIVITÀ DI TEST DEL 5G BROADCAST, UN SISTEMA CHE CONSENTE LA DIFFUSIONE MASSIVA DI CONTENUTI MULTIMEDIALI VERSO NUMEROSI UTENTI E CHE SI DISTINGUE PER L'EFFICIENZA ENERGETICA.

L'evoluzione delle reti mobili di quinta generazione (5G) sta introducendo nuovi modelli di utilizzo dello spettro radio, non solo per i servizi di comunicazione tradizionali, ma anche per la distribuzione massiva di contenuti multimediali e di informazioni di pubblica utilità. In questo scenario, la modalità di diffusione *one-to-many* riveste un ruolo strategico, in particolare per lo streaming di eventi di massa e per i sistemi di allerta e informazione alla popolazione.

Nelle reti cellulari tradizionali, la trasmissione di contenuti identici a un elevato numero di utenti avviene prevalentemente in modalità *unicast*, con un significativo impatto sulla capacità di rete e sui consumi energetici, soprattutto in contesti ad alta densità di traffico. Il 5G broadcast nasce per superare tali criticità, introducendo una modalità di trasmissione efficiente e dedicata, concettualmente più vicina alla radiodiffusione che alla comunicazione punto-punto tipica delle reti mobili. L'introduzione di questa tecnologia pone tuttavia nuove esigenze in termini di controllo, vigilanza e conoscenza del segnale, rendendo necessarie sperimentazioni mirate e metodologie di misura adeguate per valutare correttamente il contributo ai campi elettromagnetici e supportare le attività istituzionali delle Agenzie ambientali.

La tecnologia 5G broadcast

Il 5G broadcast è una tecnologia standardizzata dal 3Gpp per la distribuzione di contenuti in modalità broadcast e multicast all'interno dell'ecosistema delle reti mobili.

Deriva dall'evoluzione del servizio eMbms (*enhanced multimedia broadcast multicast service*) introdotto nel 4G e si propone come soluzione efficiente per la trasmissione simultanea di uno stesso flusso informativo a un numero elevato di dispositivi, senza che il carico di rete cresca con il numero di utenti serviti.

A differenza delle reti cellulari convenzionali, il 5G broadcast opera in modalità *one-to-many*, utilizzando risorse radio dedicate e consentendo una qualità del servizio indipendente dal numero di utenti presenti nell'area di copertura.

Una caratteristica distintiva è la possibilità di ricezione dei contenuti in modalità *receive only mode*, che non richiede l'uso di una Sim né l'accesso a un piano dati, rendendo la fruizione dei contenuti assimilabile a quella dei servizi televisivi *free-to-air*.

In Europa, il 5G broadcast è destinato a operare principalmente nella banda Uhf, storicamente utilizzata per la

televisione digitale terrestre. L'impiego di configurazioni a rete a frequenza singola (*single frequency network, Sfn*) consente inoltre di estendere l'area di copertura e migliorare l'efficienza spettrale. Queste caratteristiche rendono il 5G



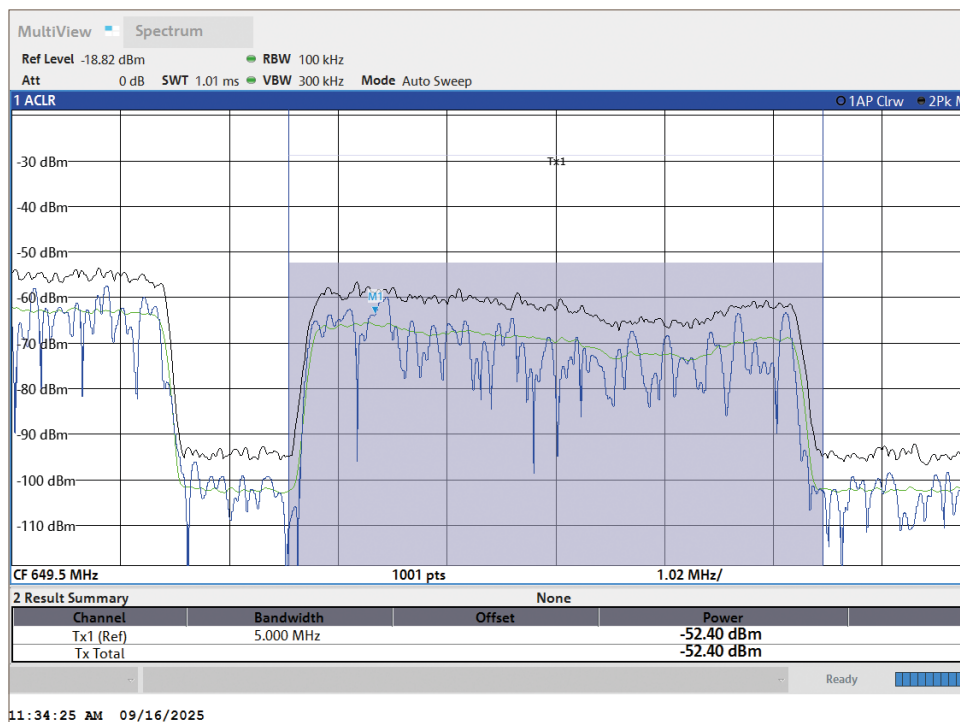
1



2

1 Luogo di misura della campagna di Arpa Lazio (traliccio Rai Monte Mario a Roma).

2 Strumentazione di misura.



Parametri	Valori impostati
Center frequency	649,5 MHz
Integration bandwidth	5 MHz
Rbw	100 kHz
Vbw	300 kHz
Sweep Time	1,01 ms
Trace/Detection	Clear write/Auto, Max Hold/ Peak, Average/Rms
Average N°	200

FIG. 1 ACQUISIZIONE IN CHANNEL POWER E IMPOSTAZIONI DI MISURA

broadcast profondamente diverso dalle reti mobili tradizionali anche dal punto di vista dell'analisi del segnale e della valutazione dell'esposizione elettromagnetica.

La campagna di misura a Roma

La campagna di misura è stata condotta nell'area metropolitana di Roma, in prossimità del sito trasmissivo di Monte Mario, uno dei principali poli radiotelevisivi della città e nodo centrale della sperimentazione sul 5G broadcast avviata dalla Rai. Le attività si sono concentrate sulla caratterizzazione di un segnale broadcast sperimentale basato sulla tecnologia 4G eMbms, irradiato in banda Uhf su frequenze dedicate.

Le misure sono state eseguite in condizioni di elevato rapporto segnale-rumore, condizione necessaria per distinguere con affidabilità le diverse componenti del segnale trasmesso, al fine di consentire una corretta analisi sia dei livelli di campo elettromagnetico sia delle caratteristiche tecniche del segnale oggetto di indagine. I punti di misura sono stati selezionati nell'intorno del sito trasmissivo, con l'obiettivo di valutare il contributo della trasmissione broadcast all'esposizione ambientale e di acquisire informazioni utili alla validazione dei modelli previsionali.

Le attività sono state svolte mediante l'impiego del laboratorio mobile

recentemente acquisito da Arpa Lazio nell'ambito di progetti ministeriali finanziati con fondi Pnrr (v. foto alla pagina precedente) e hanno integrato misure quantitative del campo elettrico con analisi avanzate del segnale, necessarie per interpretare correttamente una tecnologia che, pur operando in una banda di frequenza consolidata, presenta modalità di trasmissione profondamente diverse rispetto ai sistemi radiotelevisivi tradizionali.

Strumentazione e risultati

Per la corretta caratterizzazione del segnale 4G eMbms non è sufficiente una misura convenzionale di campo elettromagnetico, ma sono richieste analisi in grado di decodificare i parametri di rete, ricostruire la struttura del segnale e quantificare il contributo energetico radiato. Gli strumenti utilizzati sono stati gli analizzatori di spettro vettoriali Rohde & Schwarz Fsva 3044 e Keysight FieldFox N9960A, lo scanner vettoriale di rete Rohde & Schwarz Tsm6 e le antenne omnidirezionali Electrometrics Em6857 ed Em6856.

La decodifica dei messaggi del *master information block* (Mib) e dei *system information block* (Sib), ovvero dei messaggi di segnalazione che descrivono l'identità e le modalità operative della rete, ha confermato la natura sperimentale della rete di test. Il segnale utilizza un identificativo di rete non standard (Mcc

901/Mnc 56) che secondo le specifiche 3Gpp è associato a servizi erogati in modalità *receive only mode* (Rom).

Questo risultato è particolarmente rilevante, poiché conferma sperimentalmente che il segnale è configurato per la ricezione da parte di dispositivi mobili senza Sim né abbonamento attivo, riproponendo la logica *free-to-air* tipica della televisione tradizionale.

La decodifica delle Sib 2 e delle Sib 13 ha confermato che il segnale è irradiato in modo conforme alla Release 14 3Gpp. Si tratta di un segnale 4G all'interno della cui trama trasmissiva alcuni subframe indicati con l'acronimo Mbsfn (*multicast broadcast single frequency network*) sono dedicati ai servizi broadcast. Le misure dell'intensità di campo elettromagnetico sono state eseguite in modalità *channel power*, modalità particolarmente adatta a stimare il contributo energetico complessivo di una trasmissione a banda definita, con entrambi gli analizzatori di spettro in dotazione. Le misure non hanno evidenziato criticità ambientali, con valori molto contenuti in tutta l'area di indagine.

In figura 1 una delle schermate relative alle acquisizioni in *channel power* eseguite nell'intorno del traliccio Rai. Nella tabella riportata accanto al grafico sono indicate le impostazioni di misura utilizzate durante l'acquisizione. L'utilizzo degli analizzatori di spettro

vettoriali ha consentito inoltre l'analisi I/Q della *resource grid*. In figura 2 è mostrata la griglia tempo/frequenza del segnale 4G eMbms, rappresentazione che descrive come il segnale occupa nel tempo e nella frequenza le risorse radio disponibili, corrispondente a un radioframe composto da 10 subframe di durata 1 ms.

L'analisi ha evidenziato l'esclusione dei subframe di sincronizzazione #0 e #5 tra quelli utilizzabili per traffico Mbsfn, al fine di evitare collisioni, e l'utilizzo del prefisso ciclico esteso, soluzione tecnica necessaria per garantire la copertura uniforme nelle reti broadcast a frequenza singola.

Conclusioni e sviluppi futuri

La campagna di misura condotta presso il sito di Monte Mario ha permesso di caratterizzare con dettaglio il segnale sperimentale 4G eMbms trasmesso da Rai nell'ambito delle attività di test del 5G broadcast. L'integrazione tra misure di campo, analisi vettoriale e decodifica dei messaggi di sistema ha fornito una conferma oggettiva della configurazione Mbsfn in Sfn, dell'impiego del prefisso ciclico esteso e dell'abilitazione della modalità *receive only mode*, elementi che attestano la piena coerenza con le specifiche 3Gpp release 14.

Dal punto di vista dell'impatto ambientale, le misure di intensità di campo hanno evidenziato valori ampiamente inferiori ai limiti normativi, confermando che la trasmissione in modalità broadcast non introduce criticità ambientali, pur garantendo un'efficiente copertura radio.

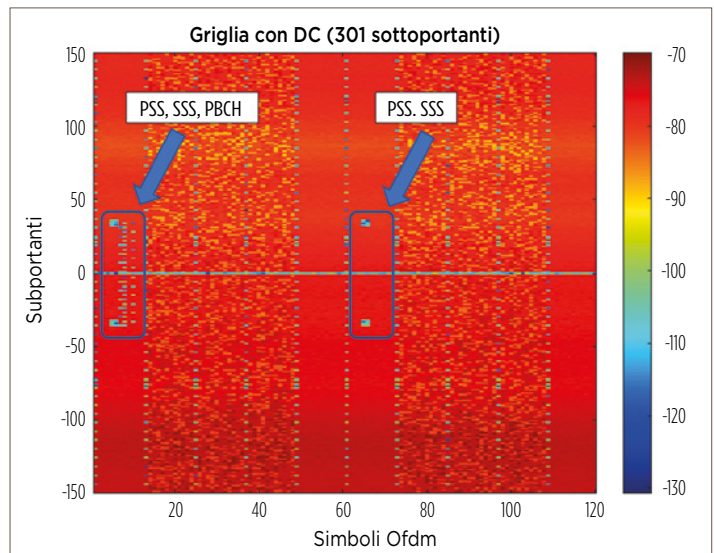
I risultati ottenuti costituiscono un riferimento utile sia per la comunità scientifica sia per le autorità di controllo, offrendo dati sperimentali per la validazione dei modelli previsionali e per la futura valutazione di impatto in scenari di diffusione commerciale. Tali attività contribuiscono a costruire un quadro tecnico-regolatorio più solido in vista del possibile *deployment* commerciale del 5G broadcast in Italia ed Europa a partire dal 2027, supportando la comunità radioprotezionistica e i broadcaster nello sviluppo di servizi innovativi *free-to-air*.

Settimio Pavoncello, Maila Strappini, Alessandro Di Nezza, Stefano Coltellacci, Enrico Grillo, Tommaso Aureli

Sezione provinciale di Roma, Arpa Lazio

FIG. 2
4G MBMS

Time/frequency grid
del segnale 4G Mbms.



RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Etsi TS 103 720 V1.1.1 (2020-12), *5G broadcast system for linear Tv and radio services: Lte-based 5G terrestrial broadcast system*.

3Gpp TR 36.976 V19.0.0 (2025-09), *3rd generation partnership project technical specification group radio access network overall description of Lte-based 5G broadcast (Release 19)*.

Rai Crits, *Elettronica e telecomunicazioni*, n. 1/2019 monografico dedicato al 5G.

David Gomez-Barquero, Jordi Joan Gimenez, Roland Beutler, 2020, *3Gpp Enhancements for Television Services: Lte-based 5G terrestrial broadcast*, January 2020.

LA CAMPAGNA DI MISURA SUL 5G IN BANDA MILLIMETRICA

LO STUDIO CONDOTTO A NAPOLI È FINALIZZATO A DEFINIRE PROTOCOLLI DI MISURA E STANDARD CONDIVISI PER LE ATTIVITÀ DI CONTROLLO. LA MISURA DELL'ESPOSIZIONE ELETTROMAGNETICA DEL 5G MMWAVE È STATA ESEGUITA CONFRONTANDO DIVERSE TECNICHE DI ESTRAPOLAZIONE IN SCENARI REALI, DI TRAFFICO E CONFIGURAZIONI.

L'impiego del 5G in banda millimetrica (mmWave) è attualmente ancora limitato e caratterizzato da una ridotta disponibilità di esperienze sperimentali, in particolare per quanto riguarda campagne di misura finalizzate alla valutazione dell'esposizione elettromagnetica. Si tratta infatti di una tecnologia innovativa, che presenta caratteristiche di propagazione e di utilizzo delle risorse radio profondamente diverse rispetto alle bande di frequenza tradizionalmente impiegate dalle reti mobili. In questo contesto risultano di particolare interesse studi sperimentali su larga scala condotti in scenari reali. Questo lavoro presenta i risultati di un'ampia campagna di misure condotta su segnali 5G in banda millimetrica presso il polo universitario di San Giovanni a Teduccio dell'Università degli studi di Napoli Federico II. Nell'ambito delle attività della 5G Academy è stato costituito un articolato gruppo di lavoro, comprendente Ispra, Arpa Lazio, Arpa Piemonte e l'Università stessa, con l'obiettivo di definire standard condivisi per le procedure di misura e di estrapolazione applicabili ai segnali 5G. I risultati ottenuti sono di particolare rilievo, poiché hanno beneficiato di un proficuo e continuo interscambio con il gestore di rete (Fastweb) e con il vendor tecnologico (Huawei), condizione che ha permesso di operare su una rete reale e di testare le procedure di misura in condizioni operative controllate e riproducibili, conducendo alla definizione di protocolli di misura condivisi da tutti gli attori coinvolti.

La campagna di misura

La campagna di misura è stata realizzata presso il campus universitario di San Giovanni a Teduccio dell'Università degli studi di Napoli Federico II. Le attività sperimentali sono state condotte sotto differenti condizioni di carico

di traffico, definite in base a specifici scenari operativi, al fine di analizzare il comportamento del segnale in situazioni rappresentative di diversi livelli di utilizzo della rete. La possibilità di impiegare simultaneamente più terminali durante le sessioni di misura ha permesso di riprodurre configurazioni multi-fascio, risultate particolarmente efficaci per valutare l'affidabilità delle procedure di misura in scenari rappresentativi di un utilizzo reale della rete. La *figura 1* mostra una rappresentazione schematica del sito di misura, dalla quale è possibile identificare le posizioni dell'impianto 5G (Point S), della catena di misura (Point A) e di un secondo utente connesso alla rete, collocato a distanza dal punto A (Point B). Questa configurazione ha consentito di analizzare l'impatto della generazione simultanea di fasci radio su più utenti. Nel corso della campagna di misura sono state analizzate e messe a confronto tre differenti modalità di estrapolazione del campo elettromagnetico, applicate nei vari scenari operativi considerati. Tali modalità, descritte in modo esaustivo nel

documento *Linee guida per la misura dei campi elettromagnetici generati da sistemi di telecomunicazione in tecnologia 5G¹*, al quale si rimanda per una trattazione approfondita, sono la *zero-span (Zs)*, la *vector channel power (Vcp)* e la *Pdscb power (Pp)*. Il confronto tra queste metodologie rappresenta un elemento centrale ai fini delle attività di controllo ambientale.

Risultati

La catena strumentale utilizzata per le misure ha visto l'utilizzo di un analizzatore di spettro vettoriale Rohde & Schwarz Fsva 3044 collegato a un'antenna Horn double-ridged compower modello Ah-840, configurazione idonea a operare alle frequenze millimetriche e a garantire un'adeguata direttività di ricezione. Sono stati definiti differenti scenari di misura sfruttando la logistica mostrata in *figura 1*:
- scenario A: modalità *idle*, assenza di forzatura. L'assenza di traffico dati consente di concentrarsi sulla struttura e

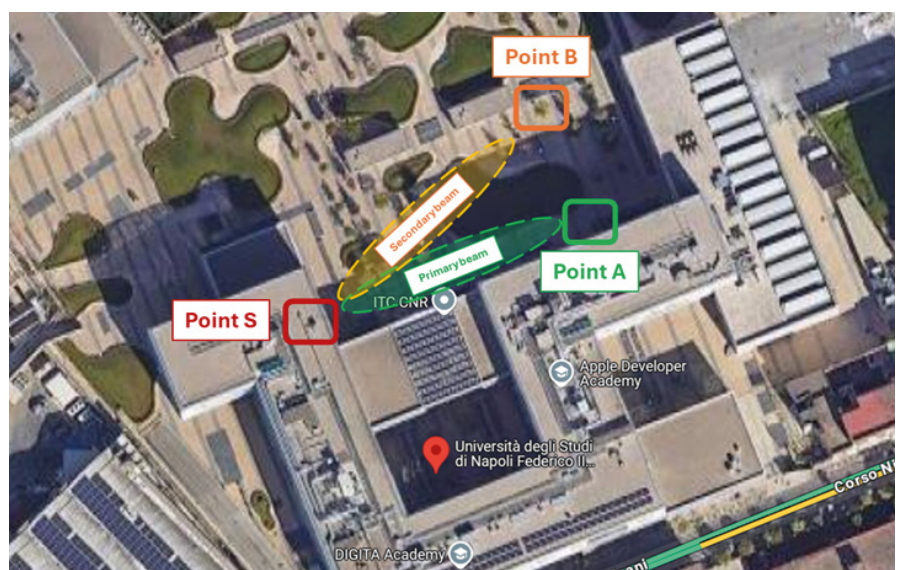


FIG. 1 SITO DI MISURA
Mappa satellitare del sito utilizzato per la campagna di misura

sulla modalità di trasmissione dei canali di controllo

- scenario B: forzatura *Mac padding* con un unico terminale in A questo scenario rappresenta il riferimento della condizione di massima esposizione
- scenario C: forzatura *Mac padding* con due terminali in A e in B lo scenario C consente di investigare l'eventuale impatto che la generazione di fasci di traffico multipli può avere in termini di valutazione della massima esposizione
- scenario D: forzatura Udp con due terminali in A e in B questo scenario è simile al precedente, con la differenza che la tecnica di forzatura del traffico utilizza il protocollo Udp che è lo standard di riferimento menzionato all'interno della normativa tecnica;
- scenario E (forzatura *speed test* con due terminali in A e in B): scenario del tutto analogo ai precedenti, in cui viene ulteriormente rilassata la condizione di forzatura di traffico affidata a un comune *speed test* commerciale.

La figura 2 mostra la rappresentazione della potenza ricevuta per *Resource element* per diversi frame ricostruiti a partire dai file Iq acquisiti in diversi scenari.

I risultati delle diverse procedure di estrapolazione sono stati confrontati con il valore di riferimento che è stato identificato con la misura Chp del segnale nello scenario B. I risultati sono condensati nel grafico in figura 3, che riporta il valore di P_{max} ottenuto dalle diverse metodologie per gli scenari considerati. La banda verde rappresenta il valore di riferimento del Chp misurato per lo scenario B al quale i risultati dell'applicazione delle diverse metodologie devono tendere.

La figura 3 evidenzia che la metodologia *Pdsch power* (P_p) garantisce dei risultati attendibili anche in condizioni estremamente differenti dallo scenario ideale, confermando la sua idoneità come metodologia di riferimento per la valutazione della massima esposizione nei sistemi 5G mmWave.

Conclusioni e futuri sviluppi

Le attività sperimentali presentate in questo lavoro confermano la rilevanza delle campagne di misura sui segnali 5G in banda millimetrica, un ambito che allo stato attuale risulta ancora caratterizzato da un numero limitato di studi e di evidenze sperimentali all'interno della comunità scientifica. In tale contesto, la disponibilità di misure condotte

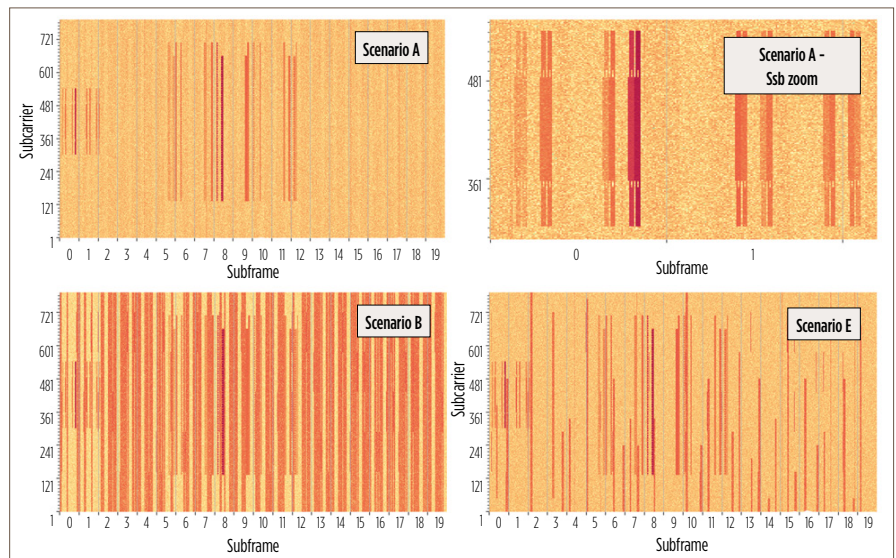


FIG. 2 SCENARI

Potenza ricevuta per resource element, per frame ricostruiti in diversi scenari di misura.

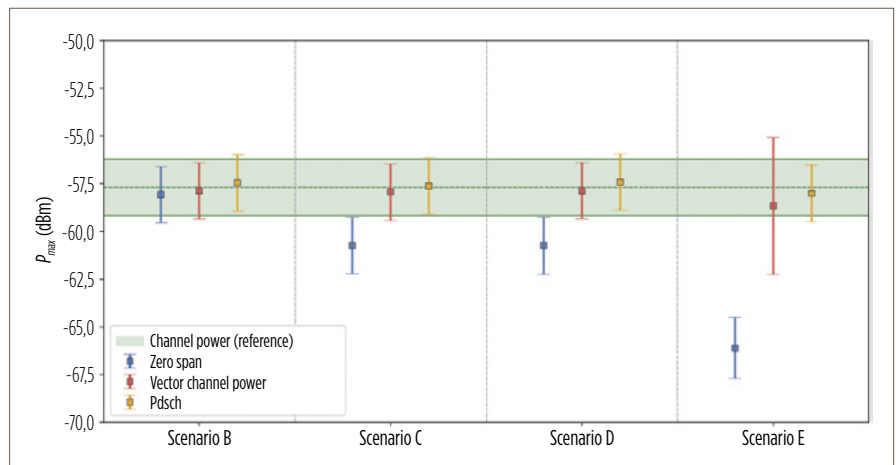


FIG. 3 CONFRONTO METODOLOGIE

Prestazioni delle diverse metodologie di estrapolazione

in scenari reali di rete rappresenta un contributo significativo sia per la validazione delle procedure di misura esistenti sia per il supporto allo sviluppo di future raccomandazioni tecniche e normative.

Un ulteriore elemento di rilievo è costituito dal confronto sistematico tra differenti metodologie di estrapolazione del campo elettromagnetico, applicate in condizioni operative eterogenee, caratterizzate da diverse tecniche e protocolli di forzatura del traffico. L'analisi comparativa ha evidenziato un complessivo e soddisfacente grado di accordo tra i risultati ottenuti, in particolare nelle configurazioni più rappresentative delle condizioni di utilizzo reale della rete, rafforzando l'affidabilità delle procedure di misura proposte per le attività di controllo ambientale.

Per quanto riguarda gli sviluppi futuri, saranno necessari studi ulteriori per

investigare in maniera sistematica gli effetti delle trasmissioni in modalità *multi-user MIMO* sulle procedure di misura e di estrapolazione, con riferimento alla generazione simultanea di fasci multipli e alle conseguenti implicazioni in termini di affidabilità e rappresentatività delle tecniche di valutazione dell'esposizione.

Settimio Pavoncello¹, Daniele Franci², Sara Adda³, Nicola Pasquino⁴, Maila Strappini¹, Stefano Coltellacci¹, Alessandro Di Nezza¹, Tommaso Aureli¹

1. Sezione provinciale di Roma, Arpa Lazio
2. Ispra
3. Arpa Piemonte
4. Università Federico II di Napoli

NOTE

¹ Linee guida Snpa 54-2025 "Linee guida per la misura dei campi elettromagnetici generati da sistemi di telecomunicazione in tecnologia 5G", www.snpambiente.it.

IL FUTURO CORRE SULLE ONDE: LA FORMAZIONE IN ARPAE

LA FORMAZIONE CONTINUA RAPPRESENTA IL PILASTRO FONDAMENTALE PER GARANTIRE L'ECCELLENZA TECNICA E LA TUTELA AMBIENTALE. ARPAE EMILIA-ROMAGNA HA ORGANIZZATO UN PERCORSO DI FORMAZIONE E AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE, CHE HA VISTO LA PARTECIPAZIONE ATTIVA DI TECNICI DELLE VARIE AREE TERRITORIALI.

In un panorama tecnologico in costante evoluzione, la formazione continua rappresenta il pilastro fondamentale per garantire l'eccellenza tecnica e la tutela ambientale. Con questo spirito, Arpa Emilia-Romagna ha organizzato tra il 2024 e il 2025 un importante percorso di formazione e aggiornamento professionale dedicato alle misure dei campi elettromagnetici generati dalle reti in tecnologia 4G avanzato e 5G, che ha visto la partecipazione attiva di tecnici delle varie aree territoriali.

Il percorso di formazione teorico-pratica è iniziato nel 2024 con due giornate di approfondimento sull'uso dell'analizzatore di spettro vettoriale (strumento sofisticato e performante, atto a misurare i segnali complessi come il 5G) e dello scanner di rete vettoriale (utilizzato per decodificare i segnali di ultima generazione), strumenti di recente acquisizione da parte del Centro tematico regionale agenti fisici dell'Agenzia: entrambi gli eventi hanno visto la partecipazione di più di una ventina di operatori di Arpa che si occupano di

misure Cem nei vari territori provinciali e hanno incluso dimostrazioni pratiche con le apparecchiature citate. Come formatori sono intervenuti l'allora responsabile del Centro tematico regionale sugli agenti fisici Laura Gaidolfi e la tecnica Barbara Notari dell'Area prevenzione ambientale (Apa) Centro di Arpa, due operatori di Ispra e Arpa Lazio (Daniele Franci e Settimio Pavoncello), nonché esperti rappresentanti delle case costruttrici degli strumenti in esame.

A seguito di alcune misure sperimentali effettuate da un gruppo ristretto di operatori di Apa Centro e Apa Ovest, nel corso del 2025 è stato organizzato, con il supporto del Centro tematico, un gruppo di miglioramento con l'obiettivo di condividere l'esperienza maturata con gli altri tecnici dell'Agenzia che si occupano di misure di campi elettromagnetici. La formazione è stata distribuita in tre distinte giornate. Non si è trattato solo di un momento di apprendimento frontale, ma di un vero e proprio laboratorio di scambio; è stata inoltre un'occasione per condividere conoscenze tecniche

e confrontarsi sulle criticità territoriali con l'obiettivo di applicare in modo omogeneo le linee guida Snpa pubblicate a marzo 2025 (*Linee guida per la misura dei campi elettromagnetici generati da sistemi di telecomunicazione a tecnologia 5G*) e di acquisire le competenze necessarie per una accurata misura del segnale 5G, al fine di assicurare che ogni intervento dell'Agenzia rispetti i più elevati standard di precisione e affidabilità.

Proprio questa nuova tecnologia, con le sue architetture a "fascio dinamico" (*beamforming*), introduce sfide radicalmente diverse rispetto alle tecnologie precedenti (3G e 4G). Mentre nei sistemi precedenti il segnale veniva trasmesso con diagrammi di irradiazione di forma costante, il 5G direziona l'energia in particolare dove e quando è richiesto dagli utilizzatori. Questa evoluzione tecnologica impone una revisione radicale degli approcci alle metodologie di misura e diventa sempre più importante comprendere la dinamica temporale e spaziale del segnale.





L'innovazione nelle metodologie di misura

Durante il lavoro del gruppo di miglioramento, il confronto tra gli operatori delle diverse sedi è avvenuto attraverso casi studio specifici: a una prima seduta prettamente teorica ha fatto seguito una seconda giornata sul campo, con indagini in un sito reale di telefonia, che ha interessato principalmente una stazione radio base posta nelle vicinanze della sede Arpae di Bologna. Durante le sessioni pratiche, i tecnici sono stati suddivisi in 4 gruppi che, a rotazione, si sono esercitati con altrettante catene di misura a banda

stretta, tra cui tre analizzatori di spettro portatili in dotazione ad Arpae da diversi anni mentre, presso una quarta postazione, essi hanno approfondito l'uso dell'analizzatore di spettro vettoriale recentemente acquistato. I due punti centrali del percorso formativo sono stati lo studio delle tecniche di estrapolazione del segnale e la complessa fase di elaborazione dei dati raccolti con i diversi strumenti di misura. Poiché il traffico dati emesso da un sistema 5G varia continuamente, è importante che i tecnici siano in grado di determinare i livelli massimi di esposizione reale al segnale 5G, al fine di verificare il rispetto dei limiti di legge. La condivisione delle esperienze maturate sul campo dalle



diverse sedi ha permesso di affinare gli algoritmi di calcolo e di ridurre i margini di incertezza nelle rilevazioni.

Verso una rete diffusa di competenze

“La forza dell’Agenzia risiede nella capillarità del suo personale”, è stato sottolineato durante la chiusura dei lavori nella terza e ultima giornata, in cui sono stati confrontati i risultati ottenuti tramite le diverse elaborazioni. “Creare una rete di operatori che parlano lo stesso linguaggio tecnico in tutte le sedi di Arpae è l’unica strada per governare l’innovazione tecnologica senza subirla”. Infine si evidenzia come tale esperienza, oltre a essere un momento di condivisione che ha permesso di affinare e uniformare l’efficacia dei controlli strumentali, è servita anche come preparazione all’interconfronto nazionale di Roma, dove Arpae ha partecipato con ben 3 squadre ottenendo ottimi risultati. L’integrazione delle informazioni tra le sedi ha inoltre permesso di mettere le basi per un’eventuale creazione di un protocollo di misura che si pone l’obiettivo di uniformare e migliorare l’efficacia dei controlli strumentali, in conformità con le più aggiornate normative tecniche nazionali e internazionali.

Prospettive

Il percorso di formazione sul 5G non si esaurisce con queste iniziative di formazione; anzi, queste devono intendersi come un punto di partenza per rendere sempre più omogenee le procedure. A tal fine, al termine di questo percorso formativo, è stata attivata una piattaforma permanente di confronto online, in cui i tecnici possono continuare a scambiarsi dati e quesiti tecnici in tempo reale.

In un’epoca in cui la connettività è diventata un bene primario, l’impegno di Arpae rimane quello di monitorare lo sviluppo delle infrastrutture con rigore scientifico. Grazie a questa iniziativa, l’Agenzia si conferma pronta a rispondere alle sfide della transizione digitale con competenza, trasparenza e un’organizzazione sempre più coesa.

Daniele Bontempelli, Barbara Notari

Unità specialistica campi elettromagnetici, Arpae Emilia-Romagna

LA VALUTAZIONE DELLA MASSIMA ESPOSIZIONE

ARPAE EMILIA-ROMAGNA NEGLI ULTIMI ANNI HA PRODOTTO ALCUNI CONTRIBUTI TECNICI SULLA VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE AI CAMPI ELETTROMAGNETICI IN UN DETERMINATO PUNTO O SITO DOPO L'INTRODUZIONE DEL 5G. LA SPERIMENTAZIONE HA EVIDENZIATO PROBLEMATICHE E ASPETTI DA CONSIDERARE PER UNA CORRETTA MISURAZIONE.

L'evoluzione delle reti di telecomunicazione verso lo standard 5G New Radio ha imposto un cambio di approccio nella sorveglianza dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici: l'adozione di antenne attive *massive MIMO* e la tecnologia del *beamforming* hanno introdotto una variabilità spaziale e temporale del segnale che ha reso insufficienti le tecniche di misura utilizzate per le generazioni precedenti (2G-3G-4G). La sfida attuale per gli organi di controllo, amplificata dal recente innalzamento dei limiti di esposizione italiani a 15 V/m, risiede nella capacità di valutare non solo il livello di campo elettrico presente al momento della misura, ma soprattutto il livello massimo raggiungibile in condizioni di saturazione del traffico. Attraverso l'analisi di cinque contributi tecnici prodotti da Arpae, di cui uno risalente agli albori del 5G nel 2021 e gli altri più recenti (2024-2025), è possibile tracciare un percorso metodologico che parte dalla verifica della costanza dell'intensità dei canali di controllo Ssb (*Synchronization signal block*) in diverse condizioni di traffico [1], alla sperimentazione sul campo delle formule normative (Iec 62232 [2]) e di altre metodologie individuate nella linea guida Snpa [3], per arrivare alla decostruzione microscopica del segnale e alla gestione delle incertezze nei casi critici di "bordo cella", al fine di valutare la massima esposizione ai campi elettromagnetici in un determinato punto o sito.

La cornice normativa e la sfida dell'estrapolazione

A differenza dei segnali di controllo (emessi a potenza costante, come fasci che "spazzolano" il settore servito), i segnali di traffico 5G sono trasmessi solo su richiesta di servizio da parte



1



2

dell'apparecchio dell'utente e direzionati specificamente verso di esso. Per stimare la massima esposizione possibile ($E_{5G,max}$), la normativa tecnica internazionale (Iec 62232) ricalca la

- 1 Sito di Modena, collocazione delle sonde, con analizzatori portatili.
- 2 Analizzatore vettoriale.

procedura logica dell'estrapolazione dei sistemi pre-5G, stabilendo di misurare il campo elettrico associato al segnale di controllo Ssb ($E_{broadcast}$) e di moltiplicarlo per specifici fattori di scala che tengono conto della larghezza di banda totale e del guadagno dell'antenna.

La formula ufficializzata nella normativa internazionale è la seguente:

$$E_{5G,max} = E_{broadcast} \times \sqrt{F_{BW}} \times \sqrt{F_{PR}} \times \sqrt{F_{TDC}} \times \sqrt{BF^{-1}} \times \sqrt{F_{extbeam}}$$

dove $F_{extBeam}$ è dato dal rapporto tra il guadagno del fascio di traffico e quello dello fascio di controllo (Ssb) più in direzione del punto di misura e rappresenta l'effetto del *beamforming* nel punto di misura.

La determinazione sperimentale di questo fattore è uno degli obiettivi (e delle criticità riscontrate) nelle indagini condotte, mentre gli altri fattori derivano da caratteristiche intrinseche del segnale 5G e della modalità di trasmissione Tdd (*time division duplex*).

Il contesto operativo: indagine in un sito reale e complesso

Una prima indagine dell'Agenzia dell'Emilia-Romagna [4] si è concentrata su un sito complesso a Modena, caratterizzato dalla presenza di tutti i gestori e di tutte le tecnologie (dal vecchio Gsm al moderno 5G a 3.700 MHz), indagato inizialmente nel 2022 con strumentazione a banda larga e analizzatori di spettro scalari, poi riesaminato nel 2024 con strumentazione vettoriale.

Nel 2022, sebbene fosse possibile misurare il livello complessivo di campo, l'estrapolazione del segnale 5G alla massima potenza era impedita dalla mancanza di strumentazione capace di analizzare la struttura vettoriale del segnale. I livelli misurati ed estrapolati alla massima potenza, applicando per i sistemi pre-5G le procedure indicate nell'Allegato E della Norma Cei 211-7 [5], indicavano valori prossimi all'allora vigente valore di attenzione di 6 V/m, rendendo il sito critico anche in assenza dell'estrapolazione del segnale 5G (*tabella 1*).

Nel 2024 ritornare sul sito con la strumentazione vettoriale ha permesso non solo di fare un confronto con i nuovi limiti (valore di attenzione innalzato a 15 V/m e limiti assentibili [6] relativi ai singoli gestori telefonici), ma anche di testare nuove metodologie di estrapolazione.

È emerso che, nonostante l'aumento dei limiti permetta teoricamente potenze maggiori, i valori misurati ed estrapolati sono rimasti contenuti, inferiori alle stime preventive cautelative. Questo studio ha confermato un effetto già visto negli anni di esperienza di Arpa e cioè che i modelli teorici tendono a sovrastimare l'esposizione reale, seppur valutata con le tecniche di estrapolazione alla massima potenza.

Questa conclusione è vera in particolare considerando l'insieme delle tecnologie in gioco, mentre per quanto riguarda il segnale 5G, l'estrapolazione alla massima potenza porta a risultati abbastanza simili al contributo stimato, seppur evidenzi una certa difficoltà a individuare i segnali di controllo corretti da prendere come riferimento, come è stato approfondito nelle esperienze successive (*figura 1*).

Anno	Metodo (tipologia analizzatore)	$E_{RE, Ssb0}^{broadcast}$ (V/m)	$F_{extBeam}$	n. sottoportanti	Alfa24	$E_{estrapolato}$ (V/m)	$E_{stimato}$ (V/m)
2022	portatile	0,019	17,9	1.944	0,31	2,0	1,9
2024	portatile	0,020	17,9			2,1	
2024	vettoriale	0,016	18,9			1,7	

TAB. 1 CAMPO ELETTRICO
Valori di campo elettrico 5G estrapolato.

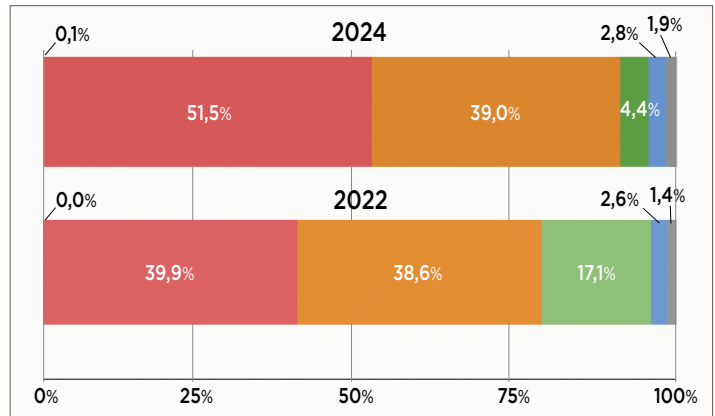


FIG. 1 CAMPO ELETTRICO

Valore di campo elettrico estrapolato alla massima potenza per ciascun sistema e gestore.

- Radio
 - Tv
 - Tim
 - WindTre
 - Vodafone
 - Iliad
 - Altro
- 2022
■ 2024

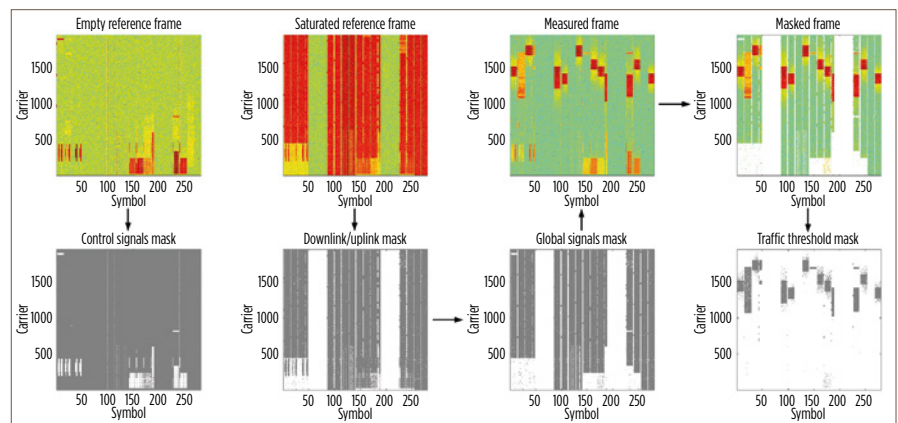
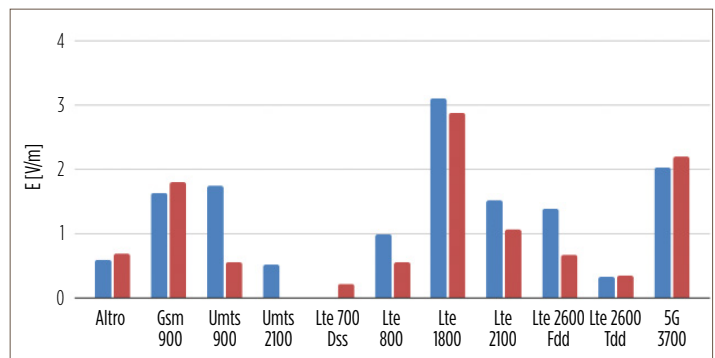


FIG. 2 ELABORAZIONE POTENZA
Procedura di elaborazione della potenza ricevuta per Re con script di Gnu octave.

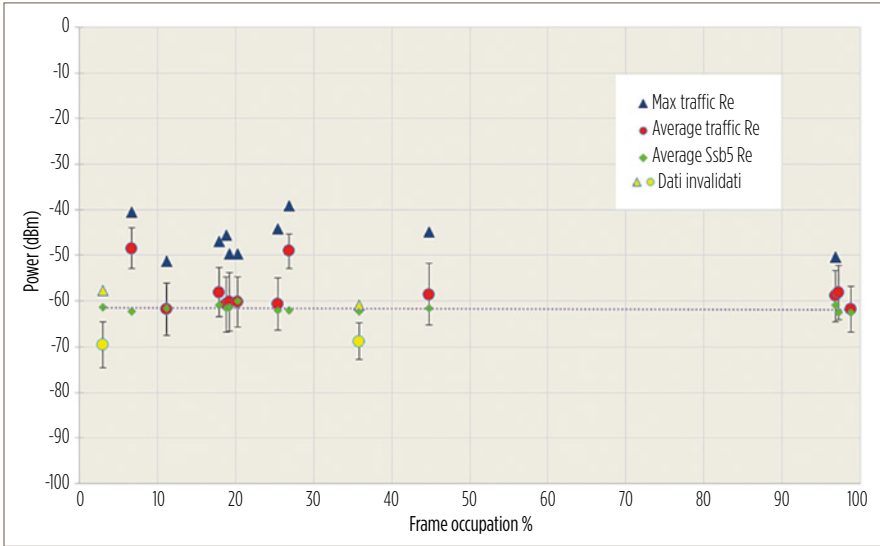


FIG. 3 POTENZA/SATURAZIONE
Parametri statistici dei valori di potenza dei Re in funzione della percentuale di occupazione della trama.

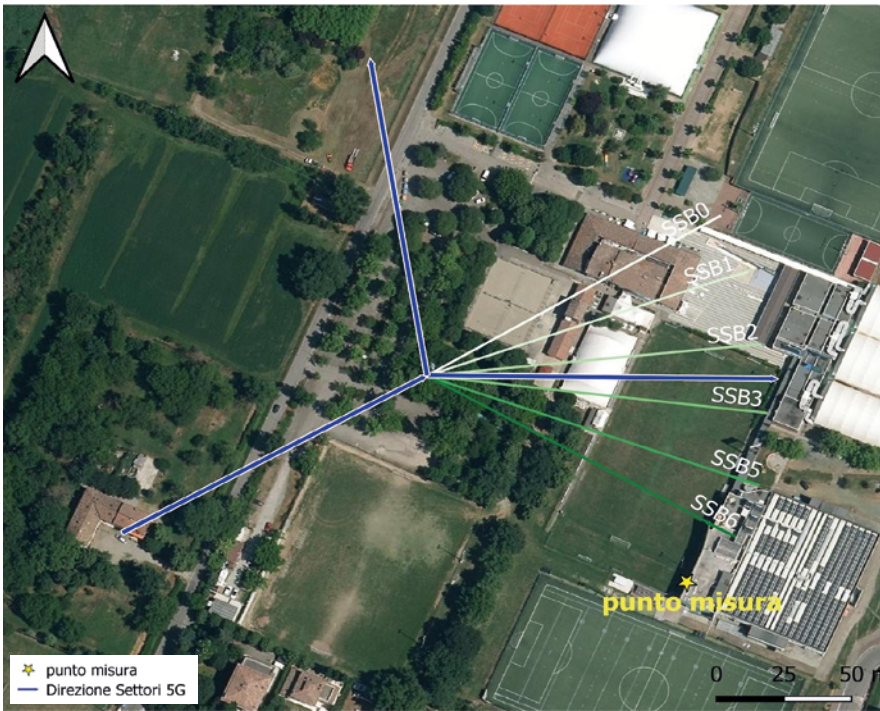


FIG. 4 DIREZIONI DI PUNTAMENTO
Sito di Modena: direzioni di puntamento delle antenne 5G e degli Ssb della cella 1.

L'analisi microscopica: potenza correlata al traffico

Per colmare il divario tra valore previsto e misurato, è necessario comprendere la struttura del segnale 5G a livello di *resource elements* (Re), ovvero i “mattoni” elementari che compongono la trama del segnale. Qui si inserisce lo studio condotto a Reggio Emilia [7]: in un normale contesto urbano sono state usate diverse tecniche di forzatura del traffico tramite l’uso di smartphone commerciali, eseguendo *speed test* o scaricando file di grandi dimensioni, con l’ipotesi da verificare che la potenza media assegnata agli Re di traffico fosse costante indipendentemente dal carico della cella. È stata quindi analizzata la distribuzione di potenza dei Re acquisiti dall’analizzatore vettoriale durante la forzatura, processando i dati tramite algoritmi sviluppati *ad hoc* (con Gnu octave) con la finalità di distinguere le potenze ricevute sugli Re di controllo da quelle sugli Re di traffico e di analizzarle (figura 2).

I risultati dello studio hanno dimostrato che la distribuzione del valore medio della potenza associata ai Re di traffico non è costante e nemmeno risulta correlata in modo semplice alla quantità di traffico richiamato: infatti si è osservato che in condizioni di scarso traffico tale valor medio risulta anche di 10 dB più elevato di quello dei canali di controllo; tale differenza risulta maggiore di quella che si registra in condizioni di saturazione della cella 5G. L’implicazione per l’extrapolazione è critica: assumere un rapporto fisso tra la potenza associata ai canali di traffico e quella associata ai canali di controllo, basato su misure a basso traffico, potrebbe portare a sovrastimare l’esposizione, mentre misure in momenti di massimo traffico potrebbero non

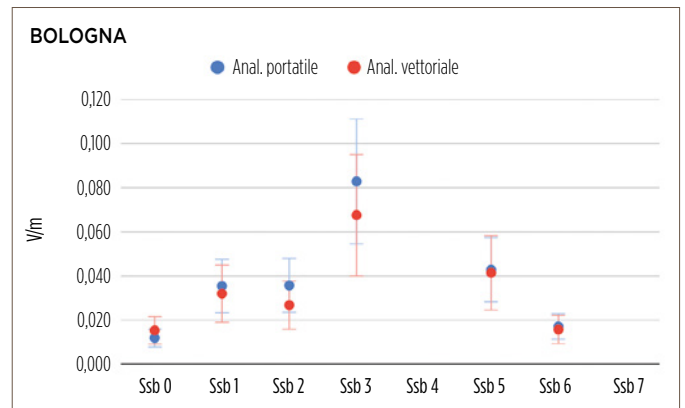
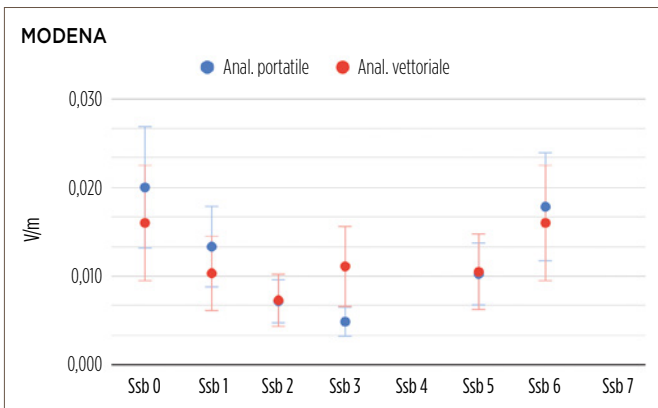


FIG. 5 BORDO CELLA
Campo elettrico per Re degli Ssb a “bordo cella” (Modena) e a “centro cella” (Bologna)



catturare i picchi di potenza istantanei dei singoli Re.
Le ragioni del comportamento osservato non sono chiare (*boosting* dinamico dei Re dovuto a interferenze sulle altre celle? variazione degli schemi di modulazione?) ma pongono l'accento sulla necessità di definire un protocollo di misura che individui univocamente il valore di campo del Re associato alla massima esposizione (*figura 3*).

La sfida del “bordo cella”: quando la geometria complica la misura

Riesaminando il sito di Modena [8] con la consapevolezza acquisita sull'analisi vettoriale, ci si è focalizzati sulle condizioni di misura non ideali: nella realtà, infatti, i punti di misura sensibili (come una terrazza o un'abitazione) raramente si trovano esattamente nella

direzione di massima irradiazione dell'antenna (*figura 4*).
Nel caso in esame, il punto di misura si trovava al bordo della cella servita da un'antenna 5G: l'analisi spettrale con decodifica dei canali di controllo ha rivelato che il fascio di controllo con direzione di puntamento più prossima al punto stesso (Ssb6) risultava ricevuto con meno potenza rispetto al lobo secondario del diagramma di irradiazione di un altro fascio di controllo (Ssb0). La difficoltà nell'individuare il fascio di controllo dominante per il punto di misura rende problematica l'applicazione della formula standard Iec.
In questo contesto, sono state confrontate cinque diverse metodologie di estrapolazione del contributo del segnale 5G, ottenendo risultati con elevata dispersione (da 0,13 V/m a 1,35 V/m) a fronte di un valore teorico atteso di 1,9 V/m (*figura 5*).

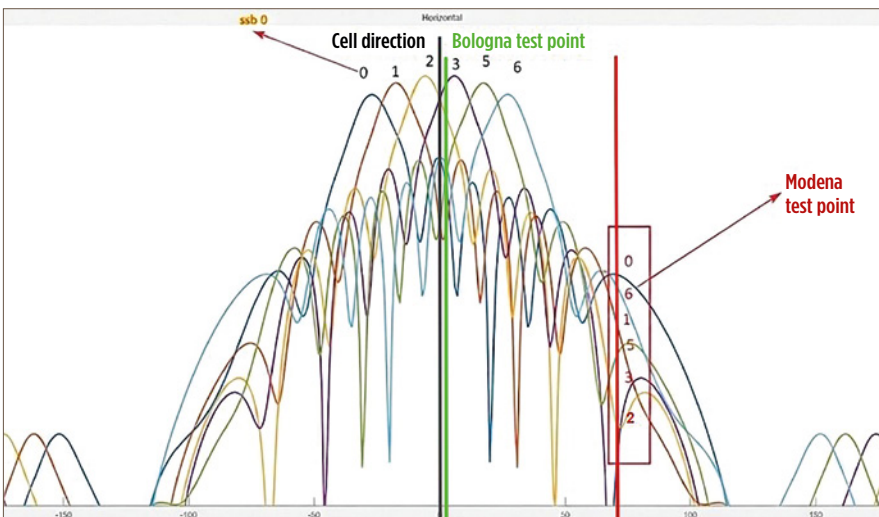


FIG. 6 IRRADIAZIONE
Diagrammi elementari di canali di controllo Ssb e azimut dei punti di misura.

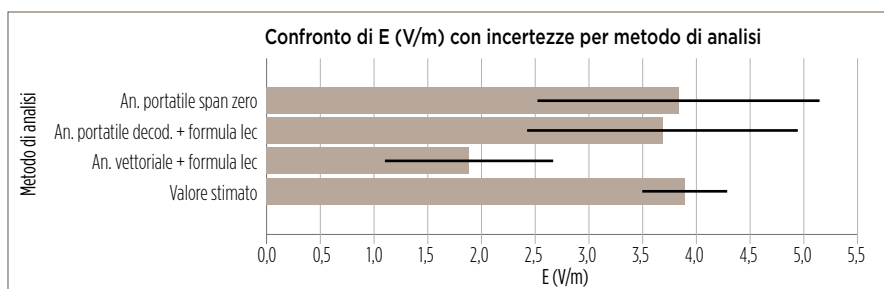


FIG. 7 CONFRONTO METODI DI ANALISI
Confronto tra valore di campo elettrico estrapolato e stimato.

La confusione nella gerarchia degli Ssb

Il cerchio si chiude con il lavoro presentato al Congresso Airp 2025 [9], che rappresenta la sintesi critica e l'evoluzione delle esperienze precedenti. In questo caso, il sito scelto (terrazza della sede Arpa di Bologna) si trovava quasi al centro della cella nella direzione di puntamento dell'antenna 5G, in condizioni di visibilità ottica. Si trattava dello scenario ideale per testare la formula Iec, considerando peraltro che il segnale 5G era trasmesso da un'antenna della stessa marca e modello dell'esperienza di Modena. Anche in questo scenario geometricamente semplice, la sequenza

di intensità degli Ssb misurata è risultata disattesa. Ci si aspettava una decrescenza ordinata basata sulla distanza angolare, invece i lobi secondari hanno nuovamente alterato la gerarchia dei segnali ricevuti (figura 6). Questo conferma che i diagrammi di irradiazione elementari degli Ssb possono essere complessi e che l'identificazione del "fascio dominante" richiesta dalla norma Iec è un punto di debolezza sistemico, non un'eccezione del "bordo cella". È emerso inoltre un problema di polarizzazione: i segnali di controllo e di traffico, pur trasmessi con la stessa polarizzazione ($\pm 45^\circ$), venivano ricevuti con intensità diverse sui piani orizzontale e verticale probabilmente a causa delle riflessioni urbane, complicando ulteriormente la stima del rapporto F_{extBeam} con strumentazione non isotropica istantanea.

L'efficacia della misura a span zero

Il dato più rilevante del lavoro del 2025 è il confronto tra i risultati delle diverse metodologie di misure e l'estrapolazione rispetto al valore teorico preventivo (3,9 V/m). Attraverso il Metodo Iec (con F_{extBeam} sperimentale), i risultati ottenuti risultano variabili e dipendenti dalla catena strumentale, con un ottimo accordo usando l'analizzatore portatile (3,7 V/m) ma una ampia sottostima usando l'analizzatore vettoriale (1,9 V/m) a causa della difficoltà nel catturare il picco simultaneo su tutti gli assi. La misura a span zero (metodologia formulata nella linea guida Snpa), che prevede la misura della potenza nel dominio del tempo durante la forzatura del traffico, ha fornito un risultato di 3,85 V/m, praticamente identico al valore previsto di 3,9 V/m (figura 7).

Sintesi critica e prospettive

L'insieme delle esperienze fatte negli ultimi anni da Arpae permette di formulare alcune conclusioni utili per il lavoro dei prossimi anni:

- limiti della formula Iec: l'applicazione della formula Iec 62232 (basata sugli Ssb) è di difficile applicazione in campo. La dipendenza dai lobi secondari degli Ssb e la variabilità del parametro F_{extBeam} rendono il metodo intrinsecamente instabile
- efficacia dell'approccio delle linee guida Snpa: le linee guida Snpa, recepite nel

lavoro del 2025, introducono metodologie alternative. La tecnica a span zero con forzatura del traffico (vedasi formula 2 in [9]) si è infatti dimostrata la più robusta e ripetibile, superando la necessità di decodificare la complessa gerarchia dei fasci e misurando direttamente il campo elettrico totale rilevato in un certo punto di indagine durante la condizione di massimo traffico

- la necessità della forzatura del traffico: tutte le esperienze confermano che senza un'efficace forzatura del traffico (tramite terminali commerciali, o meglio predisposti *ad hoc*, e download massivi), non è possibile valutare la massima esposizione. Tuttavia, la stabilità del traffico richiamato rimane un punto critico: l'uso di speed test o trasferimenti di file implica una variabilità temporale che richiede operatori esperti per essere gestita

- rispetto dei limiti di legge: in tutti i casi esaminati (Modena, Reggio Emilia e Bologna), anche forzando il sistema al massimo e utilizzando le stime più conservative, i valori misurati ed estrapolati rimangono ampiamente al di sotto del valore stimato teorico e sempre inferiori al valore di attenzione di 15 V/m. In conclusione, la sperimentazione condotta da Arpae indica che, nonostante la complessità dell'architettura del segnale 5G, la verifica sperimentale può

essere semplificata. Le ultime evidenze del 2025 suggeriscono che al momento un approccio preferenziale per controlli ambientali più rapidi e cautelativi sia l'abbandono della ricerca del "fascio di controllo" a favore di una misura integrata della potenza ricevuta durante la forzatura del traffico (modalità span zero). Si sottolinea, tuttavia, che per accertare l'effettiva condizione di massima esposizione è importante verificare, tramite tecniche di misura vettoriali, che tale forzatura induca l'effettivo riempimento della trama.

Barbara Notari

Arpae Emilia-Romagna

Si ringrazia per la collaborazione il gruppo di lavoro composto da Matteo Tiberti, Martino Cremona, Irene Taddei, Emanuele De Sena, Massimo Tedeschini, Simone Colantonio, Roberto Tinarelli, Elena Fusillo e Andrea Caccoli.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[1] Tiberti M. et al., 2021, "Misura in campo del segnale 5G sulla Srp Tim di via Calabria Vecchia a Granarolo (BO)", *Atti Convegno nazionale Airp di radioprotezione*, Roma, 29 settembre-1 ottobre 2021.

[2] Iec 62232, *Methods for the assessment of electric, magnetic and electromagnetic fields associated with human exposure*, 2020, Technical Report TC 106.

[3] Snpa, 2025, *Linee guida Snpa per la misura dei campi elettromagnetici generati da sistemi di telecomunicazione in tecnologia 5G*, Linee guida Snpa n. 54/2025, Isbn 978-88-448-1249-2.

[4] Notari B. et al., 2024, "Studio di un sito Srp complesso con 5G: dalle misure all'estrapolazione alla configurazione autorizzata nell'ottica delle verifiche per il rispetto del 'nuovo' valore di attenzione", *Atti Convegno nazionale Airp di radioprotezione*, Lucca, 25-27 settembre 2024.

[5] Cei 211-7/E 2019-11, *Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz-300 GHz con riferimento all'esposizione umana. Appendice E: Misura del campo elettromagnetico da stazioni radio base per sistemi di comunicazioni mobili (2G, 3G, 4G, 5G)*.

[6] Legge 214/2023 e Dlgs 48/2024.

[7] Tiberti M. et al., 2024, "Analisi della distribuzione dei livelli di potenza dei resource elements 5G-NR in diversi scenari di traffico attraverso misure in campo con analizzatore vettoriale", *Atti VIII Convegno nazionale Agenti fisici*, Pavone Canavese, 27-29 novembre 2024.

[8] Notari B. et al., 2024, "Approfondimenti del segnale 5G NR sub-6 GHz in un sito reale: confronti tra misure con analizzatori di spettro, portatile e vettoriale, al fine dell'estrapolazione alla massima potenza", *Atti VIII Convegno nazionale Agenti fisici*, Pavone Canavese, 27-29 novembre 2024.

[9] Notari B. et al., 2025, "Criticità nell'individuazione del canale di controllo Ssb ai fini di una corretta estrapolazione del segnale 5G", *Atti XXXIX Congresso nazionale Airp di Radioprotezione*, Padova, 29-31 ottobre 2025.

MISURE DI SEGNALI 5G IN PROPAGAZIONE NLOS

UNO STUDIO AFFRONTA LE SFIDE DELLA MISURA DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI 5G IN BANDA MILLIMETRICA (FR2), ANALIZZANDO SCENARI LOS E NLOS. ATTRAVERSO TEST SPERIMENTALI E DIVERSE CONFIGURAZIONI D'ANTENNA, PROPONE UNA METODOLOGIA AFFIDABILE PER VALUTARE L'ESPOSIZIONE E VALIDARE I PARAMETRI DI RETE.

Nonostante gli impianti 5G che operano nella banda delle onde millimetriche (Fr2) non siano ancora molto diffusi in Italia, è essenziale prestare attenzione alla misurazione dell'esposizione ai campi elettromagnetici generati da questi sistemi, in particolar modo nei casi di propagazione *non in linea di vista* (Nlos).

La letteratura scientifica ha proposto numerose soluzioni pratiche [1,2,3] per valutare con precisione il livello massimo del campo nei punti di misurazione dei sistemi 5G nella banda Fr1 (sub-6 GHz). Al contrario, l'adozione della banda Fr2 è stata lenta a causa della complessità della tecnologia delle onde mm-wave e della limitata diffusione di dispositivi mobili compatibili con questa banda. Lo studio presentato è stato il primo ad affrontare le sfide legate a tale tipologia di misurazioni, proponendo una metodologia efficace per ottenere risultati affidabili.

Setup e metodologia delle misure

Il sito selezionato per le misure si trova nel comune di Ivrea e ospita un impianto 5G a 27,4 GHz di proprietà di Vodafone. Sono stati individuati quattro punti di misura con caratteristiche di visibilità

diverse rispetto al punto di emissione, comprendendo sia scenari in piena linea di vista che in totale non linea di vista (da P1 a P4 in *figura 1a*).

La visibilità relativa tra la stazione radio base (Bs) e i punti di misura è mostrata in *figura 1b*, dove i punti colorati in verde sono in condizione Los e quelli colorati in rosso in condizione Nlos. Le principali caratteristiche del segnale trasmesso dalla Bs sono riportate nella *tabella 1*.

Per completezza, in *figura 2*, è riportata la configurazione della trama.

Per impostare il collegamento con la Bs e forzare il flusso di dati di *downlink* è stato utilizzato un telefonino (*user equipment*, Ue) in banda Fr2 e dotato di una funzionalità che permette di monitorare i *resource block* (Rb) trasmessi, al fine di verificare che la trama fosse piena durante l'acquisizione della traccia.

Le misurazioni sono state eseguite con un analizzatore di spettro Keysight N9960B Vsa, che poteva essere collegato o a un'antenna omnidirezionale o a una direttiva, come osservabile in *figura 3*:
- antenna Steatite Q-Par, polarizzata linearmente, omnidirezionale, operante nella banda di frequenza da 26 GHz a 40 GHz

- antenna Horn Schwarzbeck, modello Bba9120I, funzionante nella banda di frequenza da 3 GHz a 40 GHz.

L'analizzatore è stato configurato in modalità *zero span* (Zs) alla frequenza centrale degli Ssb, e sono state acquisite tracce in Average (Avg), MaxHold (Mh), Clear-Write (Cw):

- la traccia Avg è ottenuta facendo la media di n=10 tracce
- la traccia Mh mostra il massimo livello che il segnale raggiunge nelle n tracce
- la traccia Cw rappresenta l'ultima delle n tracce.

Durante la campagna di misura sono stati eseguiti test progettati per acquisire quante più informazioni possibili sia sui canali di controllo nell'Ssb sia sul canale di traffico:

- test *Idle*: l'Ue è in modalità inattiva, ovvero non ci sono dati di traffico scambiati con la Bs e quindi è possibile misurare solo la potenza degli Ssb
- test *traffic*: l'Ue è configurato per forzare

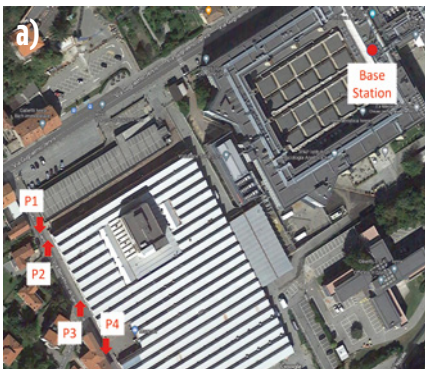


FIG. 1 SITO DI MISURA

I pixel verdi indicano i punti nella propagazione Los, quelli rossi nella propagazione Nlos.

a) Vista satellitare del sito di misura.

b) Visibilità tra Bs e punti di misura.

Parametri	Valori
Center frequency fc	27.400 GHz
Bandwidth B	200 MHz
Duplexing	Time-domain duplex (Tdd)
Downlink/uplink sequence	D-D-D-S-U
Special slot	10:2:2
Ftdc	0,742
Ssb sub-carrier spacing Δf	240 kHz (μ = 4)
Traffic sub-carrier spacing Δf	120 kHz (μ = 3)
Ssb allocation [2, S4]	Case E
Ssb slots	8
Ssb per slot	4
Ssb periodicity	20 ms
Downlink traffic	full frame
Mimo configuration	Grid of beams

TAB. 1 CONFIGURAZIONE

Configurazione della stazione radio base (Bs).

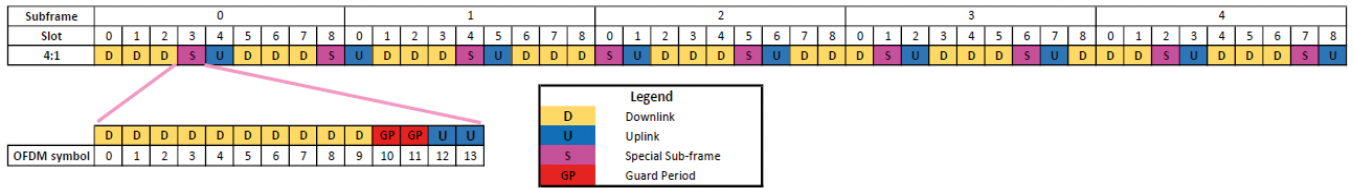


FIG. 2 TRAMA
Configurazione della trama.



FIG. 3 STRUMENTI
Antenne di misura e analizzatore di spettro vettoriale.

la trasmissione in *downlink* ad alta velocità utilizzando il software iPerf [4]
 - test *download (DI) speed*: l'Ue viene gestito tramite applicazioni specifiche, come la *Ookla speedtest* [5], che si occupa di attivare il collegamento con la Bs e di indirizzare il fascio verso la Ue
 - test *upload (UI) speed*: la stessa applicazione utilizzata per il test *download speed* viene utilizzata per forzare il traffico nella tratta *uplink*.

Risultati sperimentali

La figura 4a mostra 2 ms di una traccia Mh acquisita in P1 con l'antenna direttiva. Poiché non c'è traffico tra la Ue e la Bs, la potenza ricevuta si riferisce solo agli Ssb. La figura mostra un cluster di blocchi Ssb. Se ingrandiamo uno dei blocchi (figura 4b), vediamo che esso è composto da quattro diversi livelli di potenza, ciascuno dei quali rappresenta un Ssb associato a un diverso raggio della griglia. Ciascun Ssb ha una durata di circa 19 μs, vicino ai 16,8 μs attesi. In figura 5 è mostrato uno zoom di 1 ms di una traccia Avg registrata in P1 durante il test del traffico. La traccia mostra chiaramente la sequenza degli slot D-D-D-S-U di figura 2. La durata di ciascun slot D è

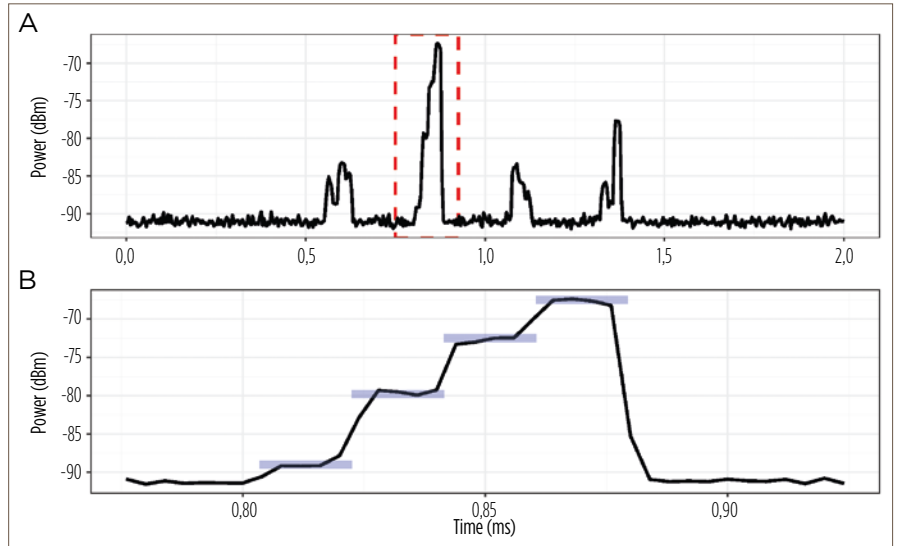


FIG. 4 SSB
Misure degli Ssb nel punto P1 con antenna direttiva.

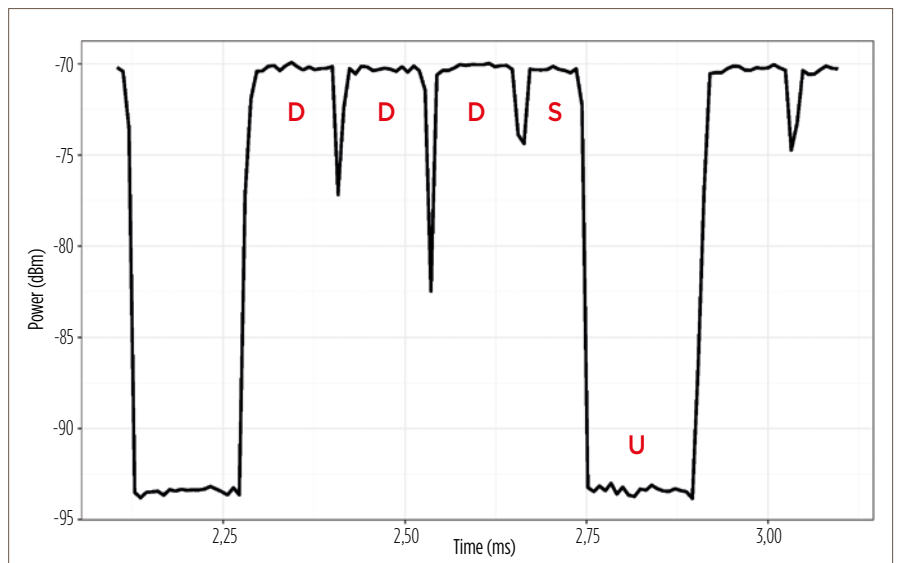


FIG. 5 RILEVAMENTO DELLO "SPECIAL SLOT"

TAB. 2
LIVELLI DI CAMPO
Confronto tra livelli di campo in dBm tra antenna direttiva e antenna omnidirezionale (Bs).

Point	Antenna		
	Omnidirectional	Directional	
		Base station	Max power
P1	-77,02	-69,78	N/A
P2	-88,67	-87,35	N/A
P4	-89,83	-92,83	-82,69

compresa tra 112 e 119 μ s, vicino ai 116,6 μ s come previsto per il segnale in esame. Le misurazioni Zs possono essere utilizzate anche per studiare le differenze tra i segnali di controllo (figura 4) e il traffico (figura 5). Nel caso in questione, i canali di controllo e di traffico vengono trasmessi sugli stessi raggi.

Questa analisi mostra che le misurazioni scalari possono essere efficaci nel validare la configurazione fornita dall'operatore/ produttore riportata nella tabella 1. La figura 6 mostra tracce in Zs della potenza misurata con l'antenna omnidirezionale in ciascun punto di misurazione con le tre modalità di traccia (Cw, Avg e Mh), per ciascun test.

Traffico

In P1, quando il traffico *downlink* viene forzato si osserva che la porzione *downlink* del frame è piena e i Re vengono trasmessi a potenza costante, con un livello quasi identico in tutte e tre le modalità di acquisizione. Esiste anche traffico *uplink* generato dall'Ue che viene catturato dall'antenna ricevente. La potenza misurata dei Re di *uplink* dipende dalla distanza tra la Ue e l'antenna ricevente.

Passando da una propagazione Los completa (P1) a una condizione quasi Nlos (P2), la potenza del traffico *downlink* diminuisce perché una porzione rilevante viene attenuata dall'edificio che blocca parzialmente la propagazione tra Bs e Ue. In questo scenario, la potenza di *uplink* diventa dominante rispetto al collegamento *downlink*.

In P3 non è stato possibile effettuare misurazioni poiché non è stato possibile

stabilire la connessione *downlink* a causa delle forti condizioni Nlos.

In P4 (Nlos con riflessioni e diffrazione), il livello di potenza del canale *downlink* è simile a quello misurato in P2.

Download (DL) speed

I risultati sono simili a quelli ottenuti nel test del traffico, l'unica differenza è che è stata ricevuta una certa potenza anche in P3, sebbene sia relativa al canale di *uplink*, mentre per il canale di *downlink* c'è solo il rumore di fondo come previsto. Infine sono stati eseguiti test di "traffico" con l'analizzatore collegato sia all'antenna direttiva sia a quella omnidirezionale per valutare la differenza nei livelli di potenza tra i punti di misurazione Los e Nlos. I risultati sono riportati nella tabella 2 per la traccia Avg.

L'analisi dei risultati riportati in tabella 2 mostra che quando si ha a che fare con uno scenario Los, l'uso di

antenne direttive può garantire risultati di misura più accurati.

Al contrario, le antenne direttive in caso di propagazione Nlos non garantiscono che la densità di potenza proveniente da direzioni diverse a causa delle riflessioni venga misurata interamente.

In tale condizione, dovrebbero essere preferite le antenne omnidirezionali, prestando attenzione al contributo di *uplink* quando si eseguono misurazioni che non possono separare la trasmissione di *uplink* dalla trasmissione di *downlink*.

Sara Adda¹, Valeria Bottura², Stefano D'Elia³, Nicola Pasquino⁴, Riccardo Suman⁵, Mattia Vaccarone¹

- 1. Arpa Piemonte
- 2. Arpa Valle d'Aosta
- 3. Vodafone networks, mobile access engineering
- 4. Dieti, Università degli studi di Napoli Federico II

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Adda S., Aureli T., Bastonero S., D'Elia S., Franci D., Grillo E., Migliore M.D., Pasquino N., Pavoncello S., Schettino F., Schiavoni A., Scotti R., Suman R., Vaccarone M., 2022, "Methodology based on vector and scalar measurement of traffic channel power levels to assess maximum exposure to electromagnetic radiation generated by 5G NR systems", *Ieee Access*, vol. 10, pp. 12125-12136.
- [2] Adda S., Aureli T., D'Elia S., Franci D., Grillo E., Migliore M.D., Pavoncello S., Schettino F., Suman R., 2020 "A theoretical and experimental investigation on the measurement of the electromagnetic field radiated by 5G base stations", *Ieee Access*, vol. 8, pp. 101448-101463.
- [3] Betta G., Capriglione D., Cerro G., Miele G., Migliore M.D., Šuka D., 2022, "Experimental analysis of 5G pilot signals' variability in urban scenarios", *Ieee*.
- [4] iPerf software, <https://iperf.fr>.
- [5] Ookla speedtest, www.speedtest.net

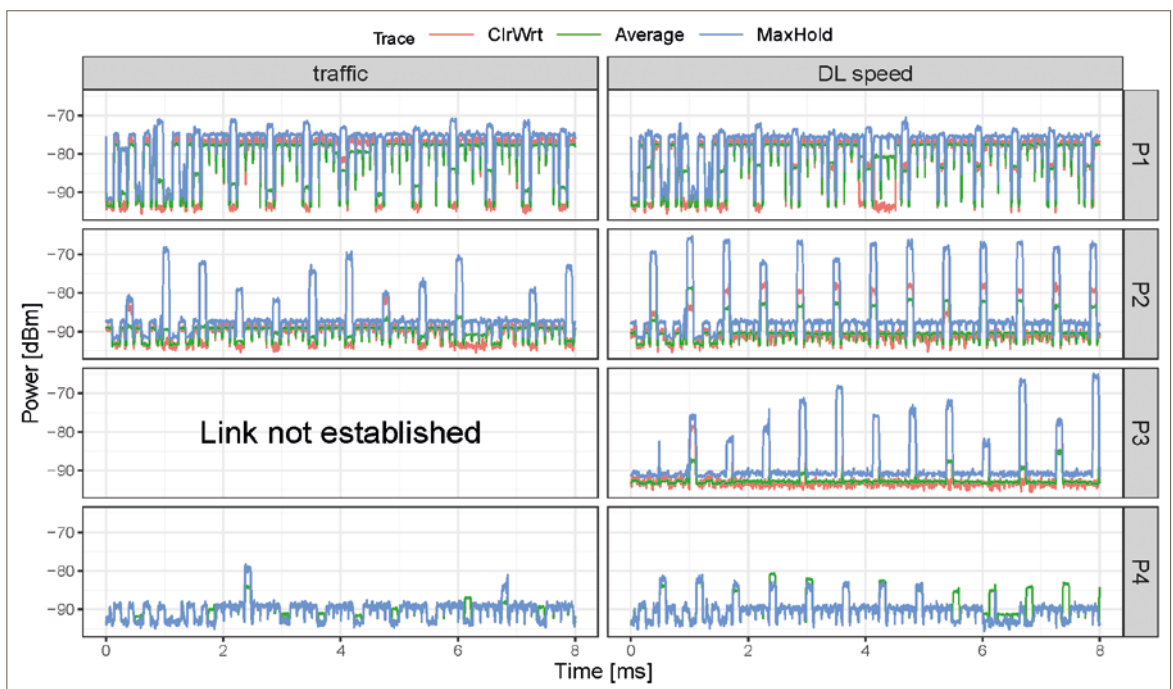


FIG. 6
ZERO SPAN

Tracce in Zs con antenna omnidirezionale per ogni tipo di traccia in ogni.

L'ESPOSIZIONE AI CEM IN VENETO DALL'AVVENTO DEL 5G

DAL 2009 ARPA VENETO MONITORA L'ESPOSIZIONE AI CAMPI ELETTROMAGNETICI NEI CAPOLUOGHI REGIONALI TRAMITE MODELLISTICA E DATI DEI CENSIMENTI ISTAT. L'EVOLUZIONE DELL'INDICATORE DAL 2009 AL 2025, CONFRONTANDO SCENARIO PRE-5G, DIFFUSIONE DELLA RETE E RISULTATI DELLE MISURE SUL CAMPO.

Nel mondo delle telecomunicazioni italiane, il 2019 è l'anno del 5G: una nuova tecnologia per la telefonia mobile che prometteva di rivoluzionare ancora una volta la nostra vita, con una maggiore velocità di connessione, un tempo di risposta più basso (la cosiddetta latenza) e un'interazione tra dispositivi e sensori in grado di automatizzare molte attività che comunemente svolgevamo. A distanza di sette anni, molte di quelle promesse sono state solo parzialmente mantenute, anche se l'installazione della rete 5G è andata avanti, rendendo la diffusione degli impianti dotati di questa tecnologia sempre più capillare.

Ma come è aumentata l'esposizione della popolazione dopo l'avvento di questa tecnologia? In questo articolo tenteremo di rispondere basandoci sulla realtà del territorio veneto. Nella regione, sin dal 2001, è stato implementato un catasto delle sorgenti fisse di telecomunicazioni, che dopo diverse evoluzioni è ora popolato attraverso l'applicativo Nirweb direttamente dai gestori di telefonia mobile, ogni qual volta vogliono richiedere l'installazione di un nuovo impianto o la modifica di uno esistente. Tale database, denominato Dbnir, oltre a fungere da catasto per tutti gli enti comunali, regionali e nazionali (da Nirweb si estraggono infatti i dati per popolare il catasto elettromagnetico nazionale, Cen, di Ispra), è utilizzato da Arpa Veneto per le valutazioni modellistiche che sono alla base dei pareri previsti dalla legislazione nazionale per le nuove installazioni o la modifica di stazioni radio base (Srb) esistenti.

Indicatore di esposizione

I dati contenuti nel database inoltre sono stati utilizzati, a partire dal 2009, per calcolare un indicatore dell'esposizione della popolazione, che correla i dati dei censimenti Istat realizzati negli anni

al campo elettrico simulato, al fine di poterne valutare l'evoluzione nel tempo. L'indicatore è stato calcolato nei sette comuni capoluogo, adottando la seguente procedura: innanzitutto si è partiti dallo studio dell'edificato concentrandosi sulla verifica della correttezza di alcune caratteristiche fondamentali degli edifici quali: piede, altezza, gronda e soprattutto la destinazione d'uso; nel calcolo dell'indicatore infatti vengono considerati solamente gli edifici civili, commerciali, lavorativi e industriali, cioè quelli in cui è possibile la permanenza prolungata nel tempo. Nella fase successiva è stata eseguita la selezione degli impianti di interesse per il calcolo, includendo solamente le Srb attive nel territorio del rispettivo comune capoluogo e nel raggio di 500 metri oltre i confini comunali, visto che anche il loro contributo può risultare significativo nel calcolo dell'esposizione.

Successivamente al controllo degli edifici e alla selezione degli impianti, si è proceduto con il calcolo dell'indicatore tramite una funzionalità apposita presente all'interno dell'applicativo

NirGis2, che è il software open source sviluppato internamente ad Arpa Veneto per la simulazione dei campi elettromagnetici a radiofrequenza, funzionante in ambiente Qgis. Tale applicativo simula il campo elettrico generato all'interno degli edifici dalle diverse Srb, senza tener conto dell'attenuazione fornita dalle pareti e a un'altezza di 5 metri sopra il livello del suolo, che corrisponde a considerare il primo piano come piano di residenza. Questa scelta è giustificata da un lato da un'analisi sull'edificato dei comuni capoluogo che ha dimostrato come il primo piano sia quello più popolato, dall'altro da uno studio eseguito sul comune di Verona [1], che ha mostrato come i risultati dell'indicatore di esposizione ottenuti considerando l'intera popolazione residente all'altezza di 5 metri siano analoghi a quelli ottenuti ripartendo la popolazione su tutti i piani di residenza.

Avendo quindi attribuito un valore di campo elettrico a ogni edificio significativo, è possibile calcolare il campo medio all'interno di ogni sezione

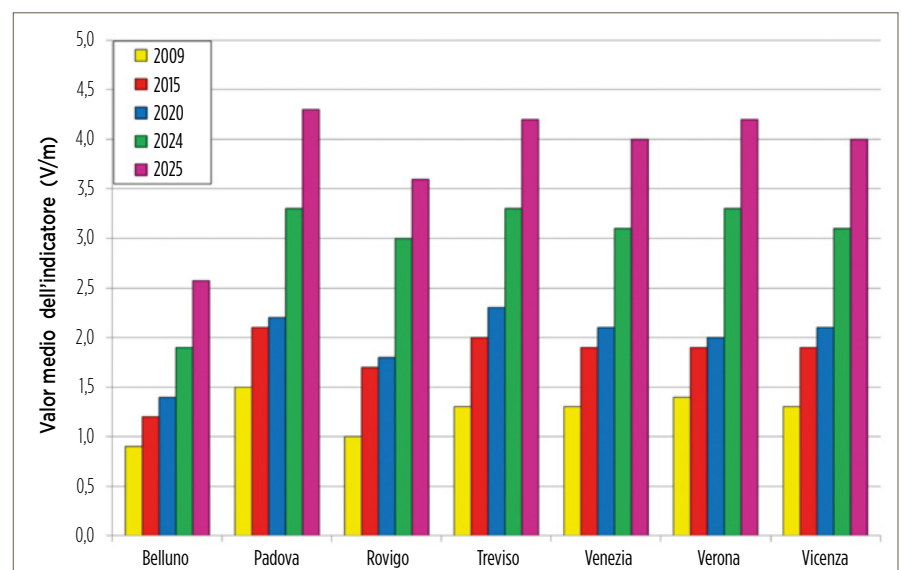


FIG. 1 CAMPO ELETTRICO

Confronto dei valori medi dell'indicatore di esposizione valutato in diversi anni per i 7 comuni capoluogo del Veneto

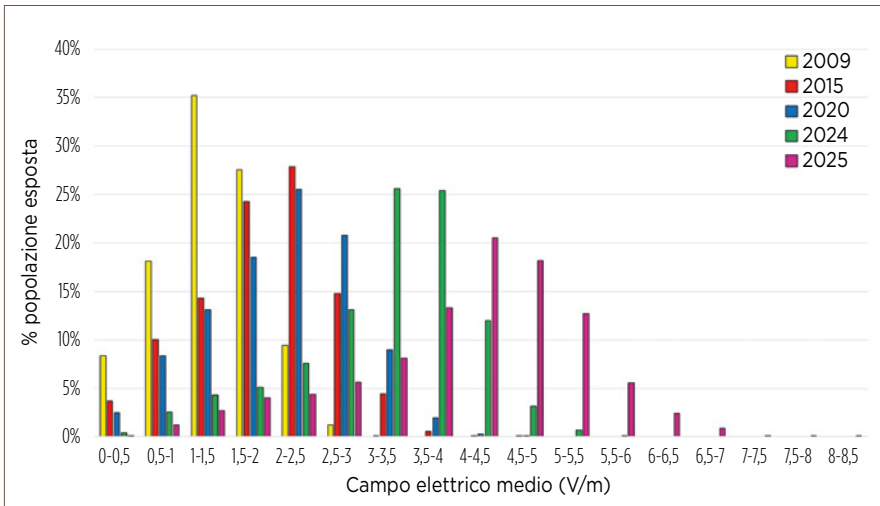


FIG. 2 CAMPO ELETTRICO E POPOLAZIONE ESPOSTA
 Indicatore dell'esposizione della popolazione al campo elettrico calcolato nei 7 comuni capoluogo del Veneto (anni 2009, 2015, 2020, 2024 e 2025).

di censimento Istat, e associare tale valore alla popolazione residente all'interno delle sezioni (reperita negli anni dai diversi censimenti, l'ultimo risalente al 2021 [2]), ottenendo l'indicatore di esposizione.

L'evoluzione nel tempo e l'avvento del 5G

Come vedremo, tali analisi sono state ripetute nel 2009, 2015, 2020, 2024 e 2025, quindi per valutare l'effetto dell'avvento del 5G sull'esposizione va considerato il confronto tra i dati ottenuti nel 2024-2025 e quelli degli anni precedenti (l'indicatore del 2020 considera gli impianti installati fino a fine 2019, e a quella data il numero di stazioni con tecnologia 5G in Veneto era molto limitato).

Per le analisi statistiche dettagliate dei risultati ottenuti si rimanda ai risultati presentati nel corso del convegno Airp 2025, tenutosi a Padova a fine 2025 [3]. Ci si soffermerà ora sui risultati contenuti nelle figure 1 e 2, che mostrano nei diversi anni di calcolo rispettivamente l'andamento del valor medio dell'indicatore nei sette comuni capoluogo del Veneto e l'indicatore complessivo, ottenuto aggregando i dati ottenuti nei sette comuni. È immediato valutare come i valori dell'indicatore calcolato nel 2025 siano quasi sempre doppi rispetto a quelli calcolati nel 2020, che come detto rappresenta la situazione pre-avvento del 5G. Anche la figura 2, oltre a mostrare come negli anni mediamente la popolazione risulti esposta a valori di campo sempre più elevati, evidenzia che se nel 2020 la maggior parte della popolazione era esposta a

valori di campo compresi tra 2 e 2,5 V/m, nel 2025 tale valore si è spostato tra 4 e 4,5 V/m.

Si fa inoltre notare come nell'indicatore ci sia stato un forte aumento tra il 2024 e il 2025, principalmente per l'effetto dell'innalzamento dei limiti dei campi elettromagnetici, con il valore di attenzione/obiettivo di qualità passato da 6 a 15 V/m a fine aprile 2024, per effetto della L. 214/23.

Ma tale incremento, calcolato con simulazioni che si basano sulle potenze richieste dai gestori in sede di autorizzazione, è effettivamente visibile nell'attività di misura? La risposta in base ai dati disponibili a oggi, sembrerebbe essere no. A titolo di esempio si mostra in figura 3 l'andamento del campo elettrico medio misurato nei monitoraggi effettuati dal 2016 al 2025 nella provincia di Vicenza. Il grafico mostra sì una tendenza all'aumento, fisiologica considerando che anche le potenze associate agli altri sistemi, in particolare 4G, sono aumentate negli ultimi anni, ma non paragonabile a quella riscontrata sull'indicatore. Se si aggregano i dati fino al 2019 e dal 2020 in poi, si vede

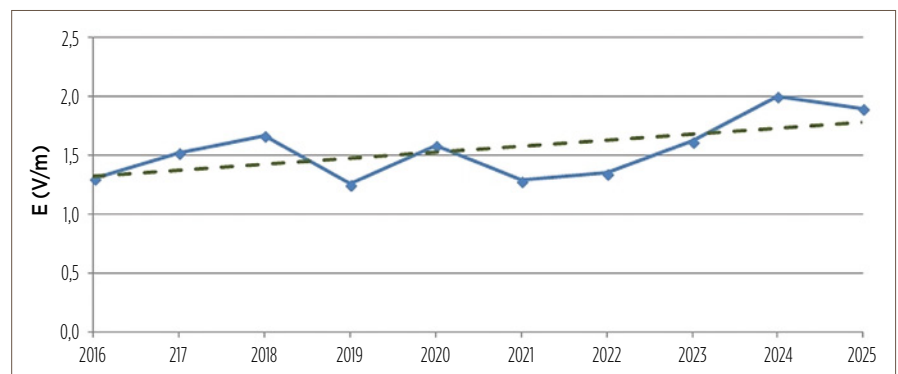


FIG. 3 CAMPO ELETTRICO MEDIO
 Campo elettrico medio riscontrato nei monitoraggi di campo elettrico realizzati in provincia di Vicenza negli ultimi 10 anni.

che il campo medio è passato da 1,5 a 1,6 V/m, e anche limitando la media agli ultimi 3 anni, in cui i gestori hanno concentrato maggiormente l'installazione dei sistemi 5G a 3.700 MHz, il valore diventa 1,8 V/m. Un risultato analogo si era riscontrato in una serie di misure puntuali mostrate nel corso del convegno Airp 2025 [3], realizzate negli stessi punti in una sezione di censimento di Vicenza nel 2024 e nel 2025, per valutare se a un incremento del campo elettrico simulato nei due anni corrispondesse un analogo aumento di quello misurato. Il risultato finale è stato che a un incremento del campo elettrico ottenuto in simulazione del 29%, è corrisposto un aumento medio del campo misurato del 5%, a indicare nuovamente come a una crescita sostanziale della potenza autorizzata sia corrisposta una variazione modesta del campo elettrico reale.

Commento ai risultati

Ma a cosa può essere ascritta una differenza così importante? Le cause principali vanno ricercate probabilmente nel peculiare funzionamento dei sistemi 5G a 3.700 MHz e nel loro sottoutilizzo allo stato attuale. Questa tecnologia infatti utilizza quasi sempre antenne massive MIMO, che grazie ad algoritmi di beamforming riescono a generare lobi di radiazione specifici per illuminare le aree di spazio in cui sono presenti gli utenti che richiedono il servizio; questo si traduce mediamente in una riduzione del tempo di esposizione della popolazione, che sempre più spesso non viene considerato nelle richieste di autorizzazione fatte dai gestori. Per quanto riguarda invece lo scarso utilizzo della rete 5G, questo lo si può vedere dai dati che i gestori forniscono sull'andamento delle potenze degli impianti 5G nei database istituiti ai sensi del Dm 02/12/2014. Il risultato

di questi due fattori lo si può notare nei monitoraggi a banda stretta realizzati su questi tipi di segnale, grazie alla strumentazione acquisita da Arpa Veneto nell'ambito dell'ultimo progetto nazionale di ricerca Cem. In *figura 4* viene mostrato, in un punto in cui è stato realizzato un monitoraggio a banda stretta, l'andamento del campo elettrico totale e la componente aggregata del solo 5G a 3.700 MHz installato in zona da 3 gestori su 4.

È quindi lecito attendersi nei prossimi anni, con uno sfruttamento più marcato delle potenzialità delle reti 5G legate all'introduzione negli smartphone dell'intelligenza artificiale e delle sue applicazioni, un aumento del campo elettrico, anche se probabilmente non tale da pareggiare quello riscontrato nel calcolo dell'indicatore di esposizione. Da un altro punto di vista, il margine rilevato nelle valutazioni modellistiche è confortante e sottolinea una volta di più l'importanza dell'attività preventiva svolta dal sistema agenziale su questo tipo di matrici.

Giuseppe Lorenzetto, Alexandru Timis, Flavio Trotti

Arpa Veneto

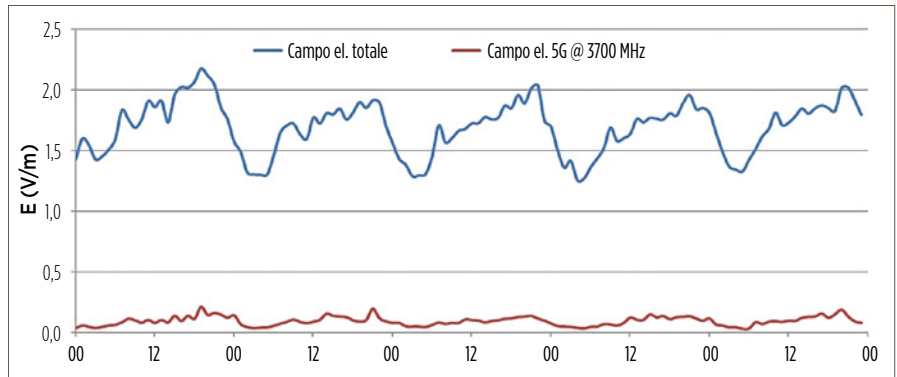


FIG. 4 5G E CAMPO ELETTRICO TOTALE
confronto tra campo elettrico totale e dovuto ai soli sistemi 5G a 3.700 MHz durante un monitoraggio a banda stretta.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Poli S. et al., 2016, "Indicatore di esposizione della popolazione al campo elettrico prodotto dalle stazioni radio base calcolato considerando la distribuzione della popolazione per piano nel comune di Verona", *Atti VI convegno nazionale agenti fisici "Il controllo degli agenti fisici: ambiente, territorio e nuove tecnologie"*, Alessandria, 6-8 giugno 2016.
- [2] Istat, 2021, Censimento permanente della popolazione e delle abitazioni 2021, www.istat.it/statistiche-per-temi/censimenti/popolazione-e-abitazioni/risultati/
- [3] G. Lorenzetto et al., 2025, "L'indicatore di esposizione al campo elettrico generato dagli impianti di telefonia mobile un anno dopo la modifica dei limiti: uno studio sul territorio del Veneto", *Atti XXXIX congresso nazionale Airp di radioprotezione*, Padova, 29-31 Ottobre 2025.



CARATTERIZZAZIONE DI UN'ANTENNA MASSIVE MIMO

MISURE IN CAMPO SU ANTENNA ATTIVA SVOLTE DA ARPA TOSCANA EVIDENZIANO DIFFERENZE NELLA POTENZA RICEVUTA DI OLTRE 20 DB TRA CONDIZIONI DI PRESENZA E ASSENZA DI TRAFFICO, CONTRO I 7,8 DB ATTESI CON ANTENNE PASSIVE. I DATI CONFERMANO IL BEAMFORMING IBRIDO E LA MASSIMA ESPOSIZIONE IN PROSSIMITÀ DEL TERMINALE ATTIVO.

L'utilizzo delle antenne attive (*active antenna systems, Aas*) costituisce una delle maggiori innovazioni introdotte con le più recenti tecnologie radiomobili. Al contrario di quanto operato dalle antenne passive finora utilizzate, esse permettono di implementare i meccanismi di generazione dinamica dei fasci di trasmissione quali il *beam sweeping* e il *beamforming* che caratterizzano i sistemi di trasmissione 5G Nr di ultima generazione. Sfruttando le proprie capacità di elaborazione, un Aas può irradiare infatti due differenti tipi di fasci, a seconda del loro utilizzo: i fasci di *broadcast* e i fasci di traffico. I primi sono fasci utilizzati per fornire la copertura della cella servita e vengono trasmessi in sequenza a intervalli costanti (*beam sweeping*). Al contrario, i fasci di traffico sono attivati solo in occasione dell'assegnazione a un terminale di un canale di traffico. Il fascio attivato dall'antenna dipende dalla posizione del terminale rispetto a essa (*beamforming*). Questa tipologia di antenne può essere tuttavia utilizzata anche sui precedenti sistemi 4G Lte che utilizzano lo schema di trasmissione Tdd (*time division duplex*) dove le comunicazioni nelle due direzioni, tra stazione radio base e terminale mobile, avvengono sulla medesima risorsa radio su base temporale. Nel sistema 4G Lte l'uso delle antenne avviene, tuttavia, in maniera ibrida, adoperando il *beamforming* per la trasmissione dei canali dati dedicati degli utenti, ma non il *beam sweeping* per la trasmissione dei segnali di controllo della cella per la trasmissione dei quali viene utilizzato, al contrario, un fascio statico come avviene con le tradizionali antenne passive. Tutto ciò consente di utilizzare tipicamente la medesima antenna attiva per la trasmissione del segnale Lte Tdd in banda 2.600 MHz (B38) e 5G Nr in banda 3.700 MHz (N78).

Il comportamento dell'antenna attiva durante la trasmissione dei canali dati



FIG. 1 FORZATURA DEL TRAFFICO A DIVERSE DISTANZE DALL'ANTENNA

Foto aerea dell'area oggetto di studio con la posizione del sistema di misura e del terminale di forzatura lungo la direzione di puntamento della cella.

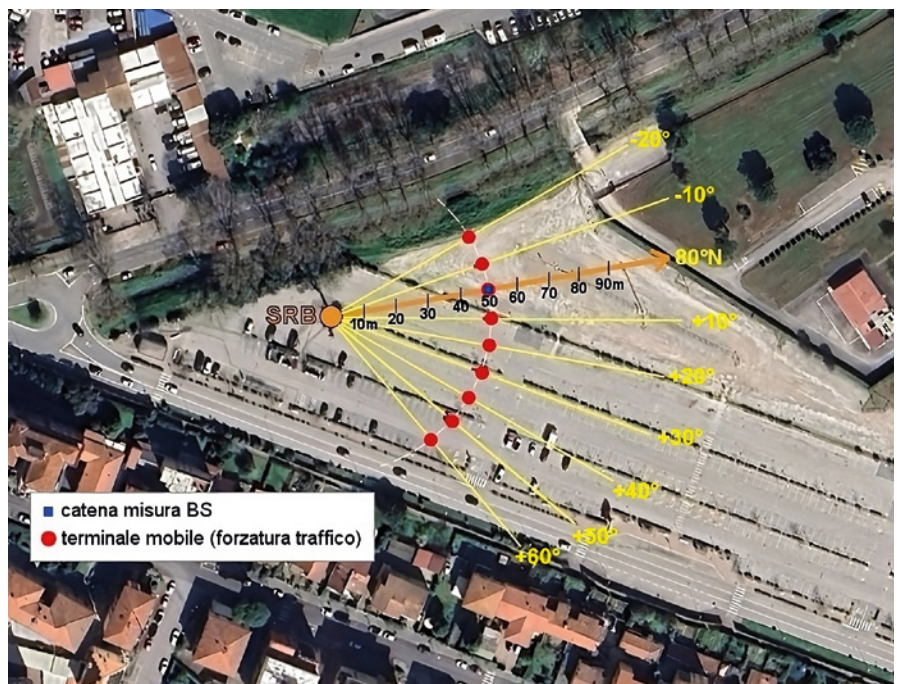


FIG. 2 FORZATURA DEL TRAFFICO A DIVERSI ANGOLI RISPETTO AL PUNTAMENTO DELL'ANTENNA

Posizione del sistema di misura e del terminale di forzatura a diversi angoli rispetto alla direzione di puntamento della cella.

utente è stato caratterizzato monitorando il segnale ricevuto dalla cella Lte Tdd di un impianto nel comune di Pisa attraverso un analizzatore di spettro in modalità *span zero* posizionato in prossimità dell'impianto e variando la posizione di un terminale mobile utilizzato per la forzatura della trasmissione dati da parte della cella. L'impianto oggetto dei test, installato su un traliccio all'interno di un parcheggio, utilizza un'antenna attiva Zte mod. A9622. La misura del segnale ricevuto è stata eseguita per mezzo di una catena strumentale costituita da un analizzatore Rodhe & Schwarz mod. Fsh8 collegato a un'antenna biconica Seibersdorf mod. Pcd8250. La disponibilità da parte dell'analizzatore di spettro di ampiezze del filtro Rbw fino a 20 MHz in modalità *span zero* consente di monitorare nel tempo l'andamento del segnale Lte ricevuto. Per il monitoraggio del segnale è stata scelta una postazione fissa posta a 50 m dalla base del traliccio lungo la direzione di puntamento di uno dei settori della stazione (80° N). Per la forzatura del traffico dati è stato utilizzato un terminale mobile, dotato di sistema operativo Android e con abilitate le funzioni di amministratore (*root*). In questa configurazione, è possibile forzare il terminale (e di conseguenza la stazione)

a utilizzare una determinata banda (B38 in questo caso) per la trasmissione dei dati tramite l'app gratuita *Network signal guru*, scaricabile dalla *repository* ufficiale Android. Una volta selezionata la banda di utilizzo, la forzatura del traffico viene effettuata tramite siti internet per la misura della velocità di download dei dati (*speed test*) o che consentono di definire la dimensione del pacchetto dati allo scopo di garantire maggiore durata e stabilità nel download dei dati.

Il comportamento dell'antenna è stato indagato mantenendo, come detto, fissa la postazione di misura e variando la posizione del terminale mobile, dapprima a distanze variabili (da 10 m a 90 m con passo 10 m) lungo la direzione di puntamento della cella (*figura 1*) e, successivamente, a diverse angolazioni rispetto alla direzione di puntamento della cella (da -20° a +60°) mantenendo sempre il terminale alla distanza di 50 m dalla base del traliccio (*figura 2*).

Nel dominio della frequenza, come noto, il sistema Lte è costituito da un insieme di sottoportanti spaziate tra loro di 15 kHz, il cui numero complessivo dipende dalla larghezza di banda disponibile. Nel caso di utilizzo di un'antenna passiva tradizionale, che irradia segnali di controllo e canali



FIG. 3 SEGNALE RICEVUTO NEL TEMPO CON ANALIZZATORE DI SPETTRO
 Acquisizione con terminale di forzatura in prossimità della catena di misura (d=50 m) in presenza (traccia gialla) e assenza (traccia arancione) di forzatura.

di traffico per mezzo del medesimo fascio, il rapporto (ovvero la differenza in unità logaritmiche) tra la potenza ricevuta in assenza di traffico durante la trasmissione dei segnali di controllo del sistema Lte (*reference signal*, Rs) e quella nella condizione di trama interamente riempita (ovvero di massimo traffico) è attesa pari a circa $10 \cdot \log(2/12) = -7,8$ dB, essendo 2/12 il rapporto del numero di sottoportanti occupate dai Rs rispetto al numero totale disponibile.

I risultati ottenuti nel caso di antenna attiva mostrano, invece, valori massimi per tale differenza di gran lunga superiori a quelli attesi con un'antenna passiva (oltre 20 dB) oltre che dipendenti dalla posizione del terminale di forzatura. In particolare, il segnale ricevuto sull'analizzatore di spettro risulta massimo con il terminale mobile in prossimità del punto di misura (*figura 3*). Ciò lascia pertanto ipotizzare l'attivazione di uno specifico fascio di traffico, di guadagno maggiore, diretto verso il terminale mobile. Quanto ricevuto nel punto di misura dipenderà pertanto dal diagramma di irraggiamento del fascio che si attiva e dalla posizione del punto di misura rispetto all'antenna trasmittente. La *figura 4* riporta l'andamento in dipendenza della posizione del terminale lungo la direzione di puntamento della cella della differenza (delta) in dB tra il livello di potenza misurato con forzatura del traffico e quello ottenuto con trama piena durante la trasmissione del fascio *broadcast* nel punto di misura. Tale differenza è legata al diverso guadagno, nella direzione del punto di misura, del fascio che si attiva nel momento della forzatura del traffico rispetto a quello di *broadcast*.

In *figura 5* è analogamente riportato l'andamento della stessa quantità (delta), ottenuta nel punto di misura, facendo variare l'angolo della posizione del terminale di forzatura rispetto alla direzione di puntamento della cella. In entrambi i grafici i valori risultano massimi con il terminale in prossimità del punto di misura. I risultati confermano il comportamento ibrido dell'antenna e mostrano come la massima esposizione determinata dalle antenne attive avvenga nella zona in prossimità del terminale che accede alla risorsa radio.

Andrea Barellini¹, Barbara Bracci¹, Gaetano Licitra², Andrea Pinzauti¹, Francesco Sbrana³, Alberto Maria Silvi¹

Arpa Toscana

1. Settore Agenti fisici

2. Dipartimento provinciale di Pisa

3. Settore informativo regionale ambientale

FIG. 4
DIFFERENZA DI POTENZA - POSIZIONE

Andamento della differenza di potenza ricevuta con fasci di traffico e broadcast (trama piena) in dipendenza dalla posizione del terminale di forzatura lungo la direzione di puntamento della cella.

— delta

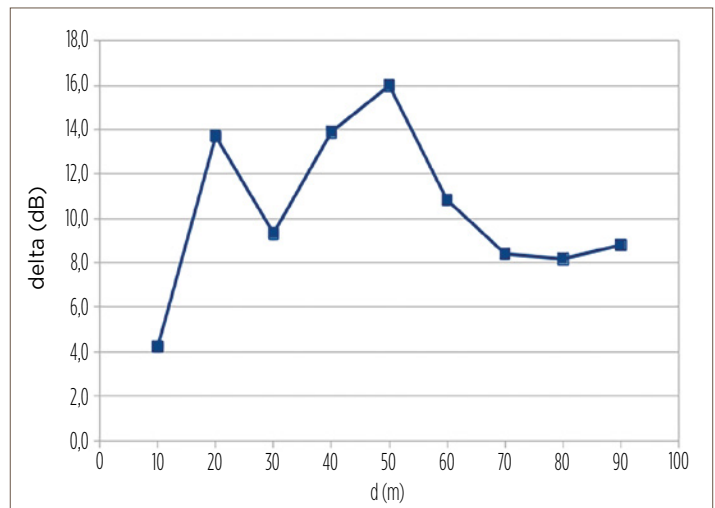
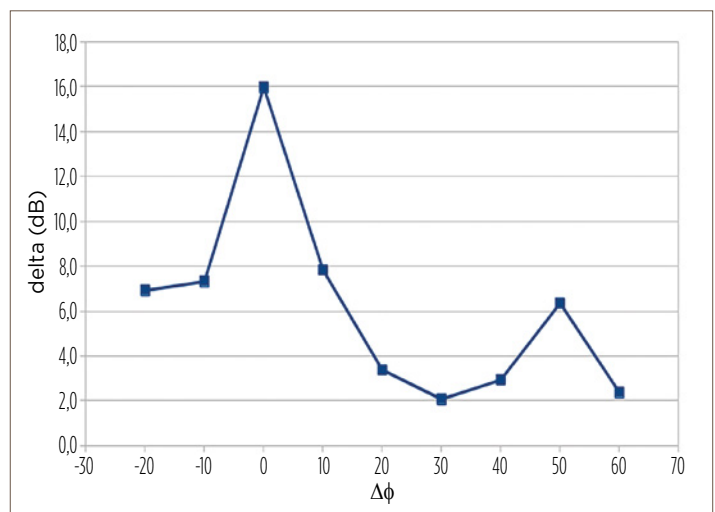


FIG. 5
DIFFERENZA DI POTENZA - ANGOLO

Andamento della differenza di potenza ricevuta con fasci di traffico e broadcast (trama piena) in dipendenza del diverso angolo del terminale di forzatura rispetto alla direzione di puntamento della cella.

— delta



RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Coltellacci et al., 2023, "Lte Tdd mMimo: analisi dei segnali per la verifica di conformità della procedura di misura contenuta nella norma Cei 211-7/E", *Atti del Convegno nazionale Airp*, Cagliari, 27-29 settembre 2023.

Ericsson, 2024, *Ericsson Massive MIMO Handbook*, 3a edizione.

www.sharetechnote.com/html/5G/5G_Phy_BeamManagement.html

www.sharetechnote.com/html/FrameStructure_DL.html#Overview

www.sharetechnote.com/html/Handbook_Lte.html

www.sharetechnote.com/html/LTE_TDD_Overview.html

Ngmn, 2023, *Recommendation on base station active antenna system standards v.3.0*, www.ngmn.org.

Nsn, 2013, *Nokia solutions and network active antenna systems: a step-change in base station site performance*.

Ispra/Snpa, 2023, Report progetto ricerca Cem - Campi elettromagnetici e salute: studi di valutazione dell'esposizione e approfondimento sui possibili rischi delle esposizioni a lungo termine a basse e alte frequenze - Attività C - Sviluppo tecnologico e suoi effetti sull'esposizione: i sistemi 5G: campagne di misura svolte su impianti di telefonia mobile dotati di tecnologia "Lte-Tdd mMimo" della società Wind Tre Spa.

Itu-R, 2014, *Passive and active antenna systems for base stations of lmt systems*, Report Itu-r M.2334-0.

MONITORAGGIO CEM CON CENTRALINA SELETTIVA

UN PROTOTIPO DI CENTRALINA SELETTIVA IN BANDA STRETTA CONSENTE IL MONITORAGGIO PER 24 ORE DEI CEM, DISTINGUENDO I CONTRIBUTI PER FREQUENZA. TESTATO DA ARPA PUGLIA IN AMBIENTE URBANO E CONFRONTATO CON STRUMENTI IN COMMERCIO, MOSTRA RISULTATI COMPATIBILI E PROMETTE MISURE PIÙ AFFIDABILI PER LA VERIFICA DEL RISPETTO DEI LIMITI.

Negli ultimi decenni l'evoluzione delle tecnologie di telecomunicazione ha determinato un incremento significativo del numero di sorgenti di campi elettromagnetici nell'ambiente, in particolare nelle aree urbane e periurbane. Stazioni radio base per connessione in mobilità, sistemi di radio-telediffusione, reti wi-fi e altre infrastrutture contribuiscono in modo variabile ai livelli di esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici (Cem). La valutazione dell'esposizione è regolamentata da normative nazionali che stabiliscono limiti di esposizione, valori di attenzione e obiettivi di qualità, al fine di tutelare la salute umana e l'ambiente, e da guide tecniche di settore (Cei 211-7) che indicano le modalità di misura. In tale contesto, il monitoraggio ambientale rappresenta uno strumento essenziale per verificare il rispetto dei limiti di legge, analizzare l'evoluzione nel tempo delle emissioni e fornire informazioni trasparenti ai cittadini e alle autorità competenti.

Il controllo di primo livello dei Cem è effettuato mediante misure puntuali o monitoraggi in continuo mediante sistemi di misura a banda larga, in grado di fornire una stima del livello di campo elettrico complessivo. Tuttavia, tali approcci non consentono di distinguere il contributo delle singole sorgenti né di analizzare in dettaglio l'andamento del campo elettrico nelle diverse bande di frequenza. Attualmente sono disponibili centraline selettive che permettono la misura separata dei contributi associati a specifici intervalli di frequenza. Esse sono dotate

di sensori isotropici e di moduli di analisi in grado di suddividere lo spettro di frequenza in bande, tipicamente associate alle principali tipologie di sorgenti di emissione (ad esempio radiodiffusione, telefonia mobile, sistemi wireless). Le grandezze misurate sono generalmente espresse in termini di campo elettrico efficace (Rms) e mediate su intervalli temporali configurabili. Dette centraline possono operare in modo autonomo e sono spesso dotate di sistemi di trasmissione dati per l'invio da remoto dei valori delle misure a un server centrale. Tuttavia, tali misure non possono essere impiegate per eseguire il confronto diretto con i limiti e hanno lo scopo di fornire indicazioni circa la variabilità del segnale complessivo nel tempo e individuare la tecnologia che prevalentemente contribuisce a eventuali superamenti dei limiti.

Per poter, invece, attribuire direttamente il superamento ai sensi della vigente normativa e della guida Cei 211-7, è necessario eseguire un monitoraggio della durata di 24 ore in grado di discriminare i diversi contributi al campo elettrico complessivo con risoluzione in frequenza che permetta un'analisi dettagliata delle componenti del segnale stesso, adeguata a effettuare le attività di controllo proprie della Arpa.

In tale contesto si è studiata la possibilità di implementare una centralina di monitoraggio in banda stretta che consenta l'acquisizione dei singoli segnali per un periodo di almeno 24 ore, in modo da poter eseguire il confronto diretto del risultato di detta misura con i limiti applicabili. Utilizzando un finanziamento



del Mase, Arpa Puglia ha quindi acquistato un analizzatore di spettro con un elevato grado di protezione dagli agenti atmosferici, in catena con una antenna omnidirezionale. È stato quindi costruito un prototipo di centralina di monitoraggio in banda stretta che fosse trasportabile e potesse essere agevolmente installata all'interno di abitazioni (ambiente *indoor*) o all'esterno (ambiente *outdoor*). È stata anche prevista la possibilità di alimentare la centralina con pannello solare e batteria oltre che di interrogare da remoto la centralina stessa tramite un modem. Le misure in campo, utilizzando il prototipo di centralina sopra descritto, sono state quindi eseguite in ambiente urbano, presso un'abitazione privata in linea di vista con una Srb di cui erano noti i segnali emessi. Il punto di misura distava circa 150 m dalla Srb ed era posizionato a 22° rispetto alla direzione di massimo irraggiamento. Per un intervallo di tempo di 1 ora, oltre al monitoraggio con la centralina, sono state eseguite in parallelo misure sugli

Catena di misura	Prototipo centralina selettiva	Catena Anritsu	Catena Narda
Analizzatore	Anritsu mod. MS27102A	Anritsu mod. MS2090A	Narda Srm 3006
Cavo	Cfd 240 low loss	Anritsu type JBY 300	Narda 3602/02
Antenna	Keysight mod. N6850A	Clampco mod. AP3000	Narda 3502/01

TAB. 1
STRUMENTAZIONE

Descrizione delle catene di misura impiegate nella sperimentazione.

stessi segnali, utilizzando due catene strumentali costituite da analizzatori di spettro e antenne commerciali. Questo ha consentito di eseguire un confronto fra i risultati del prototipo e i singoli analizzatori, oltre che un confronto fra le due catene strumentali commerciali. In *tabella 1* si riportano i dettagli della strumentazione utilizzata.

Ogni serie di misure è stata effettuata tramite l'acquisizione in modalità *channel power*, impostando le tracce in *average*,

min hold e *max hold* e analizzando i segnali, per ciascuna banda di frequenza, dell'unico operatore presente sulla Srh in linea di vista. Non disponendo di dispositivi per la forzatura del traffico, al fine di rendere efficace il confronto per ogni banda di frequenza, sono stati confrontati set di dati acquisiti contemporaneamente dalle tre catene strumentali.

I risultati delle misure sono riportati nel grafico in *figura 1*.

Per poter eseguire il confronto fra le

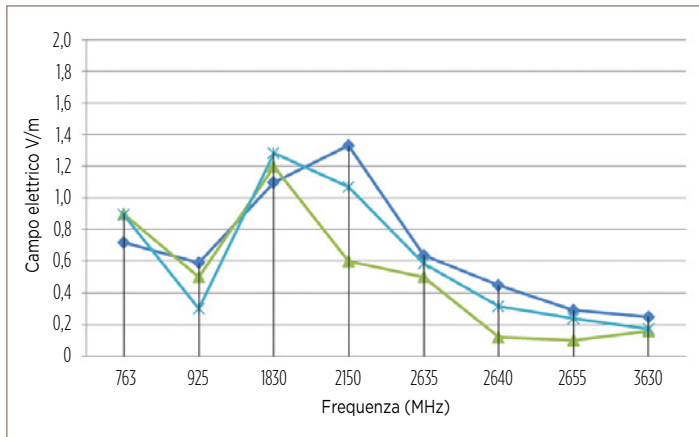
misure sopra riportate, è stato calcolato l'indice di compatibilità, o errore normalizzato, fra i risultati forniti dalla centralina e le singole misure eseguite con i due analizzatori di spettro. Tale procedura è mutuata dalla norma Iso 17043/2023 appendice B, che è preposta al confronto di due misure di cui una sia una misura di riferimento (procedura valida per i laboratori metrologici), ed è molto utile anche nel nostro caso perché ci consente di calcolare l'indice di compatibilità fra le misure eseguite. Dai dati ottenuti si evince che, per valori di campo superiori a 0,6 V/m, si ha una buona compatibilità fra le misure rilevate con la centralina e quelle eseguite con gli analizzatori di spettro commerciali. Anche gli analizzatori di spettro risultano fra loro in buon accordo per segnali significativi. I risultati ottenuti sono decisamente incoraggianti e meritano ulteriori approfondimenti al fine di rendere quanto più affidabile possibile la procedura di misura appena descritta e il dato ottenuto. Infatti l'uso di un siffatto sistema di monitoraggio in continuo a banda stretta consentirebbe di superare la problematica relativa alla forzatura del traffico durante una misura di campo elettrico necessaria, allo stato attuale, per poter escludere il superamento dei limiti quando si eseguono misure di breve durata. Infatti la centralina eseguendo misure nell'arco delle 24 ore fornisce un valore medio che tiene già in conto la variabilità temporale intrinseca al segnale 5G o, comunque, intrinseca ai segnali caratterizzati da una considerevole variabilità temporale.

Inoltre, è stato possibile verificare che il valore medio del campo elettrico misurato nell'arco delle 24 ore è, per tutti i segnali rilevati, sempre inferiore o, al più, uguale rispetto a quanto si rileva durante una misura di breve durata eseguita al mattino nella fascia oraria di massimo traffico (13.00-14.00). Pertanto se ne deduce che, nel contesto in esame, una misura di breve durata che restituisca un risultato inferiore rispetto al valore di attenzione, garantisce il non superamento dello stesso essendo una misura che restituisce un valore sovrastimato rispetto al campo elettrico medio. Il prototipo esaminato è in fase di ulteriori test anche in diversi contesti territoriali.

FIG. 1
RISULTATI
DELLE MISURE

Confronto fra i set di dati acquisiti con le tre catene strumentali.

◆ Anritsu
▲ Prototipo centralina
✕ Srm



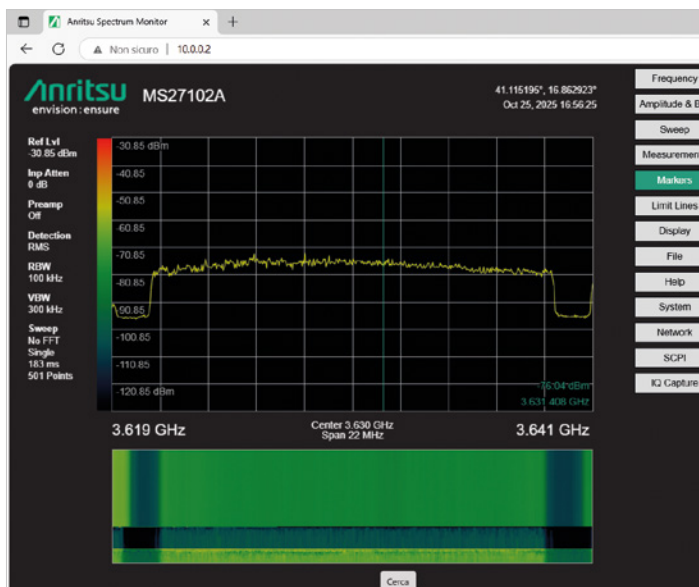
TAB. 2
CONFRONTO
FRA I DATI ACQUISITI
CON IL PROTOTIPO
DI CENTRALINA

Mediati su 24 ore e mediati su un ora (massimo traffico)

Frequenza centrale (MHz)	Prototipo centralina selettiva 24h (campo elettrico ± incertezza V/m)	Prototipo centralina selettiva 13.00-14.00 (campo elettrico ± incertezza V/m)
763	0,6±0,2	0,9±0,2
927	0,4±0,1	0,5±0,1
1830	0,9±0,2	1,2±0,2
2150	0,4±0,1	0,6±0,1
2635	0,4±0,1	0,5±0,1
2640	0,1±0,02	0,12±0,2
2655	0,1±0,02	0,1±0,02
3630	0,1±0,02	0,16±0,03

FIG. 2
MISURA

Esempio di acquisizione della misura in Channel Power con il prototipo di centralina.



Maddalena Schirone^{1,2},
Tiziana Cassano¹, Lucia Barbone¹

Arpa Puglia

1. Servizio agenti fisici

2. Direttrice servizio territoriale

AGRIVOLTAICO, IL RUOLO DELLE LINEE GUIDA ISPRA

IL PERCORSO VERSO LA NEUTRALITÀ CLIMATICA AL 2050 HA IMPLEMENTATO LE RICHIESTE DI IMPIANTI FOTO E AGRIVOLTAICI. GLI STUDI DI IMPATTO AMBIENTALE PRESENTATI HANNO EVIDENZIATO UNA CARENZA DI CONTENUTI TECNICO-SCIENTIFICI. LE LINEE GUIDA DI ISPRA TENDONO A MIGLIORARE LA QUALITÀ DEI PROGETTI E CRITERI PIÙ SOLIDI DI VALUTAZIONE.

La transizione energetica è oggi uno degli obiettivi centrali delle politiche nazionali e internazionali ed è strettamente connessa agli impegni di neutralità climatica assunti dall'Unione europea, da raggiungere entro il 2050. In questo contesto, lo sviluppo delle fonti di energia rinnovabile (Fer) riveste un ruolo essenziale per ridurre, in linea con il principio di sviluppo sostenibile, le emissioni climalteranti e aumentare la resilienza energetica.

Rispetto alle più tradizionali installazioni di pannelli fotovoltaici a terra, l'agrivoltaico rappresenta la soluzione che consente di integrare la produzione di energia elettrica da fonte solare con l'attività agricola e pastorale, limitando il consumo di suolo e attenuando il tradizionale conflitto tra sviluppo economico ed energetico e tutela del paesaggio rurale, degli ecosistemi e dell'agricoltura. Gli impianti agrivoltaici di tipo "avanzato", in particolare, garantiscono multifunzionalità ed efficienza, grazie a specifiche soluzioni tecnologiche quali, ad esempio, l'installazione dei pannelli su strutture elevate, disposte in filari distanziati, e l'utilizzo di *tracker* che permettono al pannello di ruotare durante il giorno per seguire il movimento del sole o per

aumentare/diminuire l'ombreggiamento. I vantaggi di tali soluzioni sono molteplici: permettono il passaggio dei macchinari agricoli; garantiscono alle piante l'irradiazione necessaria per il loro sviluppo e crescita; migliorano il microclima sottostante; proteggono le colture da eventi meteorologici estremi; riducono l'evaporazione dell'acqua dal suolo. Se affiancate da pratiche gestionali sostenibili (ad esempio uso circolare della risorsa idrica, coltivazione biologica, minime lavorazioni del terreno, ridotto o non utilizzo di fertilizzanti e pesticidi) possono, inoltre, favorire l'aumento della biodiversità locale, migliorando lo stato dell'intero agroecosistema.

Lo sviluppo di questa tipologia di impianti è oggi supportato sia dalla pianificazione energetica nazionale sia dagli strumenti di attuazione del Pnrr, in coerenza con i principi di tutela sostenibile del territorio (articoli 9 e 41 della Costituzione, come riformati nel 2022). In tale contesto l'agrivoltaico, attraverso una progettazione sostenibile che preservi le risorse naturali e l'identità rurale dei territori, può rappresentare uno strumento operativo della strategia di adattamento climatico.

Il presente articolo, dopo una sintesi



dei principali riferimenti normativi europei e nazionali in materia di agrivoltaico, illustrerà le linee guida Ispra per la redazione degli studi di impatto ambientale (Sia), nell'ambito dei procedimenti di valutazione di impatto ambientale (Via) nazionali.

Le linee guida, pubblicate a ottobre 2025 (Ispra, 57/2025), nascono dall'esigenza di fornire un quadro tecnico-scientifico unitario e metodologicamente valido per la stima degli effetti ambientali, territoriali e paesaggistici connessi alla realizzazione degli impianti agrivoltaici. L'obiettivo principale è quello di aiutare proponenti e autorità competenti, rispettivamente, nella redazione dei Sia e nella loro valutazione, utilizzando criteri condivisi, basati su dati scientifici e su principi di sostenibilità.

Il quadro normativo

A livello globale, l'agrivoltaico risponde agli impegni assunti nell'ambito dell'Accordo di Parigi e agli obiettivi dell'Agenda Onu 2030 poiché

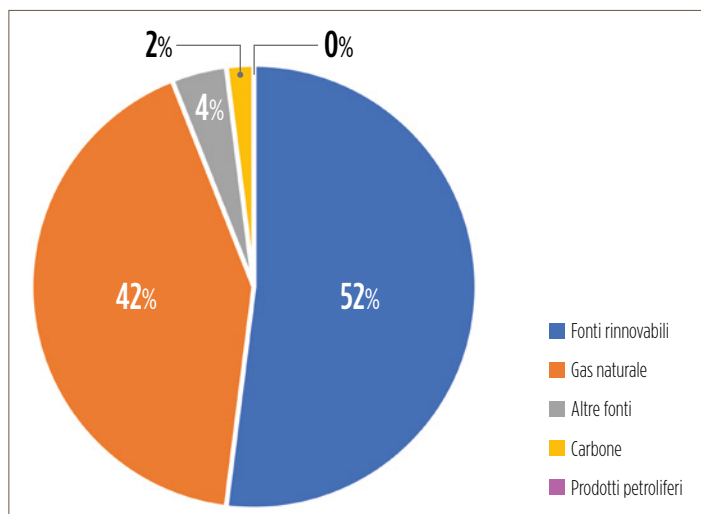


FIG. 1
MIX ENERGETICO

Composizione del mix iniziale nazionale utilizzato per la produzione dell'energia elettrica immessa nel sistema elettrico italiano nel 2024.

Fonte: Dati Gse, 2025.



FIG. 2 QUADRO NORMATIVO IN MATERIA DI FER

contribuisce a ridurre le emissioni preservando la sicurezza alimentare e, se ben progettato, l'integrità dell'ambiente. In Europa questa pratica è sostenuta dal *green deal* europeo (Com (2019) 640 final) e dalle direttive Red II (direttiva Ue 2018/2001) e Red III (direttiva Ue 2023/2413), che innalzano l'obiettivo vincolante di energia rinnovabile al 42,5% entro il 2030, puntando su procedure autorizzative più rapide (in particolare nelle "aree di accelerazione"), ma garantendo la sostenibilità ambientale e l'uso efficiente del suolo. Anche la Pac 2023-2027 (politica agricola comune; regolamenti Ue 2021/2115 e 2021/2116) lo considera un'opportunità per gli agricoltori di diversificare il proprio reddito in modo sostenibile. Ulteriori indirizzi provengono dalla strategia *Farm to fork* (Com(2020) 381), dalla *Strategia Ue per la biodiversità al 2030* (Com(2020) 380), dal Regolamento Ue sul ripristino della natura (Ue 2024/1991), dalla Strategia per il suolo al 2030 (COM (2021) 699) e dalla recente direttiva sul monitoraggio e la resilienza del suolo (direttiva Ue 2025/2360). Queste politiche convergono sull'esigenza di limitare il consumo di suolo, di tutelare la biodiversità agricola e di promuovere usi integrati e sostenibili del territorio, rafforzando indirettamente il ruolo dell'agrivoltaico. In ambito nazionale, sulla base delle suddette indicazioni internazionali e comunitarie, è stato sviluppato un complesso sistema di interventi normativi e programmatori, volti non solo

all'incremento della capacità produttiva da fonti rinnovabili e alla semplificazione dell'iter autorizzativo, ma anche alla riduzione dell'impatto territoriale e ambientale degli impianti Fer. La necessità di aumentare la produzione di energia da fonti rinnovabili, infatti, ha generato un evidente conflitto con la tutela della risorsa suolo, già interessata da fenomeni di degrado e artificializzazione, che potrebbe essere sottratta in modo irreversibile alla funzione produttiva primaria, in particolare nel caso della realizzazione di impianti fotovoltaici a terra. In tale quadro, si inserisce la progressiva valorizzazione dell'agrivoltaico, inteso come integrazione funzionale tra produzione energetica rinnovabile e uso agricolo del territorio. La differenza rispetto al fotovoltaico a terra "tradizionale" diventa non puramente strutturale, ma funzionale: l'impianto agrivoltaico è concepito come parte integrante del sistema produttivo agricolo e non come semplice occupazione di un'area. I principali strumenti normativi nazionali, che hanno portato al consolidamento definitivo di questa materia attraverso il testo unico sulle fonti energetiche rinnovabili, sono: - il Dlgs 199/2021 e le sue successive modifiche, di recepimento della Red II, che riorganizza i sostegni e le procedure autorizzative - la revisione 2024-2025 del Piano nazionale integrato per l'energia e il clima (Pniec) che innalza i target di produzione da Fer al 2030

- il decreto Agrivoltaico (Dm 27 maggio 2022) che individua i requisiti tecnici e gestionali necessari per accedere ai meccanismi incentivanti finanziati, in larga parte, attraverso il Pnrr - il testo unico sulle fonti energetiche rinnovabili (Tu Fer, Dlgs 190/2024), che riordina ulteriormente la disciplina, semplificando i procedimenti amministrativi - il DI 175/2025 (convertito nella legge 4/2026), attraverso le modificazioni apportate al Tu, che fornisce la definizione tecnica di impianto agrivoltaico, descrivendolo come "impianto fotovoltaico che preserva la continuità delle attività colturali e pastorali sul sito di installazione. Al fine di garantire la continuità delle attività colturali e pastorali, l'impianto può prevedere la rotazione dei moduli collocati in posizione elevata da terra e l'applicazione di strumenti di agricoltura digitale e di precisione" (art. 4, comma 1, punto f-bis del Dlgs 190/2024). Tale decreto, inoltre, disciplina l'individuazione delle "aree idonee" all'installazione di impianti Fer, in aggiunta a quelle definite come tali dalla norma nazionale, da parte delle Regioni. Queste, in particolare, sono tenute ad adottare criteri e strumenti di pianificazione che integrino obiettivi energetici e tutela territoriale e semplificare i regimi autorizzativi per impianti ricadenti in aree idonee, con pareri paesaggistici obbligatori ma non vincolanti.

Le linee guida Ispra

Gli impianti agrivoltaici restano soggetti alle ordinarie procedure previste dalla normativa energetica e ambientale: l'autorizzazione unica di cui al Dlgs 387/2003 e, ove necessario, la Via pervista dal Dlgs 152/2006 e smi. Pur permanendo questioni interpretative, circa il rapporto fra sviluppo delle Fer e la disciplina paesaggistica e ambientale, nonché la coesistenza con divieti e limitazioni in materia di uso del suolo agricolo introdotti da altre norme (es. Dl Agricoltura 2024), il quadro normativo italiano riconosce specifiche agevolazioni procedurali laddove la continuità delle attività agricole sia garantita da configurazioni impiantistiche adeguate. Il veloce sviluppo delle tecnologie per la produzione di energia da fonti rinnovabili, le agevolazioni in questo campo nonché la necessità di raggiungere gli obiettivi nazionali fissati dalle normative hanno portato a un conseguente aumento della richiesta di autorizzazioni ambientali per la realizzazione degli impianti Fer. Tuttavia, l'esperienza maturata da Ispra nell'analisi di un numero sempre crescente di progetti di impianti Fer sottoposti a Via, nell'ambito del supporto tecnico-scientifico che l'istituto fornisce alla Commissione tecnica di Via/Vas (Ctva) del Mase, ha messo in luce una diffusa non esaustività tecnico-informativa dei Sia presentati, con conseguente aumento delle richieste di integrazione e delle condizioni ambientali imposte nei decreti di compatibilità e un significativo allungamento dei tempi procedurali. Nel maggio 2024 il Ministero dell'Ambiente e della sicurezza energetica (Mase) ha pertanto avviato, attraverso l'istituzione di un tavolo

TAB. 1
TEMATICHE
AMBIENTALI

Tematiche da analizzare negli studi di impatto ambientale per impianti fotovoltaici e agrivoltaici.

Tematiche ambientali	
Fattori ambientali	Biodiversità
	Suolo, uso del suolo e patrimonio agroalimentare
	Geologia
	Acque sotterranee
	Acque superficiali
Agenti fisici	Clima, qualità dell'aria e modellistica, emissioni in atmosfera
	Paesaggio, patrimonio culturale e beni materiali
	Rumore
	Vibrazioni
	Campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici

tecnico, un confronto tecnico-istituzionale con Ispra e Invitalia, al fine di definire un modello standardizzato per la redazione degli studi di impatto ambientale (Sia) relativi a impianti fotovoltaici, agrivoltaici ed eolici *onshore* e *offshore*. Il tavolo ha, quindi, individuato due obiettivi specifici: il primo, affidato a Ispra, consiste nell'elaborazione di strumenti metodologici, sotto forma di linee guida specifiche per tipologia di impianto Fer, concepiti come riferimento operativo per la redazione di Sia strutturati, coerenti e completi, in grado di includere in modo sistematico le informazioni, i dati e i riferimenti indispensabili per la valutazione degli impatti ambientali; il secondo obiettivo, assegnato a Invitalia, riguarda lo sviluppo di una piattaforma informatica, finalizzata a supportare i proponenti nell'individuazione delle informazioni essenziali per la redazione dei Sia, consentendo l'informatizzazione e l'applicazione operativa delle linee guida. Il primo prodotto elaborato da Ispra sono state le *Linee guida per la redazione del Sia per impianti fotovoltaici e agrivoltaici* (Manuali e linee guida Ispra. 57/2025) che integrano il quadro normativo definito dal Dlgs 152/2006 e dalle linee

guida Ispra/Snpa 28/2020, specificando contenuti minimi, metodologie e modalità operative per la valutazione ambientale di tali impianti. Le linee guida rappresentano uno strumento di semplificazione e razionalizzazione del processo autorizzativo, in quanto individuano in modo chiaro e univoco il set minimo di contenuti tecnici imprescindibili per la redazione dei Sia, favorendo la presentazione di studi completi e coerenti e contribuendo, di conseguenza, alla riduzione delle integrazioni istruttorie, delle prescrizioni ambientali e alla complessiva velocizzazione dell'iter autorizzativo. Le linee guida adottano un impianto metodologico uniforme che, per ciascuna delle dieci tematiche ambientali da analizzare nei Sia, prevede l'analisi, a diverse scale territoriali (area vasta e area di sito¹) e supportata da dati, indicatori ed elaborati cartografici, delle potenziali interferenze fra opera e ambiente. Nel dettaglio, il Sia deve far emergere come gli obiettivi perseguiti con la realizzazione dell'opera, la localizzazione dell'impianto e le soluzioni progettuali scelte siano coerenti con la normativa nazionale e regionale, con il contesto



RENDERING ENERGY PARK PAENZA. IMMAGINE MEMORA SAS

Fase impianto	Interferenze critiche	Strategie di mitigazione e gestione	Note tecniche e parametri di controllo
Pianificazione	Conflitto con suoli di pregio e perdita di biodiversità agricola	Selezione aree tramite cartografia pedologica; tutela rigorosa di Dop, Igp, Doc e Bio	Vur (valore uso suolo): almeno il 70% della superficie deve restare agricola; moduli max 40% dell'area
Cantiere	Compattazione, erosione e rimescolamento degli orizzonti del suolo	Stripping differenziato del topsoil; stoccaggio in cumuli di altezza limitata per preservare l'attività biologica	Protezione fisica: limitazione del carico per asse dei mezzi e ripristino della porosità del suolo post-lavori
Esercizio (agronomico)	Variazione del microclima e della radiazione solare (ombreggiamento)	Piani colturali con specie sciafile (es. patata, spinaci); rotazioni per il mantenimento della fertilità	Monitoraggio rese: confronto costante tra produzione effettiva e dati dei fascicoli aziendali pre-impianto
Esercizio (pedologico)	Alterazione chimico-fisica e idrologica; erosione localizzata (dripping)	Gestione delle acque meteoriche; campionamenti sistematici del suolo nelle particelle dell'impianto	Analisi stratigrafica: monitoraggio del topsoil (0-30 cm) e subsoil (30-60cm) carbonio, pH, tessitura
Dismissione	Rischio di degrado permanente e compromissione delle infrastrutture rurali	Rimozione completa delle strutture; ripristino delle reti irrigue e della funzionalità idraulica	Stato ante operam: il ripristino deve garantire condizioni agroecologiche equivalenti a quelle originarie

TAB 2 INDICAZIONI PER IL FATTORE "SUOLO, USO DEL TERRITORIO E PATRIMONIO AGROALIMENTARE"

territoriale, socio-economico e pianificatorio di riferimento e siano basate sull'adozione delle migliori tecniche disponibili (Bat). L'analisi delle alternative possibili deve far emergere l'adozione di scelte sostenibili, quali l'utilizzo di aree già compromesse o degradate a tutela del patrimonio naturale e agroalimentare, che minimizzi il consumo di suoli a denominazione protetta. Parametri quali tipologia dell'impianto, disposizione e altezza dei moduli, densità, orientamento e colorazione definiscono, inoltre, il livello di ottimizzazione delle prestazioni energetiche previsto e concorrono all'inserimento nel contesto territoriale. L'inquadramento progettuale e l'analisi della coerenza con la pianificazione territoriale sono funzionali all'analisi dello scenario di base, che rappresenta lo stato delle matrici ambientali considerate e costituisce il riferimento per la valutazione dei potenziali impatti nelle diverse fasi di vita dell'opera. L'analisi delle interazioni tra progetto e ambiente deve considerare le diverse fasi di vita dell'opera (fase di cantiere, di esercizio ed eventuale dismissione) al fine di poter individuare e quantificare tutti gli effetti negativi, diretti e indiretti, reversibili e irreversibili, temporanei e permanenti, a breve e lungo termine, generati dalle azioni di progetto, orientando la definizione delle misure di mitigazione e compensazione. Devono essere valutati anche gli impatti cumulativi rispetto ad altre opere esistenti e/o approvate. Il Sia, infine, deve essere completato dal Progetto di monitoraggio ambientale (Pma), strumento operativo votato alla verifica degli impatti previsti

nello studio e dell'efficacia degli interventi mitigativi e compensativi definiti, che accompagnerà l'opera durante tutte le sue fasi.

A titolo esemplificativo, nelle linee guida per il fattore "acque superficiali" viene richiesta un'analisi che affronti gli aspetti idraulici includendo dati geomorfologici, climatici e idrologici, informazioni sulle precipitazioni di massima intensità e sull'idrologia di piena, nonché una valutazione quantitativa basata sull'interazione del progetto con le rappresentazioni cartografiche, quali mappe di pericolosità, aree allagabili e mappe di rischio. Devono essere fornite anche informazioni sulle reti di monitoraggio esistenti e sugli indici, indicatori e parametri monitorati, includendo considerazioni sugli aspetti di sostenibilità della risorsa idrica, con riferimento al censimento degli usi, agli indicatori di bilancio idrico e ai fenomeni di carenza idrica e siccità. In fase di cantiere le principali interferenze riguardano il consumo di risorsa idrica, lo scarico di acque verso i corpi idrici superficiali e l'esecuzione di lavori in alveo, mentre in fase di esercizio assumono rilevanza il consumo idrico per la pulizia dei pannelli e l'irrigazione, gli scarichi, le interferenze con le condizioni di deflusso e l'eventuale arricchimento delle acque dovuto all'uso di nutrienti come fertilizzanti. A fronte di tali interferenze devono essere individuate misure di mitigazione e compensazione sia per la fase di cantiere sia per la fase di esercizio, per le quali le linee guida riportano alcuni esempi. Il proponente è, infatti, tenuto a identificare le azioni più opportune caso-specifiche per

ridurre gli impatti ambientali, anche per interferenze non esplicitamente trattate, come ad esempio l'adozione di sistemi di laminazione delle portate e di trattamenti delle acque prima dello scarico.

Per quanto riguarda invece il suolo, uso del territorio e patrimonio agroalimentare si riporta sempre a titolo esemplificativo la *tabella 2* in cui si riassumono gli elementi di tutela pedologica, i requisiti agronomici e le strategie di mitigazione per impianti agrivoltaici.

Conclusione

È fondamentale considerare che la gestione sostenibile di un impianto agrivoltaico in riferimento alla tutela agronomica si misura attraverso tre indicatori chiave:

- continuità culturale: l'attività agricola deve essere una produzione documentata e vitale per l'intera durata della vita utile dell'impianto
- bilancio del carbonio: il mantenimento del carbonio organico nel suolo è un indicatore della salute biologica edifica (qualità biologica del suolo)
- biodiversità associata: l'impianto agrivoltaico deve agire come un agroecosistema che preserva e, dove possibile, incrementa le nicchie ecologiche locali.

Saverio Venturelli, Flavia Caramelli, Giuseppe Trinchera, Massimo Gabellini

Ispra

NOTE

¹ Area vasta: ambito territoriale entro il quale si esauriscono gli effetti significativi, sia diretti sia indiretti, dell'intervento; area di sito: porzione di territorio direttamente interessata dagli interventi previsti dal progetto un significativo intorno di ampiezza tale da poter comprendere i fenomeni in corso o previsti. Gli approfondimenti di scala di indagine possono essere limitati all'area di sito.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Snpa, 2020, *Valutazione di impatto ambientale. Norme tecniche per la redazione degli studi di impatto ambientale*, Linee guida 28/2020, Isbn 978-88-448-0995-9.

Ispra, 2025, *Linee guida per la redazione degli studi di impatto ambientale relativi ad impianti agrivoltaici e fotovoltaici*, Manuali e linee guida 57/2025, Isbn 978-88-448-1281-2.

CITIZEN SCIENCE, SALUTE E INCLUSIONE

ALCUNE ESPERIENZE DALLA CONFERENZA CITIZEN SCIENCE FOR HEALTH CHE SI È TENUTA A ZURIGO IL 6-7 NOVEMBRE 2025. UN FOCUS SULL'INCLUSIONE DI PERSONE CON DISABILITÀ IN RELAZIONE ALLE TEMATICHE AMBIENTALI È STATO PRESENTATO DAL PROGETTO "ONE HEALTH CITIZEN SCIENCE", CON UN'ESPERIENZA CONDOTTA IN SARDEGNA.

La *citizen science* è diventata di gran moda, e questa è una bella notizia: si moltiplicano le iniziative che coinvolgono i cittadini, e le occasioni per attivarsi e costruire nuove conoscenze. Tutto questo aiuta a contribuire alla ricerca e a far crescere consapevolezza, partecipazione e creatività. Snpa aveva lanciato la propria strategia in merito già nel 2019, approvando il "Decalogo Snpa per la citizen science" (www.snpambiente.it/notizie/snpa/il-decalogo-snpa-per-la-citizen-science). Gli argomenti sono diversi e dipendono dalla storia e dalla cultura dei territori: l'ambiente ha un posto di rilievo, con salute, astronomia, architettura. Si lavora spesso in gruppi multidisciplinari e entrano arte, formazione e piattaforme informatiche, mentre pace, giustizia e equità attraversano molti interventi. In ogni caso i cittadini, promotori delle iniziative o coinvolti da ricercatori e istituzioni, producono dati e conoscenze in modo attivo e possono partecipare all'elaborazione dei risultati, diventando autori delle pubblicazioni scientifiche collegate.

L'associazione Citizen Science Italia (www.citizenscience.it), nata nel 2023 con la sua prima conferenza a Pisa, ha attivato tre gruppi di lavoro su salute, educazione e giovani e opera all'interno della rete della *European citizen science association* (Ecsa, www.ecsa.ngo/ecsa), che conta venti gruppi di lavoro attivi. Il 6 e 7 novembre 2025 il gruppo *Citizen science for health* dell'Ecsa ha organizzato a Zurigo la conferenza "Citizen science for health 2025" (www.cs4health2025.uzh.ch), un'occasione preziosa per raccogliere esperienze e stimolare la discussione sulle potenzialità della *citizen science*. Due giorni intensi per comprendere l'orientamento di questa comunità di ricercatori, istituzioni e rappresentanti dei cittadini: numerose le iniziative con pazienti, orientate all'inclusione e alla produzione di



FOTO: UNIVERSITÄT ZÜRICH

conoscenze, dal disegno degli studi alla loro realizzazione e alla comunicazione con l'esterno. Interessante la proposta di mini-conferenze di circa un'ora, le *solution rooms*, dedicate alla discussione di problemi concreti e pratiche partecipative. Tra queste, "Il paradosso della reciprocità nella ricerca-azione partecipativa", che ha sollecitato una riflessione su ascolto, uguaglianza e apertura: cosa succede quando non si cerca attivamente la reciprocità ma ci si limita a rimanere presenti? Come possiamo allinearci meglio ai ritmi delle comunità? In un'altra *solution room* si è affrontato il tema del coinvolgimento degli stakeholder nella gestione dei disastri e delle emergenze legate al cambiamento climatico, a partire dalla cornice del *Sendai framework for disaster risk reduction (2015-2030)*, che promuove il passaggio da approcci *top-down* a modelli partecipativi e *whole-of-society*. La revisione mostra che il coinvolgimento dei cittadini, pur riconosciuto, resta frammentato e frenato da barriere che penalizzano le comunità più vulnerabili. Tra i fattori abilitanti emergono metodologie partecipative locali, saperi esperienziali e nuove alleanze tra cittadini e istituzioni.

La *citizen science* è indicata come strumento per ridurre il divario tra politiche climatiche e pratiche territoriali, orientando la gestione del rischio alla giustizia ambientale.

Uno dei temi era la salute mentale, con esperienze di *citizen science* rivolte a giovani e adolescenti, che tendono a usare poco i servizi formali e a cercare supporto nelle reti informali. Il progetto *Reach out right* ad esempio ha mostrato come strumenti partecipativi di mappatura dei sistemi comportamentali possano evidenziare barriere ed elementi facilitanti nella ricerca di aiuto, integrando competenze di salute mentale, scienze comportamentali e pensiero sistemico.

Il tema del cibo è stato esplorato con il progetto europeo HealthFerm, in cui oltre mille cittadini di 33 paesi hanno contribuito con campioni e informazioni sulle pratiche di fermentazione, ricevendo report personalizzati sul microbioma. L'iniziativa ha mostrato che la restituzione dei dati rafforza fiducia, partecipazione e il legame tra ricerca e culture alimentari quotidiane.

Ambiente e salute sono emersi da diverse prospettive: dalla dimensione urbana,

con problemi di vivibilità, trasporti, riscaldamento ed eventi estremi, fino all'esperienza dei *Virus hunters* a New York, presentata come esempio di formazione orientata alla prevenzione delle pandemie. Numerosi i contributi di associazioni di pazienti e soggetti vulnerabili, con un miglioramento della qualità delle conoscenze quando si sviluppano percorsi di formazione tra pari.

Inclusione, disabilità, ambiente e salute

Tra le presentazioni dall'Italia, uno dei progetti finanziati dal Ministero della Salute (Pnc-Pnrr, v. *Ecoscienza* 4/2025) affronta la vulnerabilità delle comunità in aree fortemente inquinate, coinvolgendo gli attori sociali. *One health citizen science*, coordinato dalla Regione Veneto, è attivo in cinque siti di interesse nazionale (Sin) e in due aree inquinate (<https://partecipa.poliste.com/assemblies/OHCS>) e ha portato a Zurigo un'esperienza maturata nel Sulcis Iglesiente: l'inclusione della disabilità¹.

In collaborazione con la Fondazione Anffas, che promuove l'inclusione delle persone con disabilità intellettiva e relazionale attraverso l'auto-rappresentanza e la cittadinanza attiva, Ohcs ha sviluppato un percorso interdisciplinare su ambiente e salute.

Le educatrici e gli educatori Anffas hanno seguito una formazione sulla comunicazione del rischio in aree ad alto rischio ambientale e sui contenuti

del questionario Ohcs su percezione del rischio, fonti informative e fiducia; poi hanno tradotto in questionario in linguaggio facile da leggere (*easy to read*), certificato a livello europeo dalla fondazione (www.anffas.net/it/linguaggio-facile-da-leggere/linee-guida). Utilizzando la nuova versione arricchita da illustrazioni, il personale educativo ha proposto il questionario agli utenti del centro Anffas di Iglesias.

L'iniziativa è stata un'esperienza formativa coinvolgente e innovativa per gli educatori, che ha stimolato una riflessione sulla comunicazione accessibile e sulla partecipazione delle persone con disabilità intellettiva ai processi di valutazione e ricerca. "Questo progetto ci permette di andare un passo oltre... e sentirmi anche io l'ago della bilancia verso il cambiamento", ha raccontato Giulia, una delle giovani partecipanti, durante un intervento pubblico a Iglesias alla chiusura della *Summer school* su salute e ambiente del 20 giugno 2025, davanti al pubblico, ai rappresentanti delle istituzioni e del Terzo settore. Grazie al lavoro di Anffas, 41 partecipanti hanno espresso preoccupazioni legate soprattutto a inquinamento di acqua e aria, cambiamento climatico, industria e cibo. Oltre la metà si ritiene poco informata sui rischi ambientali; la principale fonte è internet, mentre i media tradizionali sono meno usati. La fiducia è rivolta soprattutto a medici e associazioni, più bassa verso autorità locali e altri attori istituzionali. L'esperienza è significativa perché, per la prima volta nel Sulcis, è stato raccolto

in modo strutturato il punto di vista delle persone con disabilità intellettiva su ambiente e salute, un contributo importante per costruire azioni condivise di prevenzione e protezione nelle aree a forte pressione ambientale.

Le evidenze presentate a Zurigo e i casi territoriali mostrano che la *citizen science* inclusiva e formativa migliora la qualità dei dati, promuove equità e genera impatti misurabili sulla salute pubblica, contribuendo a decisioni più informate. Dai contributi europei al percorso del Sulcis Iglesiente emerge la capacità di questi approcci di rafforzare la salute delle comunità e la qualità delle decisioni pubbliche, orientando pratiche e politiche verso maggiore giustizia ambientale e sanitaria.

La compilazione del questionario di Ohcs è aperta a tutti quelli che vogliono partecipare all'indirizzo: <https://bit.ly/questionario-OHCS>

Liliana Cori¹, Simona Quaglia Meloni²

1. Istituto di fisiologia clinica, Consiglio nazionale delle ricerche (Ifc-Cnr)
2. Università degli studi di Cagliari

NOTE

¹ Ohcs è realizzato con il supporto tecnico e finanziario del Ministero della Salute – Pnc, Programma Salute, ambiente, biodiversità e clima, Linea di investimento 1.4. Il progetto con Fondazione Anffas in Sardegna è coordinato dall'Università di Cagliari (prof. Minerba), in collaborazione con l'Istituto di fisiologia clinica del Cnr.



ECO-LOGOS

Pensiero ecologico, ruolo della scienza, riflessioni sugli esseri umani e il loro rapporto con il pianeta

PUNTO DI NON RITORNO, RISCHIO NON A MISURA D'UOMO

Mario C. Cirillo • Già direttore del Dipartimento per la valutazione, i controlli e la sostenibilità ambientale dell'Ispra



FOTO: M. PALMER SU UNSPLASH

Secondo studi recenti un drastico e ostile mutamento del clima, da cui è impossibile tornare indietro (*tipping point*, punto di non ritorno), non è un'ipotesi remota, ma una possibilità più concreta e vicina di quanto non si pensasse qualche anno fa.

Il *tipping point* che sta focalizzando l'attenzione è il collasso dell'*Atlantic meridional overturning circulation* (Amoc), la corrente che spazza l'oceano Atlantico su ambedue gli emisferi, caratterizzata da un flusso di acqua calda dall'emisfero Sud a quello Nord negli strati superiori, e da un flusso inverso di acqua fredda in profondità. L'Amoc trasporta immense quantità di calore – 50 volte i consumi energetici dell'umanità – dall'emisfero australe a quello boreale. Questa corrente, che confluisce nella corrente del Golfo, rende temperato il clima dell'area euroatlantica, un suo stop causerebbe un drammatico abbassamento delle temperature nell'Europa Nord-occidentale. Ci sarebbe inoltre un aumento in frequenza e/o intensità degli eventi estremi e lo spostamento verso sud delle zone di pioggia tropicali, con enormi impatti sull'agricoltura e sulla foresta amazzonica. Questa gigantesca quantità di calore, non trasferendosi all'emisfero Nord, imprimerebbe un'accelerazione alla fusione della calotta polare, già instabile, del *West Antarctica*, con innalzamento del livello del mare dell'ordine dei metri

nell'arco di 50-150 anni; le conseguenze sarebbero città costiere sommerse – tra cui Venezia e Napoli, tanto per restare in Italia – e colossali fenomeni migratori: l'innalzamento medio di un centimetro a livello globale espone all'inondazione delle coste circa 6 milioni di persone.

Contrariamente agli ultimi rapporti dell'Ipcc (*Intergovernmental panel of climate change*, l'organo Onu sui cambiamenti climatici) che indicano questi eventi non molto probabili nel breve periodo, gli studi più recenti indicano la possibilità di collasso dell'Amoc nell'arco di questo secolo, soprattutto se si continua a emettere gas serra ai ritmi attuali. Il riscaldamento climatico può spingere l'Amoc fuori dallo stato di equilibrio, e questo è già accaduto, l'ultima volta circa 12.000 anni fa; oggi è peggio perché il riscaldamento antropico è decine di volte più veloce dei cambiamenti climatici naturali del passato.

Il collasso dell'Amoc è un salto di qualità rispetto alla crisi climatica in essere: nessuna misura di adattamento potrebbe far fronte agli impatti. L'imperativo è evitare il punto di non ritorno, ma le azioni da fare a livello globale per contrastare il rischio di collasso sono immani, sia per entità che per tempistica¹: lo spirito del tempo non sembra quello ideale. Sulla questione climatica c'è un'enorme polarizzazione, a scapito di un dibattito lucido e

razionale. Il discorso non è solamente scientifico, ci sono di mezzo visioni valoriali differenti e talora contrapposte, oltre che enormi interessi economici. Si tratta di prendere decisioni dalle immense conseguenze pratiche e dalle profonde implicazioni etiche. C'è un enorme macigno sull'approccio che dice: "Non siamo certi che ci sarà il superamento del punto di non ritorno, e a fronte di ciò riteniamo più vantaggioso non prendere alcun provvedimento. Quanto meno vogliamo attendere ulteriori evidenze". Il punto è che quando avremo certezze sarà troppo tardi. Il dilemma è: siccome non siamo sicuri al 100% che ci sarà a breve il punto di non ritorno, continuare come prima; oppure, poiché c'è una probabilità non trascurabile che possa essere superato a breve, cambiare radicalmente marcia. Questa cosa dovrebbe interpellare anche scettici e negazionisti, in primis Donald Trump e quanti sono concentrati solo sul presente – moda diffusissima oggi – e totalmente disinteressati del futuro, sia pure prossimo.

Si parla di *emergenza climatica*, ma è tutt'altro che un'emergenza: i primi studi sono dell'800. Il 4 novembre 1959 negli Usa l'allarme fu dato da Edward Teller, il "padre" della bomba H. Le grandi compagnie petrolifere, percependo una minaccia ai loro colossali affari, fin dagli anni '60 del secolo scorso si sono prodigate per minimizzare o addirittura negare il problema. Il 17 gennaio 1961 il presidente Eisenhower nel suo discorso d'addio mise in guardia contro il "complesso militare-industriale". Oggi alle lobby delle armi e dei combustibili fossili si è aggiunta la lobby delle *big tech* e dell'intelligenza artificiale. Il Department of energy Usa ha pubblicato, a fine luglio 2025, il rapporto *A critical review of impacts of greenhouse gas emissions on the US climate*, dove si sostiene che il riscaldamento dovuto ai gas serra è meno dannoso economicamente di quanto si creda, e che le strategie di riduzione delle emissioni sono più nocive che benefiche.

Del clima il vero nemico – mi duole dirlo – sono gli Usa, da sempre. Trump è solo il più estremo e istrionesco di uno stuolo di presidenti e di membri del Congresso ostaggi delle lobby delle armi, dei fossili e delle *big tech*. Nel 2001 con Bush Jr. non hanno aderito al protocollo di Kyoto; oggi sono fuori dagli accordi di Parigi cui aderiscono Cina, India e Russia, pur se con orizzonti temporali diversi.

Quanto all'Europa, i veri europeisti sono i giovani, ma senza esserne consapevoli. Devono prendere coscienza che le libertà di movimento, di studio, di relazioni, di manifestare non ci sono sempre state, se non le difendono non sarà più così. I giovani che lottano per riappropriarsi del futuro vengono criminalizzati, termini come ecoterroristi sono nel gergo usuale di molti. Le strette per presunti motivi di sicurezza sulla libertà di manifestare sono segnali preoccupanti.

La crisi climatica, e in particolare i *tipping point*, non sono a misura d'uomo, non hanno le caratteristiche dei pericoli ai quali l'umanità è abituata a fare fronte, in particolare il collegamento diretto e immediato tra cause ed effetti. Pur se il riscaldamento attuale è più veloce di quelli del passato, vi è sproporzione tra tempi ed entità della crisi climatica, e i nostri tempi e percezioni: facciamo fatica a concepire la crisi climatica nella sua reale entità, perché avviene lentamente rispetto alla nostra sensibilità. Poi una realtà, quando è molto sgradevole, è difficile da accettare e si tende a minimizzarla o addirittura a negarla. La narrazione pseudoscientifica dei negazionisti, che vellica categorie mentali primordiali, ha buon gioco: con tutto il freddo che ha fatto in Ucraina e Usa come si fa a parlare di riscaldamento? Quando è proprio il riscaldamento globale che, indebolendo il *polar jet stream*, favorisce questi eventi.

La percezione è importante nel forgiare i convincimenti delle persone. Ma talvolta la percezione non corrisponde alla realtà. La difficoltà con cui si percepiscono i cambiamenti climatici porta ad anteporre altre emergenze che "emergono" nitidamente con collegamenti diretti e immediati tra cause ed effetti: la guerra, l'economia, l'immigrazione... mettendo il *climate change* in secondo piano. Nella comunicazione della crisi climatica qualcosa è andato storto, anche a causa di questa complessità. Chi si occupa di clima deve impegnarsi di più per spiegare bene la faccenda al fine di coinvolgere capillarmente l'opinione pubblica e i decisori, senza reticenze od omissioni, nonostante censure e intralci. Un esempio è la *Open letter by climate scientists to the Nordic Council of ministers* di ottobre 2024 sul rischio di collasso dell'Amoc, ma ci vuole ben altro.

Ai giovani abbiamo rubato il futuro, e a quanto pare non c'è nessuna intenzione di restituirlo. Devono riprenderselo. La nostra generazione ha rotto il patto che nel corso della storia ha legato una generazione con la successiva. I giovani devono agire, e in fretta. Se le nuove generazioni a livello globale si convincono che devono muoversi per riappropriarsi del futuro, tutto è possibile. Penso ai Paesi del Sud del mondo nei quali le proteste della Generazione Z hanno portato a trasformazioni politiche. Penso a quanto in Occidente le proteste giovanili hanno scosso le istituzioni sulla tragedia di Gaza. La Generazione Z in tutto il mondo è sensibile alla crisi climatica. Quello che manca, soprattutto in Occidente, è la convinzione che – pur con tutte le carenze delle attuali democrazie – l'impegno politico e il voto sono necessari per cambiare le cose. Per uscire dal *cul de sac* bisogna che le società civili promuovano al governo leader aderenti alla realtà, consapevoli e lungimiranti. Ci vuole un'alleanza tra chi si occupa di clima e le nuove generazioni, che hanno un compito titanico: guarire la Terra. Le premesse non sono buone, ma la partita va giocata, la posta è troppo alta: la crisi climatica, assieme al rischio bellico nucleare, mi sembra la partita più importante.

NOTE

¹ Sul punto si veda: <https://ambientenonsolo.com/crisi-climatica-e-punto-di-non-ritorno-il-dilemma/>



FOTO: M. PALMER SU UNSPLASH

LEGISLAZIONE NEWS

A cura di Area Affari istituzionali, legali e diritto ambientale • Arpa Emilia-Romagna

NOVITÀ AMBIENTALI NEL MILLEPROROGHE. NUOVO RINVIO RENTRI

Legge 27 febbraio 2026, n. 26 di conversione del decreto legge 31 dicembre 2025, n. 200 (cd "Decreto Milleproroghe").
GU n. 49 del 28 febbraio 2026

È entrata in vigore il 1° marzo 2026 la legge di conversione del decreto Milleproroghe che introduce, tra l'altro, importanti novità in campo ambientale. La prima riguarda la proroga al 15 settembre 2026 del termine per l'utilizzo del formulario di identificazione dei rifiuti (Fir) in formato cartaceo da parte dei soggetti obbligati all'iscrizione al registro elettronico nazionale per la tracciabilità dei rifiuti (Rentri). È inoltre stato disposto il differimento al 15 settembre 2026 dell'applicazione delle sanzioni per mancata o incompleta trasmissione dei dati al Rentri, offrendo un margine di tolleranza in cui gli operatori potranno scegliere se adottare fin da subito la modalità digitale o continuare a utilizzare il Fir cartaceo, per poi passare gradualmente a quello digitale. Per quanto concerne i sistemi di geolocalizzazione sui mezzi adibiti al trasporto di rifiuti pericolosi, diventeranno requisito di idoneità tecnica per l'iscrizione all'Albo nazionale dei gestori ambientali a partire dal 30 giugno 2026.

In materia di acque reflue, al fine di contrastare la scarsità idrica, sono state prorogate al 31 dicembre 2026 le procedure semplificate per il loro riutilizzo a scopi irrigui in agricoltura, una volta depurate da impianti appositi già in esercizio alla data del 15 aprile 2023. Sempre al 31 dicembre 2026 è differita l'efficacia della norma sul recupero energetico negli impianti di produzione di cemento, considerando vincolante soltanto il quantitativo massimo annuo di utilizzo, limitatamente ai quantitativi effettivamente avviati al recupero energetico.

Passando a un argomento non strettamente attinente alle tematiche ambientali, tuttavia di grande interesse per le pubbliche amministrazioni, si deve evidenziare come la legge Milleproroghe abbia differito al 1° gennaio 2027 l'obbligo per i funzionari e dirigenti pubblici di stipulare polizze assicurative contro il danno erariale. La norma, originariamente prevista dalla legge n. 1/2026, riguarda chi gestisce risorse pubbliche ed è sottoposto alla giurisdizione della Corte dei conti. La responsabilità amministrativo-contabile resta invariata, ma la copertura assicurativa obbligatoria è quindi posticipata.

PROGETTO DI LEGGE REGIONALE SU IMPIANTI ALIMENTATI DA FONTI RINNOVABILI

Delibera della Giunta regionale dell'Emilia-Romagna n. 345 del 09/03/2026 recante approvazione progetto di legge "Individuazione delle aree idonee e disciplina dell'installazione degli impianti alimentati a fonti rinnovabili nel territorio regionale".
Burert n. 35 del 13/03/2026 - Supplemento speciale

È stato recentemente approvato da parte della Giunta regionale il progetto di legge che definisce dove e come installare impianti a fonti rinnovabili sul territorio dell'Emilia-Romagna. Ora la discussione passa all'Assemblea legislativa. Il testo riconosce ulteriori aree idonee rispetto a quelle già indicate dalla legge nazionale. Sarà in particolare possibile installare gli impianti in questione anche in siti oggetto di bonifica, nelle aree degli interporti, nelle aree del territorio urbanizzato classificate come aree ecologicamente attrezzate, nei poli funzionali con destinazioni produttive esistenti, nelle cave ripristinate e, infine, per gli impianti di produzione di energia da biogas e di produzione di biometano, nelle aree classificate dal piano urbanistico generale come ambiti specializzati per attività produttive esistenti.

Per quanto riguarda l'utilizzo delle aree che hanno destinazione agricola, il progetto di legge all'articolo 4 stabilisce che l'installazione di impianti alimentati a fonti rinnovabili non può interessare una quota superiore allo 0,8% della superficie agricola utilizzata (Sau) dell'intero territorio regionale. Inoltre, in ciascun Comune della regione gli impianti alimentati a fonti rinnovabili non possono interessare una quota superiore al 2% della Sau comunale, calcolata a partire dalla data di entrata in vigore della legge stessa.

L'installazione in aree classificate come idonee (sia statali sia regionali) permette l'accesso alle semplificazioni amministrative previste dal Dlgs 190/2024. Tuttavia, la qualifica di area idonea non conferisce un diritto automatico alla realizzazione dell'impianto. La legge regionale mira a raggiungere l'obiettivo di 6,3 GW di potenza, prevedendo un incremento potenziale di 10 GW entro il 2030. È tuttavia previsto che la realizzazione degli impianti contempra misure di miglioramento ambientale e paesaggistico (non puramente monetarie) a favore dei Comuni. È disposta infine la decadenza dei titoli autorizzativi in caso di dichiarazioni false, frazionamento fraudolento dei progetti o mancata attuazione delle compensazioni.

ASSEVERAZIONI E PRESCRIZIONI AMBIENTALI. APPROVATE LE TARIFFE PER SNPA

Decreto del Ministro dell'Ambiente e della sicurezza energetica (Mase) 8 ottobre 2025.
GU n. 38 del 16 febbraio 2026

Il decreto in questione, atteso da tempo dal Sistema nazionale di protezione ambientale, determina gli importi che il contravventore è tenuto a corrispondere a Ispra e alle Agenzie ambientali per le attività previste dall'art. 318-ter, comma 4-bis, del decreto legislativo 152/2006, relative all'asseverazione e alla redazione delle prescrizioni ambientali mediante le quali è possibile estinguere i reati contravvenzionali (che non abbiano provocato danno o pericolo di danno) previsti dallo stesso testo unico ambientale. Importante l'allegato 1 del Dm in questione nel quale gli importi di cui sopra sono qualificati come segue: asseverazione tecnica 255 euro, redazione della prescrizione 322 euro, prescrizione per condotta esaurita (ora per allora) 92 euro. Nel caso in cui l'ente appartenente a Snpa rediga sia la prescrizione sia l'asseverazione tecnica, gli importi vanno sommati. Gli importi non possono in ogni caso essere superiori a una percentuale del "quarto del massimo dell'ammenda" prevista per l'estinzione del reato: 10% se l'ente redige sia la prescrizione sia l'asseverazione tecnica, 7% per la sola asseverazione. Il decreto è in vigore dal giorno stesso della sua pubblicazione in Gazzetta ufficiale, ovvero il 16 febbraio 2026.

RIFIUTO O SOTTOPRODOTTO?

Sentenza del Consiglio di Stato, Sezione IV, n. 993 del 6 febbraio 2026

Con la sentenza in commento la quarta Sezione del Consiglio di Stato ribadisce il principio secondo cui la distinzione tra sottoprodotto e rifiuto si basa sulla certezza del riutilizzo. In particolare il residuo destinato dal produttore a un'attività di riutilizzo che non può essere portata a termine nel rispetto della normativa ambientale è da qualificarsi come rifiuto. Infatti, per poterlo qualificare come sottoprodotto, è necessario che sia certo che la sostanza o l'oggetto sarà riutilizzato nel corso di un successivo processo di produzione o utilizzazione. La qualifica di sottoprodotto non può essere effettuata in astratto, ma in concreto con riferimento alla destinazione effettiva e certa del materiale e a quello specifico intervento: non rileva il fatto che il materiale possa essere utilizzato per altri scopi diversi da quelli per il quale è stato destinato.

OSSERVATORIO ECOREATI

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

IMPEDIMENTO DEL CONTROLLO E DOLO NEL DELITTO DI CUI ALL'ART. 452-SEPTIES C.P.: LA TUTELA DELLE FUNZIONI DI CONTROLLO E VIGILANZA

Cassazione penale, Sezione III, sentenza n. 6294 del 21 gennaio – 17 febbraio 2026

Le funzioni di controllo e vigilanza ambientali (e in materia di sicurezza e igiene sul lavoro) sono un bene giuridico tutelato dall'articolo 452-septies del codice penale e non possono essere compromesse o ostacolate.

La pronuncia della Corte di cassazione offre l'occasione per soffermarsi su una fattispecie poco frequentemente oggetto di applicazione tra i delitti contro l'ambiente introdotti dalla legge 22 maggio 2015 n. 68, vale a dire il delitto di impedimento del controllo di cui all'art. 452-septies del codice penale. La giurisprudenza di legittimità in materia di impedimento del controllo ambientale risulta infatti relativamente limitata: questa sentenza consente di esaminare i presupposti applicativi della fattispecie, con particolare riferimento all'elemento soggettivo del dolo e alla funzione sistematica che la norma assume nel contesto del titolo VI-bis del codice penale.

La vicenda trae origine da un'attività ispettiva svolta presso un impianto produttivo nel corso della quale, secondo quanto accertato dalle indagini e nei giudizi di merito, l'imputato aveva posto in essere condotte idonee a ostacolare l'esecuzione delle verifiche da parte degli organi di controllo preposti. In particolare, la condotta contestata si era concretizzata nel frapporre ostacoli allo svolgimento delle operazioni ispettive, impedendo di fatto il completamento degli accertamenti programmati. In concreto l'imputato, raggiunto nell'azienda da lui diretta da incaricati del controllo da parte di una società *in house* della pubblica amministrazione, dapprima opponeva di non poter attendere il tempo occorrente per lo svolgimento del loro intervento a causa della imminente pausa pranzo, poi diceva di doversene andare per lavorazioni urgenti da svolgere altrove, infine, con l'aiuto dei colleghi, prelevava la strumentazione dei preposti al controllo, portandola al di fuori dell'azienda: con ciò dimostrando il suo dolo nel voler impedire in ogni caso il controllo.

I giudici di merito hanno ritenuto che tali condotte integrassero la fattispecie prevista dall'art. 452-septies del codice penale, norma che punisce chiunque, negando l'accesso ai luoghi ovvero predisponendo ostacoli o mutando artificiosamente lo stato dei luoghi, impedisca, intralci o eluda l'attività di vigilanza e controllo ambientale. Sotto il profilo soggettivo, la fattispecie richiede la presenza del dolo, consistente nella coscienza e volontà di ostacolare l'esercizio delle funzioni di controllo. La Corte di cassazione, nel confermare le valutazioni operate dai giudici di merito, ha ritenuto sussistente il dolo, desunto dalle modalità concrete della condotta dell'imputato, che risultava consapevolmente diretta a impedire il pieno svolgimento dell'attività ispettiva. La configurabilità del delitto presuppone un comportamento intenzionalmente orientato a eludere o intralciare il controllo ambientale, non essendo sufficiente una mera irregolarità o una condotta colposa.

Nello svolgimento delle attività ispettive, di vigilanza e di controllo, è necessario quindi considerare la possibile ricorrenza di questo delitto, valutando il comportamento dei soggetti sottoposti al controllo. Nel ragionamento della Corte assume rilievo la collocazione sistematica dell'art. 452-septies c.p. nel quadro dei delitti ambientali introdotti dalla L. 68/2015, in cui trova applicazione quando la condotta di ostacolo ai controlli non integri una più grave fattispecie del titolo VI-bis, quali l'inquinamento ambientale (art. 452-bis c.p.), il disastro ambientale (art. 452-quater c.p.) o il traffico illecito di rifiuti (art. 452-quaterdecies c.p.).

La disposizione dell'art. 452-septies del codice penale si pone, inoltre, in rapporto con alcune ipotesi contravvenzionali previste dalla legislazione ambientale, tra cui l'art. 137, comma 8, del Dlgs 3 aprile 2006 n. 152, che sanziona la violazione delle prescrizioni relative ai controlli sugli scarichi. Mentre però la norma contravvenzionale riguarda specifiche violazioni settoriali della disciplina dei controlli, l'art. 452-septies c.p. tutela in senso più ampio l'effettivo esercizio delle funzioni di vigilanza ambientale, reprimendo le condotte dolose dirette a impedirne o eluderne lo svolgimento.

La contravvenzione di cui all'art. 137 del Dlgs 152/2006 si applica alle sole condotte del titolare dello scarico che non consenta l'accesso al soggetto incaricato del controllo a titolo di colpa, ovvero senza produrre intralcio o elusione delle attività di vigilanza: come si comprende si tratta di fattispecie ormai ampiamente residuale.

La pronuncia della Corte di cassazione conferma, dunque, la funzione di presidio autonomo attribuita alla fattispecie di impedimento del controllo, destinata a operare come norma di chiusura del sistema dei delitti ambientali. Attraverso tale disposizione il legislatore ha inteso rafforzare la tutela penale dell'ambiente anche sul piano procedimentale, garantendo l'effettività delle attività ispettive e di verifica, il cui corretto svolgimento costituisce presupposto imprescindibile per l'accertamento e la repressione degli illeciti ambientali.



FOTO: PIC4LIFE - UNSPLASH

MEDIATECA

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



NON C'È UN PIANETA B

Salvare il mondo correndo

Docufilm, regia di Francesco Cavalli e Diego Zicchetti, con Roberto Cavallo
Prodotto da Gruppo Icaro e Aica con il sostegno di Ricrea

Recentemente il docufilm *Non c'è un pianeta B*, che sarà a breve distribuito in Italia, ha vinto il premio come *Best climate film* al Luleå International Film Festival (Svezia).

Nato dall'omonimo spettacolo teatrale di e con Roberto Cavallo, porta sullo schermo l'urgenza della crisi climatica attraverso l'esperienza di *Keep clean and run*, la corsa a tappe che da diversi anni attraversa pezzi significativi dell'Italia per sensibilizzare sui temi ambientali.

Si chiama *plogging* la competizione in cui i protagonisti non devono solo percorrere un tratto di strada o di sentieri nel minor tempo possibile, ma devono anche portare al traguardo la quantità maggiore che riescono di rifiuti abbandonati raccolti lungo il percorso, una metafora di impegno civico e consapevolezza ambientale.

La prima edizione, nel 2015 andava da Aosta a Ventimiglia, 400 km in 8 tappe. L'ultima, nell'estate 2025, ha percorso 6 tappe lungo la via Francigena del Sud, 338 km e 500 kg di rifiuti raccolti da Albano Laziale a Benevento, incontrando 1.500 studenti e coinvolgendo 37 amministrazioni comunali.

Nel docufilm si alternano brani dello spettacolo teatrale registrati direttamente sul palco di Santarcangelo di Romagna (RN) con le musiche originali dal vivo della Quadriglia Folk Band a interviste (allo stesso Cavallo, ad altri atleti impegnati e ad altre persone impegnate nella realizzazione o incontrate nelle attività).

Un'iniziativa di sensibilizzazione che punta a tenere alta l'attenzione sulla cura del territorio, sui cattivi comportamenti ma anche (e soprattutto) sulle iniziative positive che possono donare speranza per il futuro.

Roberto Cavallo, agronomo di formazione, è divulgatore ambientale, autore di libri, imprenditore nell'ambito della consulenza tecnica e della comunicazione ambientale, ha partecipato a numerose trasmissioni radio-televisive nazionali anche in qualità di autore e fondatore, da "eco-runner", di *Keep clean and run*.

"Vedere *Non c'è un Pianeta B* premiato come *Best climate film* in un festival così prestigioso – commenta Emanuela Rosio, presidente di Aica – è il coronamento di un percorso nato dalla volontà di unire sport, spettacolo e informazione scientifica. Per Aica, questo riconoscimento conferma che la comunicazione ambientale è uno strumento politico e sociale imprescindibile per affrontare la sfida climatica del nostro tempo".

(SF)



TEMPO DI RITORNO

Una storia di clima e di fantasmi

Ferdinando Cotugno
Guanda, 2025
272 pp., 18,00 euro/11,99 euro (ebook)

La crisi climatica letta con la lente delle vicende personali (e inevitabilmente sociali) di una famiglia: è questa la felice intuizione del giornalista Ferdinando Cotugno, che ripercorre la propria storia familiare come paradigmatica dell'evoluzione dell'Italia del dopoguerra: un viaggio a ritroso nel tempo, che va

ricostruire il lavoro del nonno come operaio all'Italsider (con la lotta per uscire dalla povertà) e quello del padre camionista (insieme alla madre che gestisce la ditta di trasporti) e diventa la parabola di una "nazione fondata sui combustibili fossili", tra contraddizioni, affetti e traiettorie che segnano le esistenze. La crisi climatica, a cui l'autore dedica molto del proprio impegno professionale e culturale, si intreccia con le storie delle persone, a ricordarci che la situazione drammatica in cui si trova il nostro pianeta è anche frutto della fitta rete di relazioni, di scelte e di sentimenti che ci caratterizzano come esseri umani. (SF)

Il grande terremoto
Alla scoperta della faglia più pericolosa del Nordamerica
Kathryn Schulz

IL GRANDE TERREMOTO

Alla scoperta della faglia più pericolosa del Nordamerica

Kathryn Schulz
Internazionale - Extra large, 2026
64 pp., 7,00 euro/3,99 euro (ebook)

È il quarto libro della collana *Extra large*, uscito in edicola e nelle librerie il 6 febbraio 2026. I volumi della nuova collana dei tascabili di *Internazionale*, nata nel 2025, hanno tra le 60 e le 80 pagine e sono di piccolo formato per accogliere reportage, inchieste, articoli e racconti di grande qualità narrativa e giornalistica ma

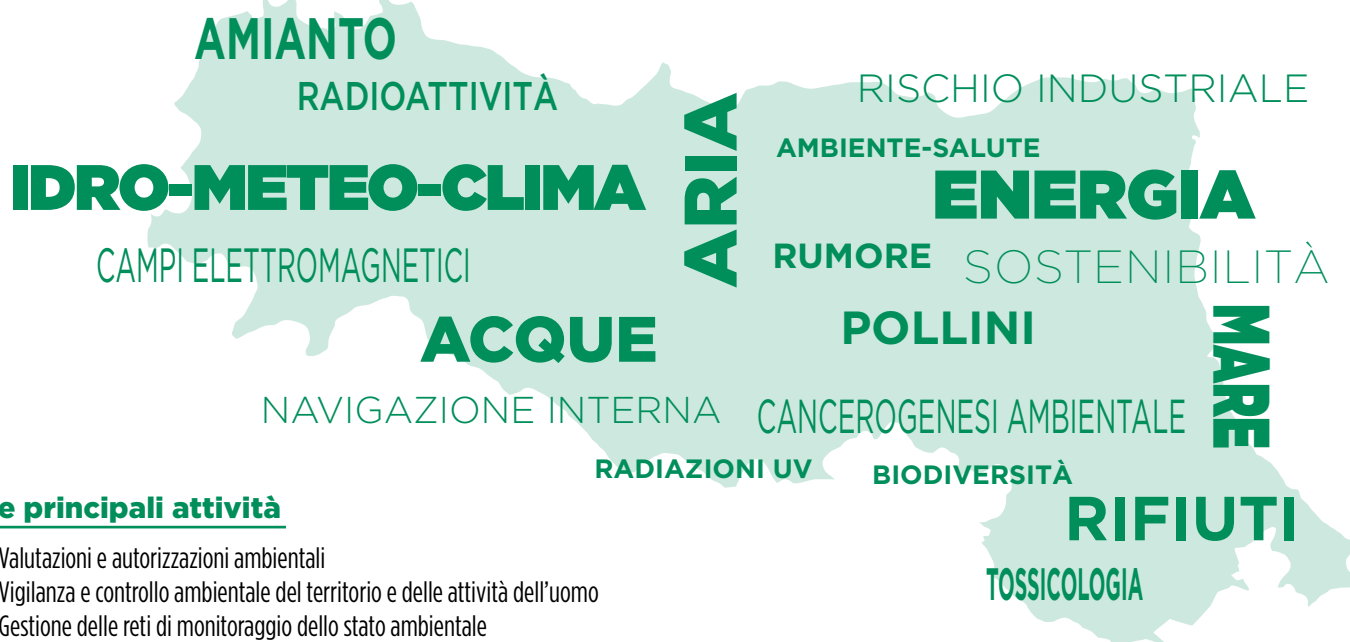
troppo lunghi per essere pubblicati sul settimanale. Le redazioni hanno deciso di non rinunciarvi e di proporli ai lettori.

L'ultima pubblicazione in ordine di tempo è dedicata ai due articoli di Kathryn Schulz, giornalista del *New Yorker* e premio Pulitzer nel 2016 proprio con il primo dei due reportage. Si tratta di uno dei pezzi più letti nella storia del giornale statunitense.

L'inchiesta ricostruisce la scoperta della faglia di Cascadia, lungo 1.100 chilometri di costa tra la California e il Canada, "che potrebbe provocare il peggior terremoto del Nordamerica", il *very big one*. Il secondo scritto è intitolato "Come rimanere al sicuro quando arriverà il grande terremoto" ed è il tentativo di Schulz, con dati e informazioni utili, di aiutare le persone che avevano letto il suo precedente e "davvero terrificante" articolo a trovare un equilibrio tra "panico (che spinge a commettere errori) e fatalismo (che porta a non fare nulla)".

Leggere i due reportage significa conoscere un'avventura scientifico-investigativa, tra *ghost forest* e tsunami orfani, e riflettere sul nostro modo di abitare il mondo. "Lo scarto tra ciò che sappiamo e ciò che dovremmo fare sta diventando sempre più grande", scrive Schulz e le sue domande riguardano tutti noi: "Come dovrebbe reagire una società di fronte a una crisi imminente, dalla tempistica incerta ma di proporzioni catastrofiche? Come può rimettersi in carreggiata quando tutte le sue infrastrutture e la sua cultura si sono sviluppate in modo da lasciarla profondamente vulnerabile ai disastri naturali?". (BG)

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

In tutto questo vuoto,
in questo enorme
ammasso di nulla che
chiamiamo universo,
c'è questa oasi, questo
posto meraviglioso in cui
possiamo vivere insieme.

Victor Glover, astronauta
missione Artemis II