

# Esperienze di “Citizen Science”

Conoscenze e strumenti per “Sentinelle dell'aria”



# QUADERNI

Ecoistituto di Reggio Emilia e Genova

---

05 | DICEMBRE 2023

## Esperienze di “Citizen Science” Conoscenze e strumenti per “Sentinelle dell’aria”

ECOISTITUTO DI REGGIO EMILIA E GENOVA  
CENTRO DI DIRITTO AMBIENTALE  
ICU ISTITUTO CONSUMATORI E UTENTI

*In ricordo di Fabio Ghersi,  
la cui infaticabile opera ha contribuito  
a migliorare l'accuratezza delle misure  
della Rete di Monitoraggio Popolare di Genova.  
Senza il suo qualificato impegno non ci sarebbero  
state le basi per realizzare questa piccola impresa.*

Supplemento a Tera e Aqua n° 132 Dicembre 2023-Gennaio 2024  
POSTE ITALIANE SpA Sped. in A. P., DL 353/2003 (conv. in L. 27/02/2004 n°46) art. 1 c. 1, NE/VE.  
Dir. resp. Michele Boato. Editore: Ecoistituto del Veneto, Viale Venezia, 7 Mestre. N° ROC 21728  
redazione: viale Venezia, 7 - Mestre tel 041.935.666 info@ecoistituto.veneto.it www.ecoistituto-italia.org  
Stampa: Eurooffset, Martellago VE

Finito di stampare nel Gennaio 2024

Quaderni di Ecoistituto Reggio Emilia e Genova 05 | Dicembre 2023

ESPERIENZE DI “CITIZEN SCIENCE”

CONOSCENZE E STRUMENTI PER “SENTINELLE DELL’ARIA”

A cura di Maria Rosa Ronzoni, Pinuccia Montanari e Federico Valerio.

Progetto grafico e impaginazione: Carola Sessarego

ECO-ISTITUTO di REGGIO EMILIA e GENOVA

CENTRO di DIRITTO AMBIENTALE (online), 2022

Sito web: [www.ecoistitutorege.org](http://www.ecoistitutorege.org) e-mail: [quaderniecoistituto@gmail.com](mailto:quaderniecoistituto@gmail.com)

Sede: Via Torti, 35 - 16143 Genova

Comitato Scientifico

Vitaliano Biondi, Claudio Culotta, Cinzia De Leo, Luigi Fasce, Rosa Frammartino, Graziella Gaggero, Christopher Garaventa, Pinuccia Montanari, Marco Olobardi, Turi Palidda, Bruno Piotti, Gianfranco Porcile, Maria Rosa Ronzoni, Paola Sabbion, Giovanna Sartori, Maria Rita Schiatti, Teresa Tacchella, Alessandro Tomaselli, Enzo Tortello, Pietro Ugolini, Federico Valerio.



**Ecoistituto Reggio-Emilia e Genova Centro di Diritto Ambientale** è un’Associazione di Promozione Sociale che si prefigge di impegnarsi per la tutela dell’Ambiente e della Salute con tutte le iniziative e le modalità che potranno risultare fattibili ed opportune allo scopo: in particolare predilige l’intervento nel campo della formazione ambientale a tutto campo, riservandosi anche di fornire consulenze gratuite a cittadini ed istituzioni.

Ma è importante aggiungere che la cifra che contraddistingue questa attività è la competenza scientifica e professionale: a questo scopo l’Associazione si è dotata di un **Comitato Scientifico** di cui fanno parte esperti di diverse branche delle scienze, anche umanistiche.

**Il paradigma che caratterizza l’Associazione è l’approccio olistico e multidisciplinare finalizzato all’azione pratica.** EcoistitutoReGe non persegue scorciatoie di tipo tecnicistico, ma, al contrario, è convinto che per risolvere i gravi problemi ambientali della nostra società sia indispensabile prima di tutto un profondo cambiamento di tipo culturale che si inserisca nella piena consapevolezza della teoria della complessità.

In quest’ottica va superata l’attuale economia lineare, per un’economia circolare tesa al benessere sociale: quest’ultimo può essere perseguito soltanto sviluppando sistemi innovativi e partecipativi che coinvolgano in maniera integrata i temi dei Rifiuti, dell’Energia, della Qualità dell’Aria, dell’Alimentazione e della Mobilità.

## QUADERNI DELL’ECOISTITUTO REGE

N.1 **Habitat e salute** | Settembre 2017 A cura di Massimo Quaini e Paola Sabbion

N.2 **L’aria delle città** | Maggio 2020 A cura di Pinuccia Montanari, Paola Sabbion, Federico Valerio

N.3 **Covid-19 e inquinamento** | Luglio 2020 A cura di Pinuccia Montanari, Paola Sabbion, Enzo Tortello

N.4 **Verso le comunità Energetiche Rinnovabili** | Febbraio 2023 A cura di Pinuccia Montanari e Maria Rosa Ronzoni

# Sommario

## 7 Prefazione

Michele Boato

## 8 Introduzione

Federico Valerio

## 9 I processi partecipativi tra percezione e conoscenza

Maria Rosa Ronzoni

## 17 Il monitoraggio della qualità dell'aria ambiente in Liguria: norme, limiti e strumenti

Monica Beggiato, Maria Chiara Bove, Roberto Cresta,  
Federico Grasso, Massimiliano Pescetto

## 25 Gli ossidi di azoto: un indicatore di danno alla salute.

### Stima degli effetti sulla popolazione genovese

Paolo Crosignani

## 31 Come possiamo cambiare i nostri stili di vita.

### Educazione ambientale tra empiria e riflessioni culturali

Pinuccia Montanari, Rosa Frammartino, Mariarita Schiatti

## 53 Genova: un laboratorio sperimentale “verde”

Tiziana Caliman, Alessandra Casarino

## 61 Progetto “Sentinelle dell'aria 2022”: esposizione settimanale a NO<sub>2</sub>, a scuola e nelle abitazioni di giovani genovesi

Federico Valerio, Davide Sabbion

## 73 Progetto “Sentinelle dell'aria 2022”: esposizione settimanale a BTEX a scuola, nelle abitazioni degli studenti di Genova- Borzoli e nelle autoambulanze della Pubblica Assistenza.

Federico Valerio

**83 Accuratezza e precisione delle misure di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> effettuate in ambito urbano, con mini-centraline dotate di sensore SDS011**

Federico Valerio, Fabio Ghersi

**103 Come stimare e migliorare l'accuratezza delle concentrazioni giornaliere di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> misurate dalle centraline Low-Cost (LC) della Rete di Monitoraggio Popolare di Genova.**

*Possibile ruolo di fattori meteo stagionali.*

Annalisa Marcone, Salvatore Moretti,  
Alessandro Tomaselli, Federico Valerio

**119 Inquinamento atmosferico da particelle ultrafini prodotte dalle attività navali nei porti italiani**

Kare Press-Kristensen

# Prefazione - Consumatori e difesa ambientale

Perché la Fondazione ICU - Istituto Consumatori e Utenti, pubblica nei Libri dei Consumatori questo Quaderno dell'Ecoistituto di Reggio Emilia e Genova, dedicato ad esperienze di conoscenza e difesa ambientale?

Normalmente, le attività dei Movimenti consumeristi si svolgono nell'ambito del "mercato", cioè dei contratti di compra-vendita di beni di consumo (alimentari, abbigliamento ecc.) e durevoli (abitazioni, mezzi di trasporto, elettrodomestici, mobilia ecc.), oppure dei rapporti con gli enti erogatori di servizi energetici, acquedottistici, di raccolta rifiuti, bancari, assicurativi, amministrativi ecc.

Ma la difesa dei cittadini e delle cittadine consumatori/trici non deve fermarsi alle questioni economiche e giuridiche; negli Stati Uniti, dove più forte e prima che in Europa è emerso il consumerismo, già negli anni '60 del secolo scorso emerge il tema della salute e della sicurezza: nel 1962, per esempio, la naturalista Rachel Carson pubblica *Primavera silenziosa*, una requisitoria contro i danni alla salute e all'ambiente provocati dal biocida cancerogeno DDT che porterà alla sua messa al bando mondiale.

Nel libro *Dalla parte dei consumatori* (2015), segnalo come, nel 1965, l'avvocato Ralph Nader svolge un'inchiesta sulle vetture Chevrolet Corvair che, in caso di incidente, diventano trappole mortali salvando così centinaia di vite.

Lo stesso Nader, negli anni seguenti, entra nel direttivo e rafforza la Consumers Union, un vero e proprio sindacato dei consumatori che, tra le altre cose, pubblica 4 milioni di copie del settimanale *Consumer Reports* e ha una rete di decine di laboratori scientifici, spesso più attrezzati di quelli del Governo e delle grandi industrie di cui denunciano le attività nocive: gravi carenze nel settore alimentare (in particolare delle carni), pericoli dei gasdotti, emissione di radiazioni da parte dei televisori, fino alle precarie condizioni di lavoro nelle miniere di carbone.

Successivamente Nader, assieme a numerosi giovani studenti e laureati, conduce indagini sul peggioramento della qualità delle acque e la mancanza di risposte del governo USA, inoltre, negli anni '70 e '80 il suo movimento *Public Citizen* è al centro di fortissime iniziative, lotte e denunce contro le centrali nucleari e a favore delle rinnovabili. Una evoluzione simile hanno avuto i movimenti consumeristi di altri paesi, in particolare in Svizzera e Germania.

In Italia (a parte lodevoli eccezioni sostenute dall'associazione Codacons e dal mensile *Il Salvagente*), purtroppo il filone consumerista si misura quasi esclusivamente con i problemi di compravendite e di utenze.

La Fondazione ICU, sia con i Libri dei Consumatori (come *Consumo critico*, *Consumare carne*, *Covid e le saggezze nascoste*, *Madre terra-manuale di difesa dei beni comuni*) che col Concorso per tesi di laurea a carattere economico-ambientale, punta ad allargare le attività in difesa dei consumatori anche ai temi ambientali.

Questo libro ne è un ulteriore chiaro esempio.

*Michele Boato*

Presidente Fondazione ICU - Istituto Consumatori e Utenti

# Introduzione

La realtà complessa in cui viviamo, richiede adeguati strumenti per essere compresa e governata.

E questa necessità riguarda tutti: in particolare chi è stato scelto al governo di un Paese, della Casa Comune, ma anche ogni singolo cittadino che ha il compito e l'interesse a governare, letteralmente, la propria dimora, la casa che condivide con le persone care.

Un vitale bene comune è l'aria che tutti respiriamo, in ogni ambiente che frequentiamo: la nostra abitazione, i luoghi di vita, di lavoro, di studio e di svago.

Il quinto Quaderno di Ecoistituto ReGe, è dedicato ai cittadini che, con i loro diversi ruoli, hanno a cuore l'aria che si respira a casa e in città e che desiderano affrontare, con gli strumenti della Conoscenza e della Scienza, questo tema, per garantire a tutti aria "buona".

Gran parte degli articoli ospitati in questo Quaderno fa riferimento a due esperienze di Scienza Popolare:

- > quella delle "Mamme No Inceneritore" di Firenze che, dal 2016, con la rete di esperti di "Che aria Tira", hanno progettato e realizzato una centralina a basso costo e che, con oltre 130 suoi replicanti, sta controllando le polveri sottili che arrivano su altrettanti balconi e terrazzi di mezz'Italia.
- > quella delle "Sentinelle dell'Aria", proposta nel 2022, da Ecoistituto ReGe a un centinaio di giovani genovesi che, per la prima volta, hanno misurato la qualità dell'aria nelle loro aule, nelle loro abitazioni, nelle cabine delle autoambulanze da loro guidate.

Sono due esperienze di successo, che stanno coinvolgendo, direttamente e indirettamente, migliaia di cittadini che, prima di poter disporre di semplici, ma precisi strumenti di misura, come quelli adottati in queste due campagne di monitoraggio, avevano solo un vago sentore, spesso solo olfattivo, del fatto che l'aria che entrava nelle loro abitazioni non fosse salubre.

In virtù di queste due esperienze, un importante processo di cambiamento è stato avviato e tutto è pronto perché simili iniziative possano essere duplicate altrove, anche grazie a questo Quaderno.

Quaderno che si è avvalso di tanti qualificati contributi, utili a meglio comprendere il ruolo educativo e formativo, con un importante supporto tecnico e scientifico. Un sentito ringraziamento a tutti gli autori e ai tanti collaboratori che hanno contribuito alla sua realizzazione e che contribuiranno alla sua diffusione.

*Federico Valerio*

# I processi partecipativi tra percezione e conoscenza

**Maria Rosa Ronzoni**

Ecoistituto di Reggio Emilia e Genova

## Parole chiave

Partecipazione | Ambiente | Agenda XXI | *Living Lab* | Pianificazione comunale

## Premessa

*La questione che vorrei affrontare in questo contributo è inerente al coinvolgimento dei cittadini nelle scelte di piano, riferendomi in particolare ai piani comunali, ovvero nelle scelte che vanno a definire l'assetto del territorio in cui viviamo. Nello sviluppare questo tema, senza alcuna intenzione di indebolire l'importanza del ruolo partecipativo dei cittadini ai processi decisionali, vorrei anche soffermarmi su di un aspetto noto, ma, a mio parere, non sufficientemente dibattuto: quello relativo agli scostamenti tra la realtà percepita e quella oggettiva.*

## IL TEMA DELLA PARTECIPAZIONE NEI PIANI COMUNALI

È sempre più di peso la partecipazione dei cittadini ai processi decisionali. C'è uno sforzo orientato a rendere gli abitanti consapevoli e partecipi delle scelte che condizionano la loro qualità di vita.

In particolare, consideriamo il percorso partecipativo relativo alla messa a punto delle scelte di pianificazione.

Il processo di piano, come noto, è un percorso che viene intrapreso per definire le scelte che incideranno sull'assetto futuro di un territorio e che porta al progetto alla scala territoriale o urbana. Limitiamo il campo a quest'ultima scala, concentriamoci quindi sulla pianificazione comunale.

Nel secolo scorso le scelte che andavano a dare forma al territorio comunale definendo le aree su cui la città sarebbe cresciuta, la collocazione dei servizi, la messa a punto delle aree verdi e di socializzazione, l'individuazione delle aree su cui collocare le attività produttive, le parti costruite da recuperare, il sistema delle relazioni tra le parti, venivano messe a punto in un documento progettuale chiamato Piano Regolatore. Questo strumento, prima di diventare operativo veniva sottoposto ad un iter che ne compendiava la pubblicazione ed era in questa fase che era previsto il coinvolgimento del pubblico. Infatti, gli abitanti, singolarmente o riuniti in gruppi o associazioni, potevano presentare, motivandole, critiche costruttive alle scelte proposte dal piano, denominate osservazioni. L'ufficio di piano esaminava le osse-

vazioni e aveva facoltà di accoglierle o respingerle. Quelle accolte ovviamente andavano a modificare il piano in modo da dare soddisfazione alle richieste espresse.

Nel nuovo secolo, in considerazione anche del fatto che il progetto urbano non poteva più essere un progetto di espansione, ma occorreva intervenire sulla città per riqualificarla e sanare le situazioni problematiche, si è ritenuto il Piano Regolatore, messo a punto in un momento storico in cui le città dovevano crescere e prendere forma, inadeguato ed è stato sostituito da uno strumento pensato per intervenire a riorganizzare le parti costruite e contenere o evitare il consumo di suolo, un strumento che è stato declinato in modo diverso nelle diverse regioni italiane, anche se, dal punto di vista metodologico, pur assumendo denominazioni diverse, fa riferimento essenzialmente a due scuole di pensiero. È con questi nuovi strumenti di pianificazione che i cittadini, in alcune realtà del nostro paese, hanno assunto un ruolo più incisivo, questo grazie anche alla VAS<sup>1</sup>, chiamata in vita dalla direttiva 2001/42/CE e recepita dall'Italia con il decreto legislativo 152 del 3 aprile 2006 e s.m.i., anticipata da alcune leggi regionali, quali, ad esempio, la Legge per il governo del territorio di Regione Lombardia<sup>2</sup>. Va ad accompagnare il piano in tutta la sua vita, addirittura anticipandone nei tempi la stesura e seguendone la vita con azioni di monitoraggio.

Lo strumento della VAS può aprire alla partecipazione dei cittadini con un impegno che va ben oltre quello rappresentato, nel secolo scorso, dalle osservazioni. La legge lo consente. Infatti, il decreto legislativo 104 del 16/6/2017 prevede che l'Autorità competente<sup>3</sup> possa disporre che la consultazione del pubblico, di cui all'art. 24 comma 3, si svolga nella forma dell'inchiesta pubblica, che è una procedura partecipativa che ha elementi in comune con il dibattito pubblico. E laddove, appunto, l'autorità competente ha aperto a questa possibilità, si sono avute interessanti esperienze partecipative. Come detto, la partecipazione, comunque, è stata richiamata espressamente in molte Leggi regionali. La già citata LR 12/2005 di regione Lombardia, nella PARTE I, *Pianificazione del territorio*, al TITOLO I Oggetto e criteri ispiratori, al comma 2: *La presente legge si ispira ai criteri di sussidiarietà, adeguatezza, differenziazione, sostenibilità, partecipazione, collaborazione, flessibilità, compensazione ed efficienza*. Alcune regioni<sup>4</sup> sono andate oltre e si sono dotate di una legge che regolamenta la partecipazione<sup>5</sup>.

I cittadini, quindi, hanno la possibilità di contribuire alla definizione degli obiettivi da raggiungere e portare le problematiche relative alla quotidianità della loro vita all'interno della pianificazione. La già citata VAS, ad esempio, chiama la popolazione a contribuire alla costruzione di scelte ambientali e in questo modo li coinvolge, li responsabilizza, li rende partecipi delle scelte che il piano porta avanti.

---

1. VAS, acronimo di Valutazione Ambientale Strategica.

2. LR 12/2005

3. L'Autorità competente è la pubblica amministrazione cui compete l'adozione del provvedimento di verifica di assoggettabilità e l'elaborazione del parere motivato: il provvedimento obbligatorio con eventuali osservazioni e condizioni che conclude la fase di valutazione della VAS.

4. Regioni ordinarie Emilia-Romagna, Toscana, Marche, Umbria, Puglia, cui si aggiungono le Province autonome di Trento e Bolzano. Per una informazione più dettagliata si rimanda al documento: *Le leggi regionali di partecipazione e di consultazione dei cittadini*, Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento per le riforme istituzionali, 29 ottobre 2021, indicato in bibliografia.

5. Ad esempio la LR 15/2018 dell'Emilia Romagna sulla partecipazione, legge alla seconda generazione.

Sono comunque processi lenti, in cui dobbiamo ancora imparare tanto, che richiedono tempo per arrivare davvero a ridistribuire il potere decisionale, l'importante, però, è iniziare, non avere paura di sbagliare e sperimentare modelli di partecipazione sempre più incisivi che possano portare a una maggiore attenzione alla voce dei cittadini e, al contempo, favorire una crescita negli abitanti della consapevolezza delle ricadute sull'ambiente del proprio stile di vita e delle scelte poste in essere.

Se guardiamo al fenomeno in senso diacronico possiamo apprezzare quanto nel tempo è avvenuto: nel secolo scorso la partecipazione dei cittadini alla costruzione del Piano comunale era limitata, come detto, alla possibilità, una volta definito il piano, di presentare osservazioni mirate a contrastare le scelte che il piano andava a definire perché ritenute lesive dei diritti del singolo cittadino o della comunità. Questa procedura spesso era limitata a tutelare il solo interesse del singolo, tanto da aver dato origine al modo di dire NIMBY<sup>6</sup>. Con i nuovi strumenti di pianificazione si è cercato di valorizzare il ruolo del cittadino, responsabilizzandolo maggiormente.

## AGENDA XXI

In tema di partecipazione non possiamo trascurare Agenda XXI. Nasce nel 1992, in occasione dell'Earth Summit di Rio de Janeiro, come documento strategico che impegna i governi a promuovere un piano d'azione per il miglioramento della qualità della vita e per lo sviluppo sociale ed economico in armonia con l'ambiente. I livelli istituzionali interessati dalla procedura sono quelli regionale, provinciale, sovracomunale e comunale, sono comunque questi ultimi due quelli a cui si sono conseguiti i risultati più significativi.

Va precisato come sia uno strumento su base volontaria, quindi le azioni avviate devono tutte autofinanziarsi, non ci sono risorse pubbliche associate alle iniziative promosse da Agenda XXI. Tra gli output previsti da questo strumento vi è un forum partecipato dagli abitanti in cui vengono dibattuti i temi della sostenibilità, giocati sul territorio di competenza. Agenda XXI è stata istituita proprio per far crescere la popolazione sui temi della sostenibilità, nella consapevolezza che solo se si condividono gli obiettivi e si cresce insieme, si riescono a conseguire risultati soddisfacenti nella gestione del territorio, come in tanti altri campi di lavoro.

## L'ESPERIENZA DEI LIVING LAB

Vorrei poi ricordare un ultimo strumento, volontario, innovativo, non tradizionale, poco praticato ad oggi in Italia, che ho potuto sperimentare con soddisfazione nel mio ruolo di Mobility Manager nell'Università di Bergamo. Questo strumento è il *Living Lab*, un laboratorio in cui le persone che vi partecipano, a diverso titolo coinvolte, discutendo di un tema di interesse comune mettono a punto soluzioni creative, sostenibili e di immediata fattibilità, seppur non pensate per essere durature. Queste idee nascono proprio dalla partecipazione di tutte le figure comunque coinvolte in una determinata problematica ed è dalla discussione e dal dialogo tra i presenti che emergono le possibili soluzioni da testare.

---

6. *Not In My Back Yard* – Non nel mio cortile



LIVING LAB 5 MARZO 2019:  
A DALMINE SENZA LA MIA AUTO  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BERGAMO,  
SEDE DEI DIPARTIMENTI DI INGEGNERIA

Congiuntamente con il comune di Bergamo, ho promosso, negli anni a ridosso della pandemia 2018-2019, numerosi *Living Lab* sulla spinosa questione dell'accessibilità alla sede di Dalmine dell'Università di Bergamo. Questi incontri erano di solito partecipati dall'assessore alla mobilità del comune di Bergamo o da suoi rappresentanti, dall'assessore al traffico del comune di Dalmine, dal Direttore dell'Agenzia del trasporto pubblico locale del bacino di Bergamo, dal responsabile dell'economato dell'Università, da amministratori delle principali società di trasporto pubblico operanti nella bergamasca, da promotori di attività di *car sharing*, da studenti, docenti e personale amministrativo dell'Università. Io coordinavo la discussione. Ci si incontrava con cadenza all'incirca mensile. In uno di questi incontri è emersa la proposta di avviare un progetto pilota, per un periodo di circa 40 giorni, che contemplava l'istituzione di un servizio di trasporto pubblico effettuato da una navetta che collegava direttamente la stazione di Bergamo con la sede dell'Università di Dalmine, senza fermate intermedie e gratuita per tutte le persone tesserate UNIBG. La proposta è stata accolta con favore da chi doveva finanziarla: comune di Bergamo e Università degli studi di Bergamo.

Non volevo assolutamente che questa iniziativa, importante, si limitasse a rendere meno gravoso il tragitto Bergamo-Dalmine, per tutti coloro che già utilizzavano (pochi) il mezzo pubblico. Nella mia idea l'iniziativa doveva servire a sottrarre quote di utenza al mezzo privato per trasferirlo sul pubblico. Allora ho preso, per i 40 giorni di sperimentazione della navetta, che venissero sottratti dieci posti auto al parcheggio di Dalmine dell'Università per destinarli a una piccola area verde dove ritrovarsi all'imbrunire per dissertare di sostenibilità<sup>7</sup> e altri dieci posti da riservare a coloro che arrivavano in Università facendo *car pooling*<sup>8</sup>.

7. "Conversazioni all'imbrunire sulla sostenibilità".

8. *Car sharing*: è un servizio che consente a qualsiasi automobilista di usare un veicolo in condivisione con altri utenti (riduce quindi gli ingombri statici delle auto). *Car pooling*: condivisione di un'automobile da parte di più persone che devono fare lo stesso percorso (abbatte i costi del viaggio e abbattere le emissioni di CO<sub>2</sub>, riduce il numero di auto in movimento).

I commercianti hanno sostenuto la mia proposta, mettendomi a disposizione, pallet da utilizzare come sedute per il giardino, fiori, alberi, terriccio e copertoni usati coi quali abbiamo dato forma alla nostra area verde temporanea. I genitori degli studenti mi hanno messo a disposizione furgoni per il trasporto dell'attrezzatura, addirittura, in una notte di tempesta, il papà di una studentessa ha accompagnato la figlia a risistemare l'area danneggiata dal temporale. Non è stato tutto facile. Quei venti posti sottratti al parcheggio, già ritenuto insufficiente dagli studenti, hanno acceso non poco la discussione. Mi sono anche sentita dire che la nostra area verde da loro non avrebbe ricevuto acqua, ma benzina. Però, man mano che si discuteva e che il progetto prendeva forma, ho avvertito di essere riuscita, in parte, a bucare il muro dell'ostracismo e, una volta aperta una breccia poi è stato più facile guadagnare un po' di consenso. Alla fine, non ho convinto tutti, ma per alcuni ho compreso che ero riuscita a far capire loro la responsabilità che grava su ognuno di noi per il nostro agire quotidiano.

Con questa esperienza ho potuto toccare con mano l'efficacia di un processo partecipativo, ho visto diversi miei studenti crescere sui temi dibattuti, li ho visti diventare grandi, persone responsabili e consapevoli delle ricadute che i loro comportamenti e il loro agire hanno sull'ambiente. È stato veramente un percorso bellissimo e indimenticabile, credo non solo per me. Questa è la forza della partecipazione. Devo dire poi che anche la sperimentazione della navetta diretta stazione di Bergamo - sede decentrata di Dalmine dell'Università, conclusasi con successo dopo 40 giorni di attività, non è rimasta una sterile iniziativa.

## Terza Settimana Conversazioni all'imbrunire



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BERGAMO: CONVERSAZIONI ALL'IMBRUNIRE NELL'AREA VERDE TEMPORANEA ALLESTITA IN SOSTITUZIONE DI DIECI POSTI AUTO



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI BERGAMO

Negli anni successivi è stato elaborato da ATB un progetto di e-BRT<sup>9</sup>, finanziato e ora in discussione per collegare stabilmente in modo diretto la stazione di Bergamo con la sede di Dalmine dell'Università di Bergamo e altre polarità importanti del territorio.

Corre l'obbligo di osservare poi come la pandemia abbia inciso negativamente sui processi partecipativi che stavano consolidandosi in modo significativo: le restrizioni, rese necessarie per limitare i contagi, hanno penalizzato la socialità: abbiamo giocoforza perso l'abitudine del piacere alla discussione e al confronto diretto. È vero, ci si incontra da remoto, pratica utilissima e di grande aiuto in pandemia, ma per le riunioni in cui si dibattono temi di grande impatto tra persone che non si conoscono e che nemmeno hanno tanta dimestichezza con le procedure di cui si discute, l'incontro da remoto non è davvero dei più indicati.

## REALTÀ PERCEPITA E REALTÀ OGGETTIVA

Un ultimo appunto. I cittadini sono chiamati, nei processi di partecipazione a portare la loro esperienza, il loro vissuto, a esprimere le loro perplessità, le criticità che riscontrano nell'ambiente in cui vivono. C'è un aspetto che va considerato: la realtà percepita si discosta dalla realtà oggettiva per cui, quello che viene avvertito come la principale causa di un disagio, spesso, non lo è. La prima volta che ho avuto contezza di questo aspetto è stato molti anni fa, era il 1990, analizzando gli esiti di un'indagine<sup>10</sup> sul traffico a Stoccarda. Alla richiesta di stimare la scelta del mezzo di trasporto, tanto gli abitanti, quanto anche i cosiddetti uomini d'opinione,<sup>11</sup> hanno sottostimato la percentuale di mobilità dovuta al traffico non motorizzato, sovrastimando l'importanza del traffico individuale motorizzato.

Per intenderci, la realtà oggettiva riportava per il traffico non motorizzato la percentuale di un 34%, mentre la realtà percepita dagli abitanti era di un 18% e quella percepita dai cosiddetti uomini d'opinione era di un 16%. Uno scostamento importante. La quota assorbita dall'auto individuale era nella realtà oggettiva di un 43% mentre in quella percepita per gli abitanti era di un 55% e per gli opinionisti di un 59%. Per il trasporto pubblico la realtà oggettiva riportava un 23%, mentre gli abitanti stimavano un 27% e gli opinionisti un 25%.

Ma una ricerca analoga a Graz, nel 1980, su quale fosse il mezzo preferito per fare shopping vedeva per la realtà oggettiva prevalere l'andare a piedi e in bicicletta con un 44% e in motorino con un 8%, mentre la realtà percepita dai commercianti era di un 25% a piedi e in bicicletta e un 5% in motorino; la realtà oggettiva inoltre rilevava un 32% in auto, contro la realtà percepita dai commercianti di un 58% e una

---

9. E-BRT: *electric Bus Rapid Transit*, Il nuovo sistema di trasporto e-BRT prevede il collegamento, tramite l'utilizzo di autobus elettrici, tra il Polo Intermodale della Stazione di Bergamo con il comune di Dalmine e Verdellino (Stazione FS) e con il Polo Scientifico del Kilotraccia Rosso di Stezzano, attraversando anche il comune di Osio Sopra e il comune di Lallio. Il tracciato della nuova linea (di cui 73% su corsia riservata), ha una lunghezza bidirezionale pari a 29,7km e prevede n. 21 fermate sul tragitto Bergamo-Verdellino e n. 21 fermate sul tragitto Verdellino-Bergamo. I due capolinea sono localizzati uno a Bergamo, in corrispondenza della stazione FS in Piazza Marconi mentre l'altro a Verdellino, in Via Guglielmo Marconi, nei pressi del sottopassaggio della fermata della Stazione FS Verdellino-Dalmine.

10. Indagine condotta da socialdata, Institut für Verkehrs und Infrastrukturforschung GmbH.

11. Per uomini d'opinione si intendono giornalisti, politici, pianificatori, funzionari.

realtà oggettiva di un 16% per chi va a fare shopping con il mezzo pubblico, a fronte di una stima dei commercianti di un 12%.

È fondamentale, quindi, che i processi partecipativi siano accompagnati da informazione e comunicazione adeguate.

## BIBLIOGRAFIA

AA.VV, *Le leggi regionali di partecipazione e di consultazione dei cittadini*, Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento per le riforme istituzionali, 29 ottobre 2021. Scaricabile al link:

<https://www.riformeistituzionali.gov.it/media/1405/focus-llrr-partecipazione-e-consultazione-29ottobre2021.pdf>

Francesca De Santis (a cura di), *La partecipazione nel governo del territorio in Toscana*, pubblicato da Regione Toscana, 2019. Scaricabile al link:

<https://www.regione.toscana.it/documents/10180/22524463/la-partecipazione-nel-governo-del-territorio-in-toscana.pdf/55582065-3881-0b02-d3c0-c954c860c715?t=1595416023733>

Maria Rosa Ronzoni, *L'esperienza del Living Lab, in Sharing Mobility Management*, Quaderno ISPRA 19/2018. Scaricabile al link:  
[https://www.isprambiente.gov.it/files2018/pubblicazioni/quaderni/Quad\\_AS\\_19\\_18.pdf](https://www.isprambiente.gov.it/files2018/pubblicazioni/quaderni/Quad_AS_19_18.pdf)

Maria Rosa Ronzoni, *Il galateo del Car Sharing*, in Michèle Pezzagno (a cura di), *Vivere e camminare in città, Modalità di supporto alla pedonalità in area metropolitana*, EGAF Editore, Forlì 2015.



# Il monitoraggio della qualità dell'aria ambiente in Liguria: norme, limiti e strumenti

**Monica Beggiato, Maria Chiara Bove, Roberto Cresta,  
Federico Grasso, Massimiliano Pescetto.**

Agenzia Regionale Protezione Ambiente Liguria (ARPAL)

## Riassunto

L'Agenzia Regionale Protezione Ambiente della Liguria (Arpal), tra i suoi compiti istituzionali ha il monitoraggio della qualità dell'aria e la verifica del rispetto dei limiti di legge. A tale scopo Arpal gestisce una ampia rete di stazioni di monitoraggio, fisse e mobili, i cui dati, costantemente aggiornati, sono messi a disposizione della cittadinanza nei siti Internet appositamente predisposti. L'articolo passa in rassegna la strumentazione in dotazione, i risultati dei rapporti annuali sulla qualità dell'aria in Liguria, le situazioni ancora critiche su cui occorre operare, tra le quali le emissioni portuali, oggetto di una specifica campagna di monitoraggio, "Aer Nostrum", promossa dalla Unione Europea.

## Parole chiave

Qualità dell'aria | Agenzie Regionali Protezione Ambiente | Aer Nostrum

## "L'aria che respiriamo, fa bene o fa male?"

Tutti quanti vorremmo conoscere nel dettaglio questa informazione, possibilmente relativa a casa nostra, o agli ambienti che frequentiamo nella maggior parte del nostro tempo.

Ma non è la risposta che può fornire Arpal.

L'Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente ligure, infatti, gestisce le centraline di misura della rete pubblica di monitoraggio della qualità dell'aria ambiente. Una rete nata da realtà molto diversificate a livello provinciale e cresciuta con uno scopo ben preciso, verificare se la qualità dell'aria in Liguria rispetta globalmente i limiti di legge. E per adempiere a questo compito, è necessario usare strumentazione con caratteristiche ben precise, posizionata in modo altrettanto rigoroso.

A livello italiano, tutto parte dal Decreto Legislativo (DLgs) 155/2010, il "sancta sanctorum" per la qualità dell'aria nel nostro paese.

In Liguria, qualche anno dopo, è stata varata la Legge Regionale 12/2017, che affida proprio ad Arpal compiti ben precisi.

Ma procediamo con ordine: il DLgs 155/2010 individua alcuni inquinanti che, a causa della loro pericolosità per la salute umana, devono essere monitorati in modo prioritario: biossido di azoto ( $\text{NO}_2$ ), biossido di zolfo ( $\text{SO}_2$ ), materiale particellare

con diametro aerodinamico minore di  $10\mu\text{m}$  e di  $2.5\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$  e  $\text{PM}_{2.5}$ ), Benzene ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ), Ozono ( $\text{O}_3$ ), Ossido di carbonio (CO), Piombo (Pb), Arsenico (As), Cadmio (Cd), Nichel (Ni), Benzo (a) pirene (B(a)p).

Per ognuno di questi inquinanti, il DLgs distingue fra limiti e valori obiettivo, soglia di informazione o allarme e via dicendo.

Come è logico intuire, limiti di riferimento sulla singola ora servono per limitare inquinamenti acuti, mentre valori medi annuali sono utilizzati per identificare situazioni più persistenti che possono dare origine a effetti sanitari cronici.

Al momento di andare in stampa, la rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria conta 49 centraline e 8 postazioni mobili (6 mezzi e 2 mini-cabine), distribuiti sul territorio ligure, secondo quanto concordato con Regione. Le postazioni fisse sono classificate, a seconda del loro posizionamento – che deve avvenire rispettando i vincoli di rappresentatività territoriale, imposti dal Dlgs 155/2010 – in urbane da fondo e da traffico, industriali, suburbane e rurali.

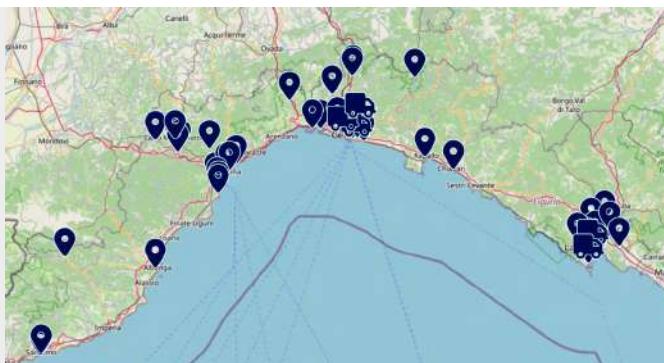


FIGURA 1.  
LOCALIZZAZIONE DELLE  
STAZIONI ARPAL DI  
MONITORAGGIO, FISSE E  
MOBILI, PRESENTI E ATTIVE  
SUL TERRITORIO LIGURE  
(DICEMBRE, 2023)



RETE DI RILEVAMENTO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA  
DELLA REGIONE LIGURIA  
Report indicatori giornalieri emesso il 04-12-2023 dal 03-12-2023

#### INDICATORI GIORNALIERI

STAZIONI	$\text{SO}_2$		$\text{CO}$		$\text{O}_3$		$\text{NO}_2$		$\text{C}_6\text{H}_6$		$\text{PM}_{10}$		$\text{PM}_{2.5}$	
	conc lug/m <sup>3</sup>	$\text{s}^{-1}$ seg da inizio anno	conc max lug/m <sup>3</sup>	$\text{s}^{-1}$ seg da inizio anno	conc lug/m <sup>3</sup>	$\text{s}^{-1}$ seg da inizio anno	conc max lug/m <sup>3</sup>	$\text{s}^{-1}$ seg da inizio anno	conc lug/m <sup>3</sup>	$\text{s}^{-1}$ seg da inizio anno	conc lug/m <sup>3</sup>	$\text{s}^{-1}$ seg da inizio anno	conc lug/m <sup>3</sup>	$\text{s}^{-1}$ seg da inizio anno
Genova - Bivio Ares	200	100	100	100	200	100	100	100	42	0	25	29	0.9	1.3
Genova - Buozzi	-	100	100	100	0.9	0	100	100	32	0	18	44	1.4	1.1
Genova - Europa/Via San Martino	200	100	100	100	1.7	0	100	100	44	0	24	48	1.4	2.5
Genova - Pastero									55	0	31	32	12	11
Genova - Ponchi	= 200	100	100	100	200	100	100	100	nd	0	nd	nd	0	100

ARPAL - Via Bombrini 8, 16149 Genova - www.arpal.liguria.it  
Tel. +39 010 64371 PEC: arpal@pec.arpal.liguria.it  
C.F. e P.IVA 01309930107  
NODI COMPLIANT cert. n° 001/21

pagina 3 di 8

FIGURA 2.  
ESEMPIO DI BOLLETTINO  
GIORNALIERO SULLA  
QUALITÀ DELL'ARIA  
REGISTRATA A GENOVA,  
IL 03/12/2023, IN CINQUE  
STAZIONI DI MONITORAGGIO  
FISSE. LE CONCENTRAZIONI,  
IN ROSSO, DEL  $\text{NO}_2$   
(BIOSIDO DI AZOTO),  
REGISTRATE A GENOVA,  
IN VIA BUOZZI E IN CORSO  
EUROPA/VIA SAN MARTINO,  
SONO LE CONCENTRAZIONI  
MEDIE DI 365 GIORNI  
DI CAMPIONAMENTO  
(MEDIA MOBILE). IL CUI  
VALORE È SUPERIORE  
ALL'ATTUALE LIMITE PER  
 $\text{L}'\text{NO}_2$  (40 MICROGRAMMI/  
METRÒ CUBO, COME MEDIA  
ANNUALE).

TABELLA 1. INDIRIZZI DELLE STAZIONI FISSE DI MONITORAGGIO E STAZIONI MOBILI, GESTITE DA ARPAL, NELL'AREA DELLA CITTÀ METROPOLITANA DI GENOVA (DICEMBRE 2023)

Campomorone GE	Campora: Località Campora
Genova	Acquasola: Parco Acquasola, Viale IV Novembre
Genova	Ronchi: Multedo Pegli, Via Ronchi
Genova	Buenos Aires: Piazza Paolo da Novi
Genova	Quarto: Largo Cattanei, 3 presso Città Metropolitana
Genova	Firenze: Belvedere Don Gà
Genova	Villa Chiesa: Multedo Pegli, Viale Villa Chiesa
Genova	Ungaretti: Pegli, Via Ungaretti
Genova	Europa/Via San Martino: Aiola tra corso Europa e via San Martino
Propata GE	vicino alla chiesa
Genova	Buozzi: Piazza Dinegro
Rapallo GE	Macera: Via della Libertà, presso campo Macera
Masone GE	Incrocio SS456 Via Pian Pinerolo - Masone
Chiavari GE	Devoto: Piazzale Rocca
Busalla GE	Suardi: Via Suardi
Busalla GE	Sarissola: Località Sarissola, Via Macciò
Mezzo Mobile GE Iveco	Corso Europa
Mezzo Mobile GE Nissan	Largo San Francesco da Paola
Mezzo Mobile GE Metrologia	Molassana
Genova	Rivarolo Cervetto
Mini Cabina GE	Via Bari

Tutti i dati misurati con strumentazione automatica sono consultabili in tempo reale sul sito di Arpal, che li espone per trenta giorni, sia grezzi, sia con validazione di primo livello.

Ogni giorno, festivi inclusi, i tecnici dell'Agenzia procedono alla validazione di quanto registrato dagli strumenti; nonostante la manutenzione preventiva e correttiva a cui sono costantemente sottoposti, può capitare che i campionatori e gli analizzatori subiscano delle derive non evidenziate dalle diagnostiche strumentali.

Pertanto, è necessario verificare se tali derive siano attribuibili a situazioni acute molto localizzate, imputabili a fattori estemporanei (validi al fine di rappresentare quel determinato evento, ma invalidi al secondo livello – in sede di valutazione annuale – perché non rappresentativi dell'esposizione media del sito monitorato).

La presenza di un cantiere, la scarificazione dell'asfalto, la segnaletica orizzontale delle strade, l'utilizzo di solventi in prossimità delle teste di campionamento... sono tutte situazioni che si verificano più frequentemente di quanto sarebbe logico pensare e che possono fare registrare picchi di inquinamento anche elevati.

Il passaggio successivo alla validazione, è la pubblicazione del bollettino giornaliero, suddiviso per province, di cui è portato un esempio in Figura 2, anch'esso re-



FIGURA 3.  
STAZIONE MOBILE, COLLOCATA  
IN VAL BISAGNO (MOLASSANA),  
PER CONTROLLARE LE  
EMISSIONI PRODOTTI DALLA  
PRODUZIONE DI ASFALTO NELLA  
CAVA CAVALLETTI, POSTA  
DI FRONTE, SULLA SPONDA  
OPPOSTA DEL BISAGNO. I  
TECNICI ARPAL STANNO  
MONTANDO UN CAMPIONATORE  
DI POLVERI "SELETTIVO"; OSSIA  
CHE SUDDIVIDE LE POLVERI A  
SECONDA DELLA DIREZIONE  
DI PROVENIENZA DEL VENTO.  
A FIANCO UN "DEPOSIMETRO"  
PER LA RACCOLTA DELLE  
"DEPOSIZIONI" OSSIA TUTTO CIÒ  
CHE CADE DAL CIELO, COMPRESA  
LA PIOGGIA. STRUMENTO UTILE  
PER VALUTARE LA FRAZIONE  
PIÙ GROSSOLANA, ALTRIMENTI  
SCARTATA NELLA MISURA DEL  
 $PM_{10}$ .



FIGURA 4. LIDAR INSTALLATO DA ARPAL PRESSO LA  
SEDE CENTRALE DI GENOVA.



FIGURA 5. CAMPIONATORI SEQUENZIALI, CONFORMI  
ALLA NORMA EN12341:2014 ED EN16909:2017  
PER LA DETERMINAZIONE DEL  $PM_{10}$ , CON  
ANALIZZATORE DI RESIDUI CARBONIOSI (BLACK  
CARBON), IN TEMPO REALE, DIRETTAMENTE  
SUL FILTRO IN CAMPIONAMENTO. GRAZIE  
ALL'INTEGRAZIONE DELLA TECNOLOGIA OTTICA,  
QUESTO STRUMENTO PERMETTE LETTURE, IN  
TEMPO REALE, DEI VALORI DI "BLACK CARBON"  
PRESENTI NEL PARTICOLATO.

cuperabile dalla sezione aria del sito Arpal, e la trasmissione al portale regionale dei dati ambientali, dove i valori di qualità dell'aria misurati e certificati sono archiviati e resi accessibili a tutti.

Come detto, accanto alla strumentazione fissa, Arpal dispone di sei mezzi mobili e due mini-cabine, sempre dotati di strumentazione certificata, destinati ad approfondire situazioni locali: l'impatto dei fumi delle navi in porto, l'idoneità di un sito rispetto a un altro, il monitoraggio temporaneo di qualche attività produttiva specifica come è evidenziato nel caso riportato in Figura 3 per la zona di Molassana.

Inoltre, dall'anno scorso, l'Agenzia si è dotata di un Lidar (*Light Detection and Ranging*), riportato in Figura 4, uno strumento che, attraverso l'impiego di luce laser, permette la misura di nubi e aerosol di origine naturale o antropica, e che è in grado di ricostruire i profili di costituenti atmosferici non gassosi, con la possibilità anche di identificare lo "strato limite planetario", parametro importante per capire la facilità di dispersione o accumulo degli inquinanti.

Arpal, inoltre dispone anche di due campionatori che permettono l'analisi in continuo del *Black Carbon* (BC), frazione carboniosa del particolato (PM), costituito essenzialmente da particelle di carbonio elementare (EC) emesso durante la combustione incompleta di combustibili fossili o biomassa legnosa; in ambito urbano è un tracciante delle emissioni allo scarico dei motori diesel. Per il *Black Carbon* (BC) non esistono limiti normativi, mentre ci sono norme tecniche riguardo le procedure analitiche per la determinazione di Carbonio Elementare (EC) e di Carbonio Organico (OC) depositati su filtri. Tuttavia, il *Black Carbon* è una componente dell'aria a cui bisogna cominciare a prestare attenzione, in base alle recenti raccomandazioni dell'OMS, Organizzazione Mondiale della Sanità.

L'utilizzo di strumentazione non certificata a basso costo costituita da campionatori di piccole dimensioni, dotati di sensori idonei alla misura in continuo di alcuni inquinanti particolato e biossido di azoto), avviato nel corso del progetto "Aer Nostrum", concluso nell'estate 2023, necessita di una frequente verifica delle loro performance, evidenzia una scarsa accuratezza delle misure, verosimilmente per effetto delle condizioni meteo e ambientali, e una migliore rappresentazione delle componenti più fini del particolato. Al momento la sperimentazione di questa strumentazione non ha ottenuto i risultati sperati almeno per quanto riguarda la possibilità di individuare strumentazione alternativa a quella ufficiale certificata.

Nel corso del progetto "Aer Nostrum", Arpal, in collaborazione con le Agenzie Regionali di Toscana, Sardegna e le equivalenti di Corsica e Costa Azzurra, ha effettuato diverse azioni, per cercare di approfondire la conoscenza relativa all'impatto dei fumi delle navi, in particolare nel porto di Genova.

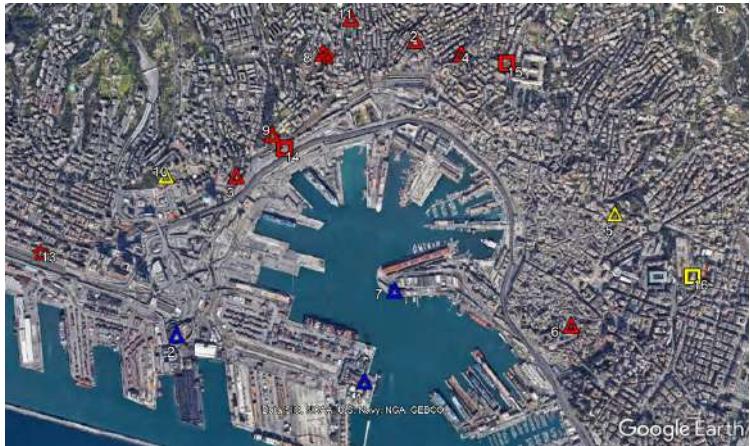


FIGURA 6. AREA DEL MONITORAGGIO E SITI INDIVIDUATI NELL'AREA DEL PORTO ANTICO DI GENOVA PER IL PROGETTO AER NOSTRUM, SUDDIVISI PER TIPOLOGIA DI STAZIONE: FISSA (QUADRATO), MOBILE (STELLA), SMART (TRIANGolo) E DI SITO: TRAFFICO (ROSSO), INDUSTRIALE (BLU), BACKGROUND (GIALLO).

TABELLA 2. POSTAZIONI CON SENSORI "SMART" E CONVENZIONALI UTILIZZATI PER IL PROGETTO "AER NOSTRUM"

**Postazioni con sensori "intelligenti" ( $\text{NO}_2$ -PM):**

1. Deposito Oli minerali	7. Ex-lavanderia industriale
2. Lanterna	8. Largo S. Francesco da Paola - S. Teodoro
3. Scuola Castaldi-Abba	9. Parco di Villa Rosazza
4. Castello d'Albertis	10. Via Del Fossato
5. Villetta Di Negro	11. Via Bari - Stazione Funicolare
6. Museo Sant'Agostino	12. Idrografico della Marina Militare

**Postazioni con strumentazione convenzionale ( $\text{NO}_2$ -PM):**

13. Lungo Mare Canepa	15. Corso Firenze
14. Via Buozzi	16. Parco Acquasola

I sistemi ottici certificati, utilizzati da Arpal in alcuni siti, presentano, nella maggior parte dei casi, sistemi di pretrattamento dell'aria che 'asciugano' le particelle dal contenuto di acqua, evitando così effetti di sovrastima, ad esempio in caso di nebbie o aerosol marino, che talvolta il sensore ottico della strumentazione "intelligente" conta come particelle solide.

Inoltre, la misura del  $\text{PM}_{10}$ , nella maggior parte dei sistemi "intelligenti" testati, è derivata, attraverso specifici algoritmi, da quella di  $\text{PM}_{2,5}$ ; pertanto, questo approccio rende impossibile cogliere eventuali modifiche nella distribuzione dimensionale del particolato, in caso, ad esempio, di eventi di intrusioni di polveri sahariane che vengono, in questo caso, fortemente sottostimati.

Lievemente meglio la misura del PM<sub>2,5</sub> da parte dei sensori intelligenti, che ha mostrato un miglior accordo alla strumentazione di riferimento.

Il progetto “Aer Nostrum” ha gettato le basi per l’ultimo prodotto in fase di sviluppo in Arpal: una catena modellistica, dedicata alla qualità dell’aria, che l’anno prossimo permetterà alla Liguria di avere nuovi servizi, unici nel loro genere in Italia, grazie all’accoppiamento in parallelo e bidirezionale, di modellistica aria e meteo.

## **Ma quindi, come è l’aria in Liguria?**

In attesa di completare le misure annuali, è possibile dire che fino a questo momento i valori limite, con mediazione a breve termine, sono stati tutti rispettati, mentre si sono verificati sporadici superamenti delle soglie di informazione per l’Ozono in alcune centraline a Genova, La Spezia e Savona.

Seppur la situazione appaia complessivamente in miglioramento rispetto al 2022, non tutte le centraline da traffico sembrano destinate a rispettare il valore medio annuale di NO<sub>2</sub>; a Genova, in Corso Europa e Via Buozzi, si dovrebbe superare la soglia di 40 µg/m<sup>3</sup>.

Allo stesso modo non ci si può ancora esprimere con certezza per quanto riguarda il Benzo(a)pirene a Cairo Montenotte, in diminuzione, ma probabilmente destinato a rimanere sopra soglia 1 ng/m<sup>3</sup> nelle postazioni industriali di Cairo Mazzucca e Cairo Bragno, rientrando invece nella postazione di fondo urbano di Cairo Villa Sanguineti.

Una situazione complessivamente a norma, con l’evidente eccezione dell’agglomerato urbano di Genova (inserito nella lista dei siti a cui è stata addebitata l’infrazione europea, con sentenza del 12 maggio 2022), che potrebbe complicarsi, a partire dal 2030.

Infatti, a quella data, se non interverranno modifiche sostanziali alla bozza della nuova direttiva europea in materia, che è nella fase di discussione fra Commissione e Stati membri, entreranno in vigore nuovi limiti, con l’introduzione di un valore giornaliero per l’NO<sub>2</sub> (50 µg/m<sup>3</sup> da non superarsi più di 18 volte in un anno) che potrebbe essere critico, soprattutto nelle città portuali, comprese quelle liguri, in cui, attualmente, questo limite giornaliero è frequentemente superato. Tuttavia, accanto al nuovo limite giornaliero, appare problematico anche il dimezzamento del valore medio annuale, che sembra destinato a passare dagli attuali (e, come detto, non ovunque rispettati) 40 µg/m<sup>3</sup> a 20 µg/m<sup>3</sup>.



# Gli ossidi di azoto: un indicatore di danno alla salute.

## Stima degli effetti sulla popolazione genovese

**Paolo Crosignani**  
ISDE Italia

### Riassunto

*Gli ossidi di azoto sono generati da qualsiasi processo di combustione in cui l'aria faccia da comburente. Agli ossidi di azoto sono stati associati effetti avversi sulla salute umana, sia a breve, sia a lungo termine. Anche per gli ossidi di azoto è possibile stimare il danno sanitario con una metodologia semplice. Viene proposto un esempio di stima degli effetti a lungo termine per la città di Genova, in base ai livelli di concentrazione media annuale di NO<sub>2</sub>, misurati dalle stazioni ARPAL genovesi, nel corso del 2022, stimati in 35 µg/m<sup>3</sup>. Abbiamo stimato che il mancato rispetto dell'obiettivo di qualità del biossido di azoto, proposto dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (10 µg/m<sup>3</sup>, come media annuale) può provocare, nella popolazione genovese, 386 decessi evitabili, all'anno. È probabile che gli ossidi di azoto siano i marcatori di miscele di emissioni complesse e dannose per la salute, anche se il problema è ancora controverso.*

### Parole chiave

Inquinamento aria a Genova | Biossido di azoto | Obiettivi qualità dell'aria | Stima effetti a lungo termine | Decessi evitabili

### PREMESSA

Gli ossidi di azoto sono emessi da qualsiasi processo di combustione in cui l'aria faccia da comburente, cioè da fornitore di ossigeno. L'azoto contenuto nell'aria, ad alte temperature, reagisce con l'ossigeno. Questo processo può avvenire in un sistema confinato, come il cilindro di un motore endotermico, oppure in aria libera, come quando si utilizza il gas per cucinare. Le combustioni in aria generano molecole di ossidi di azoto, con un diverso grado di ossidazione, di cui le principali, chiamate genericamente ossidi di azoto (NOx), sono: NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O.

Tutti questi composti, in aria, si ossidano a NO<sub>2</sub> ed è questo l'inquinante che viene misurato, in quanto normato, a causa della sua tossicità.

## Ossidi di azoto e salute

Gli ossidi di azoto ad elevate concentrazioni sono composti irritanti per le mucose e l'apparato respiratorio. In molti studi sugli effetti dell'inquinamento atmosferico, la concentrazione degli ossidi di azoto, espressa come NO<sub>2</sub>, è stata associata ad un incremento della mortalità, sia per tutte le cause non violente, sia per le cause respiratorie.

Poiché, sia il particolato primario, emesso tal quale, sia gli ossidi di azoto, derivano da processi di combustione, nelle rilevazioni ambientali questi due inquinanti sono normalmente associati ed è difficile separare il ruolo di ciascuno di questi inquinanti, come causa degli effetti osservati, avversi alla salute. Tuttavia, è opinione prevalente e supportata dai dati, che gli ossidi di azoto abbiano un ruolo indipendente nel produrre effetti avversi di salute (Huangfu e Atkinson, 2020; Forastiere e Peters, 2021).

Il legame tra la concentrazione media annuale dell'inquinante e gli effetti a lungo termine sulla salute non si discosta da una funzione lineare; in altri termini, esiste una proporzionalità diretta tra la concentrazione media annuale, sia del particolato fine (PM<sub>10</sub>), sia del particolato ultrafino (PM<sub>2,5</sub>) (Chen e Hoek, 2020), sia degli ossidi di azoto (NOx) ed i danni alla salute, espressi come mortalità per cause naturali, mortalità respiratoria e ricoveri ospedalieri.

Per stimare gli effetti sulla salute a lungo termine si considerano i seguenti parametri (Crosignani, et al 2002):

- > La media annuale dell'inquinante considerato
- > Un valore obiettivo (“target”), scelto come scenario controfattuale
- > Una stima dell'eccesso di rischio per ciascuna malattia, per un incremento unitario dell'inquinante considerato, normalmente, pari a 10 µg/m<sup>3</sup>.

Come valori desiderabili per la esposizione media annuale ad inquinanti dell'aria, sono da ritenere fondamentali quelli indicati, nel 2022, dalla Organizzazione Mondiale della Sanità<sup>1</sup>, definiti anche linee guida sulla qualità dell'aria.

La Tabella 1, tratta dalla pubblicazione referenziata<sup>1</sup>, riporta i limiti raccomandati sulla qualità dell'aria (Air Quality Guidelines; AQG) dei principali inquinanti, con riferimento a specifiche durate dei campionamenti (annuali, 24 ore...), necessarie per valutare il livello di esposizione medio.

Nella Tabella 1 sono anche indicati gli obiettivi intermedi (Interim target), progressivamente sempre più bassi, da raggiungere, a tappe, entro i prossimi anni.

Per il biossido di azoto (NO<sub>2</sub>), alla fine di questo percorso, l'OMS propone questi obiettivi di qualità:

- > 10 µg/m<sup>3</sup>, come media annuale di misure giornaliere, rispetto agli attuali 40 µg/m<sup>3</sup>
- > 25 µg/m<sup>3</sup>, come media giornaliera.

**Table 0.1. Recommended AQG levels and interim targets**

Pollutant	Averaging time	Interim target				AQG level
		1	2	3	4	
<b>PM<sub>2.5</sub>, µg/m<sup>3</sup></b>	Annual	35	25	15	10	5
	24-hour <sup>a</sup>	75	50	37.5	25	15
<b>PM<sub>10</sub>, µg/m<sup>3</sup></b>	Annual	70	50	30	20	15
	24-hour <sup>a</sup>	150	100	75	50	45
<b>O<sub>3</sub>, µg/m<sup>3</sup></b>	Peak season <sup>b</sup>	100	70	—	—	60
	8-hour <sup>a</sup>	160	120	—	—	100
<b>NO<sub>2</sub>, µg/m<sup>3</sup></b>	Annual	40	30	20	—	10
	24-hour <sup>a</sup>	120	50	—	—	25
<b>SO<sub>2</sub>, µg/m<sup>3</sup></b>	24-hour <sup>a</sup>	125	50	—	—	40
<b>CO, mg/m<sup>3</sup></b>	24-hour <sup>a</sup>	7	—	—	—	4

<sup>a</sup> 99th percentile (i.e. 3–4 exceedance days per year).<sup>b</sup> Average of daily maximum 8-hour mean O<sub>3</sub> concentration in the six consecutive months with the highest six-month running-average O<sub>3</sub> concentration.TABELLA 1. VALORI DI QUALITÀ DELL'ARIA PREVISTI DALLE LINEE GUIDA DELLA ORGANIZZAZIONE MONDIALE DELLA SANITÀ<sup>1</sup>

Per ogni 10 µg/m<sup>3</sup> di biossido di azoto in più, presente nell'aria inalata, gli stessi Hangfu ed Atkinson (2020), come riportato nella Tabella 2, hanno stimato un incremento di rischio pari a:

- > 2 per cento di mortalità per tutte le cause
- > 3 per cento per la mortalità dovuta a malattie respiratorie,
- > 3 per cento di mortalità per bronchite cronica ostruttiva (BPCO)
- > 6 per cento per la mortalità da malattie respiratorie acute

Si tratta probabilmente di valori conservativi.

Ad esempio, Faustini (Faustini, 2014) stima un aumento del 4% per ogni 10 µg/m<sup>3</sup> di ossidi di azoto per la mortalità per tutte le cause “naturali”, mentre Crosignani e coautori (Crosignani et al, 2021) applicano un equivalente di incremento del 6.8 per cento della mortalità per tutte le cause “naturali” per gli ossidi di azoto, nella stima del numero di decessi, limitando l'analisi ai soli studi europei.

Comunque, per la città di Genova, applicheremo gli equivalenti WHO riportati in Tabella 2, utilizzando l'algoritmo descritto in Crosignani et al (2002).

**Tabella 6.1. FCR per la valutazione di impatto dell'inquinamento atmosferico sulla mortalità per esposizione a PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> e NO<sub>2</sub>**

Inquinante	Causa di morte	Valore controfattuale µg/m <sup>3</sup>	FCR <sup>§</sup> (IC95%)
PM <sub>10</sub>	Tutte le cause	15	1,04 (1,03-1,06)
	Malattie cardiovascolari	15	1,04 (0,99-1,10)
	Malattie ischemiche del cuore	15	1,06 (1,01-1,10)
	Ictus	15	1,01 (0,83-1,21)
	Malattie respiratorie	15	1,12 (1,06-1,19)
	BPCO	15	1,19 (0,95-1,49)
PM <sub>2,5</sub>	Tumore al polmone	15	1,08 (1,07-1,16)
	Tutte le cause	5	1,08 (1,06-1,09)
	Malattie cardiovascolari	5	1,11 (1,09-1,14)
	Malattie ischemiche del cuore	5	1,16 (1,10-1,21)
	Ictus	5	1,11 (1,04-1,18)
	Malattie respiratorie	5	1,10 (1,03-1,18)
NO <sub>2</sub>	BPCO	5	1,11 (1,05-1,17)
	Infezioni respiratorie acute	5	1,16 (1,01-1,34)
	Tumore al polmone	5	1,12 (1,07-1,16)
	Tutte le cause	10	1,02 (1,01-1,04)
Malattie respiratorie		10	1,03 (1,01-1,05)
BPCO		10	1,03 (1,01-1,04)
Infezioni respiratorie acute		10	1,06 (1,02-1,10)

§ per aumenti di 10 µg/m<sup>3</sup>

TABELLA 2. COEFFICIENTI DI RISCHIO PER TIPO DI INQUINANTE E PER ESITO SANITARIO AVVERSO<sup>2</sup>

La media annuale di esposizione della popolazione della città di Genova<sup>3</sup>, per l'anno 2022, è ricavabile dalla Tabella 3.

Siti campionamento	tipo stazione	NO <sub>2</sub> concentrazione media annuale (µg/m <sup>3</sup> )
QUARTO - GENOVA	urbana fondo	14
CORSO FIRENZE - GENOVA	urbana fondo	21
PARCO ACQUASOLA - GENOVA	urbana fondo	17
MULTEDO - PEGLI - GENOVA	urbana traffico	39
CORSO EUROPA - VIA S. MARTINO - GENOVA	urbana traffico	54
VIA PASTORINO - BOLZANETO - GENOVA	urbana traffico	36
CORSO BUENOS AIRES - GENOVA	urbana traffico	32
VIA BUOZZI - GENOVA	urbana traffico	46
VIA UNGARETTI - PEGLI - GENOVA	suburbana fondo	16
LARGO S.FRANCESCO DA PAOLA - GENOVA	urbana fondo	28

TABELLA 3. CONCENTRAZIONI MEDIE ANNUALI (2022) DI NO<sub>2</sub> MISURATE A GENOVA DALLA RETE DI STAZIONI DI MONITORAGGIO ARPAL.

Nella Tabella 3 sono riportati in rosso i siti in cui si è superato l'attuale limite annuale del NO<sub>2</sub>, pari a 40 µg/m<sup>3</sup>

In base alle misure annuali, effettuate in dieci diverse stazioni ARPAL, distribuite sull'intera area metropolitana genovese, di cui cinque classificate come "urbana traffico", poste nelle vicinanze di strade trafficate, quattro classificate come "urbana fondo", posizionate in parchi urbani (Quarto, Acquasola), in slarghi (largo San Francesco da Paola) e belvederi (corso Firenze), tutte in ambito urbano, ma lontano da

importanti flussi di traffico ed una stazione classificata come “suburbana di fondo”, a Genova Pegli, si può stimare che, nel 2022, l'esposizione media della popolazione genovese a NO<sub>2</sub>, attribuibile all'inquinamento dell'aria esterna, possa essere stata di 35 µg/m<sup>3</sup>.

Prendendo come obiettivo della qualità dell'aria la concentrazione media annuale di 10 µg/m<sup>3</sup> proposto dall'OMS (Tabella 1), l'esposizione in eccesso della popolazione genovese può essere stimata in 25 µg/m<sup>3</sup>.

Se ogni 10 µg/m<sup>3</sup> abbiamo un eccesso (Tabella 2) del 2%, l'eccesso della mortalità per tutte le cause può essere quantificato nel 5%, ovvero in termini di rischio relativo RR=1.05.

Cui corrisponde una frazione attribuibile (RR-1) / RR (Rothman, 2008) del 4.7%.

Se a Genova, ogni anno, muoiono per cause naturali 8.116 persone, (dato 2019, il dato 2020, anche se disponibile, è stato influenzato dall'epidemia di Covid-19) l'impatto stimato è di 386 persone, decedute a causa del mancato rispetto, nel comune di Genova, dello standard di qualità più restrittivo per l'esposizione a NO<sub>2</sub>, proposto dall'OMS.

Questa stima è conservativa, tenuto conto delle considerazioni che abbiamo esposto più sopra, a proposito della relazione tra mortalità ed esposizione a NO<sub>2</sub>.

È stato dimostrato (Schwartz et al., 2008) che anche le esposizioni recenti al particolato influenzano la mortalità a lungo termine. È ragionevole pensare che ciò avvenga anche per le esposizioni a biossido di azoto, data la forte associazione tra biossido di azoto e particolato.

Questo indica che, se l'inquinamento dell'aria nel suo complesso fosse ridotto ai livelli obiettivo indicati dalla OMS<sup>1</sup>, il vantaggio della popolazione, in termini di salute, sarebbe pressoché immediato ed almeno pari alla quota di mortalità annuale evitabile che abbiamo stimato.

## BIBLIOGRAFIA

Chen J., Hoek G. 2020. *Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis*. Environment International 143 105974.

<https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105974>

Crosignani P., Borgini A., Cadum E., Mirabelli D., Porro E. 2002. *New directions: air pollution – how many victims?* Atmospheric Environment 36: 4705–4706

Crosignani P., Nanni A., Pepe N., Pozzi C., Silibello C., Poggio A., Conte M. *The Effect of Non-Compliance of Diesel Vehicle Emissions with Euro Limits on Mortality in the City of Milan*. Atmosphere 2021, 12, 342.

<https://doi.org/10.3390/atmos12030342>

Faustini, A., Rapp, R., Forastiere, F. *Nitrogen dioxide and mortality: Review and meta-analysis of long-term studies*. Eur. Respir. J. 2014, 44, 744–753.

Forastiere F., Peters A. 2021. *Invited perspective: the NO<sub>2</sub> and mortality dilemma solved? Almost there!* Environ Health Perspect 129(12):121304, PMID: 34962423.  
<https://doi.org/10.1289>

Huangfu P., Atkinson R. 2020. *Long-term exposure to NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> and all-cause and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis*. Environment International 144: 105998

Rothman K.J.; Greenland S.; Lash, T.L. *Modern Epidemiology*, 3rd ed.; Lippincott Williams & Wilkins: Philadelphia, PA, USA, 2008.

Schwartz J., Couli B., Laden F., Ryan L. *The Effect of Dose and Timing of Dose on the Association between Airborne Particles and Survival*. Environ Health Perspect 116:64–69 (2008).

## SITOGRAFIA

1. GlobalAir Quality Guidelines.  
<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf?sequence=1>
2. <https://www.sciencedirect.com/journal/environment-international/special-issue/10MTC4W8FXJ>
3. [https://www.arpal.liguria.it/files/ARIA/consultazione\\_dati\\_qualit%C3%A0\\_aria.pdf](https://www.arpal.liguria.it/files/ARIA/consultazione_dati_qualit%C3%A0_aria.pdf)

# Come possiamo cambiare i nostri stili di vita. Educazione ambientale tra empiria e riflessioni culturali

**Pinuccia Montanari**

**Rosa Frammartino**

**Mariarita Schiatti**

## **Riassunto**

*L'articolo si sofferma sull'importanza dell'educazione ambientale, di fronte alla sfida dei cambiamenti climatici, con particolare attenzione al mondo della scuola ed all'approccio della formazione/azione e dell'imparar facendo. Sintetizza poi il percorso didattico proposto nell'ambito del progetto 'Sentinelle dell'aria' proposto da Ecoistituto di Reggio Emilia e Genova, nell'ambito del Patto di Sussidiarietà della Regione Liguria, "GenerAzione 2022", rivolto ai giovani liguri, con un focus sui materiali bibliografici indicati.*

## **Parole chiave**

Educazione ambientale | Stili di vita | Cambiamenti climatici | Proposte bibliografiche

Percorso didattico progetto “Sentinelle dell'aria”

## **INTRODUZIONE**

### **1.1 L'Educazione Ambientale**

L'educazione ambientale è uno strumento fondamentale per sensibilizzare i cittadini e le comunità ad una maggiore responsabilità e attenzione alle questioni ambientali e al buon governo del territorio.

La crescente attenzione all'interconnessione tra le dinamiche ambientali, sociali ed economiche ha portato all'elaborazione del concetto, più ampio, di Educazione allo Sviluppo Sostenibile (ESS).

L'Educazione allo Sviluppo Sostenibile non riguarda solo l'ambiente, ma anche l'economia (consumi, povertà, nord e sud del mondo) e la società (diritti, pace, salute, diversità culturali). È un processo che dura per tutta la vita, con un approccio olistico, che non si limita all'apprendimento “formale”, ma si estende anche a quello non formale e informale. L'ESS tocca tutti gli aspetti della vita e i valori comuni di equità e rispetto per gli altri, per le generazioni future, per la diversità, per l'ambiente, per le risorse della Terra.

La comunità internazionale ha preso atto del ruolo cruciale dell'Educazione per lo sviluppo sostenibile nel 2002, a partire dal Vertice Mondiale sullo Sviluppo soste-

nibile di Johannesburg, in cui l'UNESCO ha deciso di dedicare un Decennio delle Nazioni Unite all'ESS (DESD 2005-2014).

Il 25 settembre 2015 l'Assemblea Generale dell'ONU ha adottato l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile che definisce 17 nuovi Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile, fra i quali l'Obiettivo 4, dedicato all'Istruzione di qualità ed i suoi relativi target. Nello specifico, il Target 4.7 richiama l'importanza di diffondere una cultura della sostenibilità che promuova i principi di inclusività, di pace e di uguaglianza, in stretto legame con l'educazione alla cittadinanza globale.

Questo nuovo quadro di riferimento globale per riorientare l'umanità verso un percorso comune e sostenibile è stato elaborato a seguito della Conferenza delle Nazioni Unite sullo Sviluppo Sostenibile (Rio+20) tenutasi a Rio de Janeiro, nel giugno 2012, che ha coinvolto, in un processo durato tre anni, tutti gli Stati Membri dell'ONU.

Per contribuire alla nuova Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile, l'UNESCO ha lanciato il Programma d'Azione Globale sull'Educazione allo Sviluppo sostenibile (GAP) con l'intento di promuovere azioni e obiettivi specifici, tenendo conto dell'approccio trasformativo e universale indicato dall'Agenda 2030.

Nel 2020, l'UNESCO ha lanciato una nuova iniziativa, "ESD for 2030 - Roadmap", per sensibilizzare la comunità internazionale sul ruolo fondamentale dell'Educazione, per il raggiungimento dei 17 Obiettivi di sviluppo sostenibile e per fronteggiare le nuove sfide emerse dalla crisi mondiale della pandemia. La Roadmap è stata presentata a livello globale durante la Conferenza mondiale sull'educazione per lo sviluppo sostenibile, tenutasi nel maggio 2021.

Qui approfondimenti su: Il percorso internazionale dell'educazione ambientale

A livello nazionale, nel dicembre 2017 è stata adottata, con Delibera CIPE, la Strategia Nazionale per lo sviluppo sostenibile (SNSvS) che rappresenta lo strumento di coordinamento dell'attuazione, in Italia, dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite. Il documento contiene scelte strategiche e obiettivi nazionali articolati all'interno di 6 aree (Persone, Pianeta, Pace, Prosperità, Partnership e Vettori di sostenibilità) e include l'educazione per lo sviluppo sostenibile nel sistema dei cosiddetti vettori di sostenibilità, definiti come ambiti di azione trasversali e leve fondamentali per avviare, guidare, gestire e monitorare l'integrazione della sostenibilità nelle politiche, piani e progetti nazionali.

Sempre nel 2017, il Ministero dell'ambiente ha partecipato al Tavolo di lavoro per la redazione della Strategia Nazionale per l'Educazione alla Cittadinanza globale, processo coordinato dal MAECI e dall'Agenzia per la cooperazione allo sviluppo. La Strategia, adottata nel 2018, richiamando le indicazioni UNESCO e il target 4.7 dell'Obiettivo 4 (Istruzione di qualità) dell'Agenda 2030, rappresenta uno strumento fondamentale per assicurare un dialogo tra istituzioni, società civile, scuola, mezzi di informazione, mondo del lavoro e dell'impresa impegnati sui temi della cittadinanza, della pace, della sostenibilità, dell'equità, dei diritti umani e delle diversità. Il Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica coordina anche il Forum per

lo sviluppo sostenibile, che ha la funzione di garantire il coinvolgimento attivo della società civile nell'attuazione della SNSvS e nei relativi processi di aggiornamento triennale. Nell'ambito del Forum è avviato un "percorso" dedicato ai giovani

indirizzato all’ascolto e alla raccolta di istanze da parte delle giovani generazioni, in vista del processo di revisione della Strategia.

In questo quadro di riferimento e in attuazione del Piano nazionale di educazione ambientale, scaturito dall'[accordo tra il MIUR e il MATTM del 6 dicembre 2018](#), sono state finanziate iniziative di educazione ambientale, con il coinvolgimento delle scuole primarie e secondarie, anche attraverso avvisi di interesse per la selezione di proposte di attività di educazione ambientale, coerenti con i principi e gli impegni espressi nella Carta dell’educazione ambientale, approvata il 23 novembre 2016 in occasione degli Stati generali dell’Ambiente e con la Strategia *Plastic free*.

In collaborazione con l’ISPRA è stato stipulato un Accordo di collaborazione in materia di educazione ambientale e alla sostenibilità, allo scopo di supportare il processo di rilancio del sistema nazionale INFEA (informazione, formazione ed educazione ambientale), tramite un piano concordato di azioni integrate, anche attraverso il coinvolgimento delle Agenzie (ARPA-APPA) del Sistema Nazionale per la Protezione dell’Ambiente (SNPA).

## **1.2 La Conferenza delle Nazioni Unite sullo sviluppo sostenibile “Rio+20” (2012)**

Quarant’anni dopo la Conferenza di Stoccolma sull’ambiente e vent’anni dopo quella sull’ambiente e lo sviluppo, tenutasi sempre a Rio de Janeiro, la comunità internazionale, attraverso l’adozione del documento *The Future We Want*, ha rinnovato l’impegno politico a favore dello sviluppo sostenibile, ed ha individuato le nuove sfide future. I temi principali che sono stati affrontati durante la Conferenza comprendevano l’economia verde, la lotta alla povertà, la riforma della governance in materia di sostenibilità, ma anche il consumo sostenibile e l’importanza dell’educazione per orientare le scelte e i comportamenti delle persone verso la sostenibilità.

## **1.3 *Education for sustainable development: a roadmap (ESD for 2030)* UNESCO, 2020**

Rappresenta il quadro di riferimento della nuova iniziativa lanciata dall’UNESCO nel 2020, per contribuire ad incrementare, a livello globale, la consapevolezza del ruolo cruciale dell’educazione per favorire il raggiungimento dei 17 obiettivi dell’Agenda 2030. Infatti, a partire dal Programma d’Azione Globale sull’Educazione allo Sviluppo Sostenibile, il percorso di attuazione dell’Agenda 2030 ha determinato nuove sfide per tutta la comunità internazionale. Questo documento è stato pubblicato dall’UNESCO anche come contributo in vista della Conferenza mondiale UNESCO sull’Educazione per lo sviluppo sostenibile che si è tenuta dal 17 al 19 maggio 2021 a Berlino.

## **1.4 Conferenza Nazionale sull’Educazione Ambientale**

La Conferenza Nazionale sull’Educazione Ambientale, che si è riunita il 22 novembre 2016, con la partecipazione delle Istituzioni, della Società Civile, del mondo della Comunicazione, della Ricerca e degli operatori ambientali e degli enti gestori delle Aree Naturali Protette e dei rappresentanti dei settori economici, ha prodotto i dodici documenti che riguardano i seguenti temi:

1. Biodiversità - Aree naturali protette, servizi eco sistemici e sviluppo del territorio

2. Agenda 2030 - Educazione allo sviluppo sostenibile, modelli innovativi di Impresa e di consumo
3. Mobilità sostenibile - Nuova cultura della mobilità, *governance*, informazione, sicurezza e benefici ambientali
4. Società civile - Modelli educativi formali, non formali e informali: strumenti di integrazione
5. Digitale e comunicazione - Dai nativi digitali ai nativi ambientali, come sarà possibile? Contenuti, linguaggi, Format
6. Ambiente e Salute - Educazione, ambiente e salute. La necessità di un approccio sistematico: quali ostacoli e quali vantaggi
7. Economia circolare - Strategie per educare il produttore e il consumatore al nuovo modello
8. Turismo sostenibile - Ambiente e valorizzazione delle risorse paesaggistiche
9. Lotta al cambiamento climatico - Strategie educative vincenti per i cambiamenti climatici
10. Città - Cambiamenti climatici, mitigazione e adattamento in aree urbane. Come formare una comunità resiliente
11. Gestione delle risorse naturali - Tutela e gestione delle acque, difesa dal rischio idrogeologico e gestione del rischio alluvioni
12. Spreco alimentare - Agricoltura sostenibile, educazione alla corretta alimentazione, misure di prevenzione degli sprechi alimentari.

## 1.5 Obiettivi dell'educazione ambientale

- > Recuperare il rapporto con l'ambiente inteso come valore e spazio di vita e con le risorse e le diversità naturali e socio-culturali del territorio, quali elementi di prosperità e benessere;
- > Comprendere la complessità e interdipendenza delle sfide globali che caratterizzano la nostra epoca, acquisendo la consapevolezza che attraverso l'azione, anche quotidiana, e l'impegno comune si può promuovere la transizione verso una società più sostenibile;
- > Stimolare scelte consapevoli nella vita quotidiana (dall'alimentazione al turismo, dall'uso dell'energia a quello dell'acqua...) che tengano conto delle ripercussioni delle scelte responsabili sui diversi aspetti della sostenibilità, dello stretto legame tra fattori ambientali e cambiamenti sociali;
- > Riscoprire il "senso del limite", e affrontare i limiti e i vincoli come 'risorse', intorno alle quali far fiorire e crescere le proposte di cambiamento, creative, innovative e non convenzionali: nuove tecnologie, nuove modalità di impresa e di mercato, nuovi strumenti di partecipazione;
- > Imparare a valutare criticamente le informazioni e i comportamenti, e dunque ad apprezzare le esperienze virtuose provenienti da istituzioni, imprese, cittadini.

## MATERIALI E METODI

### 2.1 Le tre tappe del progetto “Sentinelle dell’aria”.

Nel progetto “Sentinelle dell’aria”, proposto da Ecoistituto di Reggio Emilia e Genova, nell’ambito del Patto di Sussidiarietà “GenerAzione2022” della Regione Liguria, con il coinvolgimento di giovani e studenti, sono state individuate tre dimensioni di approfondimento: il conoscere, l’approfondire, il restituire.

#### Prima tappa: conoscere

Nello studio dell’ambiente, l’informazione rappresenta un contributo importante perché promuove un approccio corretto alla conoscenza, alla rappresentazione di una realtà che, meglio di qualunque strumento narrativo, riesce ad offrire utili chiavi di lettura dei fatti osservati. La tappa del conoscere prende l’avvio da una breve e mirata selezione di articoli di stampa per portare l’attenzione dei ragazzi sui “focus tematici” dell’aria, il benessere, la salute, per accenderne la curiosità e guidarli verso un personale percorso di ricerca, per la costruzione di una più ricca rassegna-stampa tematica.

[focus tematici nella stampa e nella cronaca]

Primo incontro con le storie di persone e luoghi nate all’interno del contesto tematico, attraverso il contributo dell’informazione e della cronaca.

[il contributo dei media: quotidiani, radio, cinema, televisione]

RIFLESSIONE SU CONTENUTI-NEWS CONNESSI AL TEMA DI PROGETTO  
LA QUALITÀ DELL’ARIA

- > La lettera-manifesto del movimento globale *Fridays For Future*: è il messaggio scritto dalla svedese Greta Thunberg e da altre sette attiviste in difesa dell’ambiente;
- > Agenda 2030 Per Lo Sviluppo Sostenibile  
<https://www.lastampa.it/cultura/e20/attualita/2019/03/19/news/la-lettera-manifesto-del-movimento-globale-fridays-for-future-1.33689098/>

#### Seconda tappa: approfondire

Il contributo della letteratura, della saggistica, del giornalismo d’inchiesta, del cinema, della televisione.

Questa tappa di lavoro prende l’avvio dal contributo di studiosi e profondi conoscitori dei contesti mafiosi, in cui maturano le storie, oggetto di questo percorso formativo. Nell’approfondimento dello studio, la saggistica ha un’importanza fondamentale, come viene testimoniato dalle numerose opere, frutto dell’impegno e della ricerca di studiosi, giornalisti, accademici e scrittori.

LEZIONI TEMATICHE

Quattro lezioni magistrali di esperti e collaboratori di ECOISTITUTO SUI TEMI DI PROGETTO.

SAGGISTICA E CINEMATOGRAFIA

Conoscere meglio il contesto attraverso lo studio di alcuni saggi e/o la visione di film e/o documentari di forte valenza tematica.

### **Terza tappa: restituire**

Attività collaborative, guidate e/o in autonomia

#### **PROPOSTE DI FORMAZIONE E SVILUPPO DIDATTICO**

Il compito della comunità educante è quello di stimolare i ragazzi ad attraversare lo spazio dedicato alla conoscenza e all'approfondimento di storie che ci parlano di persone e luoghi per motivarli, prima alla conoscenza, e poi alla “restituzione”, per riuscire a dimostrare che l'incontro con i relatori, portatori di testimonianze, non li ha lasciati “ascoltatori neutri”.

Approfondire la conoscenza di una storia vuol dire “entrarci dentro”, con la vigile attenzione della ragione, ma anche con il peso emotionale del sentimento. Un “viaggio” nell'intimo che spesso si conclude con il bisogno di “restituire” l'esperienza vissuta, mantenendo viva la vicinanza alle persone e ai luoghi.

È il momento in cui si prova la sensazione di poter diventare “narratori” in prima persona, dall'esperienza di CONOSCENZA e di APPROFONDIMENTO può nascere il desiderio di “raccogliere” anche gli aspetti più misteriosi della storia e cercare di raccontarli con un modo proprio e con i diversi linguaggi espressivi della scrittura, della drammaturgia o della fotografia.

> Proposta di attività, prevalentemente laboratoriali, per stimolare il protagonismo dei ragazzi e motivarli ad una produzione creativa, coerente con i diversi stili espressivi.

## **2.2 Esiti dello sviluppo didattico**

#### **ELABORATI DEGLI STUDENTI**

- > Ricerca tematica
- > Articolo di stampa [giornalino scolastico]
- > Video – inchiesta su qualità dell'aria nel quartiere
- > Lettera al direttore di un quotidiano locale
- > Testo rep o solo musicale legato al tema
- > Slogan e grafica per rispetto dell'ambiente e per la qualità dell'aria
- > Recensione di un libro o di un film oggetto di studio
- > Scrittura creativa

#### **ALTRE POSSIBILI ATTIVITÀ**

[gli elaborati possono essere prodotti a livello individuale o di gruppo]

- > scheda presentazione del film a scelta tra i due titoli proposti in contributi formativi;
- > scheda recensione del libro scelto tra i titoli proposti nella sezione “Approfondire” di questo dossier, oppure tra i titoli della bibliografia tematica di progetto;
- > intervista, con almeno cinque domande, ad uno dei protagonisti della storia narrata nel film o nel libro scelto;
- > scheda - report con i punti principali emersi dall'incontro con esperti e/o relatori;
- > sviluppo tematico, con ricerca personale e/o di gruppo, e produzione di una ricerca o una tesi;

- > scegliere il personaggio di una storia vera, oggetto di approfondimento, e cambiare “il corso della sua storia” con l’utilizzo della scrittura creativa.

#### STRUMENTI PER LO SVILUPPO DIDATTICO

[attività collaborative, guidate e/o in autonomia]

- > DOSSIER info-formativo a supporto della didattica [documentazione tramite la ricerca tematica sul web]
- > Bibliografia e Filmografia tematica [a cura della prof.ssa Mariarita Schiatti / Liceo “Matilde di Canossa”, RE]
- > Questionario preliminare [compilazione anonima] sulla conoscenza dei rischi ambientali
- > Documenti/materiali a supporto delle tematiche progettuali

### 2.3 Emergenza clima e transizione ecologica

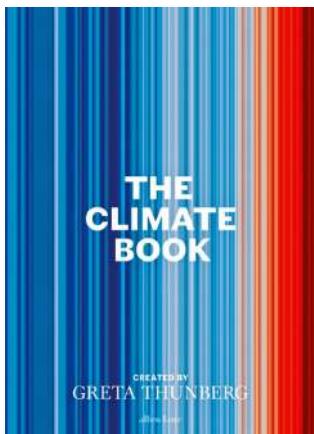
#### Percorso bibliografico

A conclusione del progetto è stato elaborato un percorso bibliografico interessante per approfondire le tematiche che riguardano l'emergenza climatica e la transizione ecologica. Riproduciamo in una bibliografia ragionata i testi più significativi.

#### TESTI DI CARATTERE GENERALE

L'emergenza climatica rappresenta probabilmente il problema più drammatico del nostro tempo, in quanto potenzialmente in grado di mettere fine all'esistenza umana sul pianeta Terra. Comprenderne la natura e le nostre possibilità di porre un argine alle sue conseguenze più catastrofiche, implica andare ben oltre l'ambito dei dati e dei meccanismi climatici e scoprire le strettissime connessioni che legano l'evoluzione del clima terrestre con un'infinità di aspetti delle società umane e dei modelli etici, culturali, scientifici, economici, che le guidano.

Di seguito, si indicano alcuni testi che presentano questo approccio globale e possono fungere da guida nella comprensione dei molteplici problemi implicati nell'emergenza climatica.



## THE CLIMATE BOOK

(Versione italiana)

Traduttore: Massimo Parizzi, Chiara Rizzo

Curatore: Greta Thunberg

Editore: Mondadori

Collana: Strade blu

Anno edizione: 2022

In commercio dal: 1 novembre 2022

Pagine: 464 p., Rilegato

EAN: 9788804764656

I discorsi di Greta Thunberg hanno scosso il mondo. Con The Climate Book, ha creato uno strumento essenziale per chiunque voglia contribuire a salvarlo.

Sembra un'impresa impossibile: garantire un futuro sicuro alla vita sulla Terra, su una scala e a una velocità mai viste al mondo, al cospetto di forze enormi e potenti. Non solo i magnati del petrolio e i governi, ma il sistema climatico stesso che cambia. Le probabilità giocano a nostro sfavore e non abbiamo più tempo.

Ma non deve andare per forza così. In tutto il mondo, geofisici e matematici, oceanografi e meteorologi, ingegneri, economisti, psicologi e filosofi hanno usato le loro competenze per sviluppare una comprensione profonda delle crisi con cui siamo chiamati a misurarci. Greta Thunberg ha curato The Climate Book in collaborazione

con oltre 100 di questi esperti, in modo da fornire a tutti noi quel sapere. Insieme a loro, Greta condivide le sue personali storie di scoperta, dimostrazione e messa a nudo del greenwashing in tutto il mondo, rivelandoci fino a che punto siamo stati tenuti all'oscuro.

Questo, ci dimostra, è uno dei nostri più grandi problemi, ma anche la nostra più grande fonte di speranza. Una volta che avremo il quadro completo, saremo in grado di agire; e se lo sciopero di una studentessa è stato capace di accendere una protesta globale, cosa potremmo fare collettivamente, se solo ci provassimo? The Climate Book ci dimostra che tutti noi abbiamo la responsabilità di vivere nel periodo più decisivo della storia dell'umanità e che, insieme, possiamo fare ciò che all'apparenza è impossibile. Ma dobbiamo farlo noi, e dobbiamo farlo ora.

<https://www.mondadori.it/news/the-climate-book-la-speranza-di-greta-thunberg-racchiusa-in-un-libro/>



**UNA TERRA PER TUTTI.  
Il più autorevole progetto internazionale  
per il nostro futuro**

Traduttore: Ilaria Coizet

Curatore: Sandrine Dixson-Declève, Owen Gaffney,  
Jayati Ghosh

Editor: Edizioni Ambiente

Collana: Connessioni

Anno edizione: 2022

In commercio dal: 25 novembre 2022

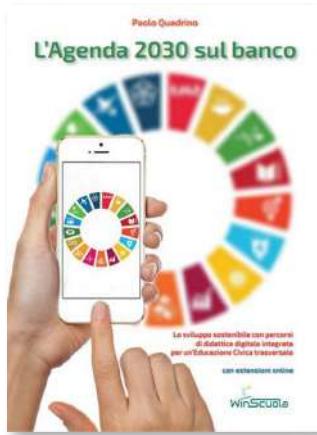
Pagine: 274 p., Brossura

EAN: 9788866273707

Per la prima volta “Una Terra per tutti” chiarisce in che cosa consiste un cambiamento di sistema per l’umanità. È tanto un antidoto al pessimismo, quanto una tabella di marcia verso un futuro migliore. Utilizzando innovativi software di modellizzazione dinamica dei sistemi, autorevoli scienziati ed economisti dimostrano come cinque straordinarie inversioni di rotta siano urgentemente richieste per raggiungere una prosperità comune entro i limiti planetari, il tutto nello spazio di una sola generazione.

Questa analisi unica propone: un chiaro percorso per riavviare il sistema economico globale; due scenari alternativi per questo secolo: “Troppo poco troppo tardi” vs. “Salto da gigante”; cinque inversioni di rotta per abbattere la povertà e le disuguaglianze e trasformare i sistemi alimentare ed energetico entro il 2050. Accessibile e motivante, questo libro è una lettura necessaria per chiunque sia interessato a trovare il modo di vivere bene su un pianeta fragile. Prefazioni di Christiana Fugueres e Elizabeth Wathuti.

<https://shop.edizioniambiente.it/catalogo/una-terra-per-tutti>



## L'AGENDA 2030 SUL BANCO

Autore: Paolo Quadrino

Editore: WinScuola

Anno edizione: 2022

In commercio dal: 31 gennaio 2022

ISBN 9791280094070

Formato 21 x 29 cm

pp. 58 + 17 videotutorial online per ciascuna APP collegata all'Obiettivo

La tutela dell'ambiente, della biodiversità e degli ecosistemi entrano in Costituzione! Il 2030 può essere più vicino di quanto si pensi e i 17 Obiettivi dell'Agenda 2030, sottoscritta da ben 192 paesi di tutto il mondo, sono sempre più prioritari per lo sviluppo sostenibile del pianeta e dei suoi abitanti. Persone, Pianeta, Prosperità, Pace e Partnership sono le cinque dimensioni affrontate nel volume,

rivolto a tutti coloro che hanno a cuore il nostro prossimo futuro, ma con linguaggio e struttura particolarmente indicato per un utilizzo didattico parallelo con gli studenti.

Ognuno dei 17 Obiettivi ha un rimando ad un videotutorial online di presentazione di una APP digitale con contenuti didattici inerenti lo stesso “Goal”, per complessive 10 ore circa.

[https://www.winscuola.com/index.php/editoria/libri-a-stampa/agenda\\_2030\\_trasversale-detail](https://www.winscuola.com/index.php/editoria/libri-a-stampa/agenda_2030_trasversale-detail)

## **LAUDATO SI'.**

### **Enciclica sulla cura della casa comune.**

Guida alla lettura di Carlo Petrini

Autore: Francesco (Jorge Mario Bergoglio)

Editore: San Paolo Edizioni

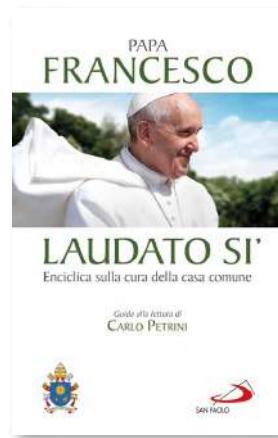
Collana: I Papi del terzo millennio

Anno edizione: 2015

In commercio dal: 18 giugno 2015

Pagine: 240 p., Rilegato

EAN: 9788821594267



"In larga parte è l'uomo che prende a schiaffi la natura, continuamente. Noi ci siamo un po' impadroniti della natura, della sorella terra, della madre terra. Un vecchio contadino una volta mi ha detto: 'Dio perdonava sempre, noi gli uomini perdoniamo alcune volte, la natura non perdonava mai, se tu la prendi a schiaffi lei lo fa a sua volta. Credo che noi abbiamo sfruttato troppo la natura'. (Papa Francesco) Con coraggio e lungimiranza, papa Francesco affronta in questa nuova, attesa enciclica, la seconda del suo pontificato, un tema di tipo sociale ed ecologico, oltre che di fede: la tutela dell'ambiente e del Creato. Su questi temi di grande attualità, la Chiesa viene giustamente considerata la voce più forte ed eloquente in materia,

punto di riferimento anche dei trattati internazionali e delle conseguenti fonti normative, comunitarie e nazionali. Un argomento caro a Bergoglio che più volte si è espresso in materia con grande forza: "Vorrei chiedere, per favore, a tutti coloro che occupano ruoli di responsabilità in ambito economico, politico o sociale, a tutti gli uomini e le donne di buona volontà: siamo "custodi" della creazione, del disegno di Dio iscritto nella natura, custodi dell'altro, dell'ambiente; non lasciamo che segni di distruzione e di morte accompagnino il cammino di questo nostro mondo!". La seconda enciclica di papa Francesco, dedicata al tema dell'ambiente e del Creato è qui presentata con l'introduzione di Carlo Petrini.

<https://www.sanpaolostore.it/laudato-si-enciclica-sulla-cura-della-casa-comune-bergoglio-papa-francesco-jorge-mario-9788821594267.aspx>

NOTA: al di là del ruolo di Papa Francesco e dell'ispirazione religiosa dell'enciclica, l'importanza di questo testo - sia per il tipo di approccio al problema dell'emergenza climatica sia per l'accessibilità del linguaggio - è unanimemente riconosciuta anche negli ambienti laici. Valga per tutti quanto scrive il grande scrittore indiano Amitav Ghosh mettendo a confronto il testo della Laudato si' e quello dell'Accordo di Parigi sul cambiamento climatico del 2015: "Ci si poteva ad esempio immaginare che, trattandosi di un testo di carattere religioso, l'Enciclica del papa fosse scritta in uno stile allusivo e horacico, e che l'Accordo di Parigi fosse invece cristallino e incisivo (...). In realtà è vero il contrario, l'Enciclica si segnala per la lucidità del linguaggio e la semplicità della forma, mentre nell'Accordo troviamo parole altamente stilizzate e una struttura molto complessa. L'Accordo è diviso in due parti: la prima e più lunga s'intitola «Proposta del presidente», mentre la seconda - ovvero l'accordo propriamente detto - si presenta come «Appendice». (...). E la «Proposta» continua (...) per diciotto pagine fitte fatte: eppure questo ponderoso blocco di testo, diviso in 140 proposizioni numerate e 6 sezioni, è composto da due soli periodi, uno dei quali si dipana per non meno di quindici pagine! (...). Dato che si conclude con delle preghiere, si potrebbe pensare che l'Enciclica contenga più illusioni e più desideri rispetto all'Accordo. Invece no, non è così. È piuttosto l'Accordo di Parigi a invocare ripetutamente l'impossibile: ad esempio l'ipotetico proposito di limitare l'aumento della

temperatura media globale a un grado e mezzo, obiettivo quasi unanimemente considerato irraggiungibile. Sebbene l'Accordo di Parigi non dica in base a quali premesse sono stati decisi gli obiettivi, si ritiene che siano fondati sull'idea che i progressi tecnologici permetteranno presto di sbarazzarsi dei gas serra estromettendoli dall'atmosfera o confinandoli nel sottosuolo. Ma queste tecnologie sono ai primi passi (...). Riporre tanta fiducia in quella che per ora è solo una remota possibilità equivale a un vero e proprio atto di fede, non dissimile dalle credenze religiose. Laudato si', al contrario, non suggerisce in alcun modo che la soluzione al cambiamento climatico vada cercata in un intervento miracoloso. Si sforza invece di comprendere la situazione in cui si trova l'umanità, mettendo in dubbio la saggezza di una tradizione fondata su un'economia dei combustibili fossili così rapace. E nel far questo non esita a prendere le distanze da precedenti posizioni della Chiesa, ad esempio in merito al difficile rapporto fra coscienza ecologica e dottrina cristiana del dominio dell'Uomo sulla Natura. E meno ancora esita a criticare i paradigmi prevalenti del nostro tempo (...) insistendo che è a causa del «paradigma tecnocratico» che «non ci si rende conto a sufficienza di quali sono le radici più profonde degli squilibri attuali, che hanno a che vedere con l'orientamento, i fini, il senso e il contesto sociale della crescita tecnologica ed economica» (Amitav Ghosh, La grande certità. Il cambiamento climatico e l'impensabile, Neri Pozza Editore, Vicenza 2017, pp. 182 ss.).

## PROPOSTE BIBLIOGRAFICHE PER LE SCUOLE ELEMENTARI E MEDIE



### IL TUO CLIMA

Autore: Prof. Luca Mercalli, Francesco Vacca, Davide Riboni, Laura D'Addazio, Katia Ranalli

Genere: Scienza

Pagine: 86

Lingua: Italiano

Formato e Rilegatura: Flessibile 19.5x27.5 cm

Data di Pubblicazione: 5/11/2022

### Quali sono i rischi climatici che corriamo in un futuro molto vicino?

Se l'Accordo di Parigi non sarà rispettato al più presto, ci aspetta un aumento termico globale fino a 5 gradi entro fine secolo, più ondate di calore africano, desertificazione e siccità, incendi boschivi, eventi estremi, alluvioni, tempeste più frequenti e un aumento del livello del mare di oltre 1 metro.

La possibilità di ridurre i danni esiste ancora, ma richiede uno sforzo rapido e imponente. Luca Mercalli, ricercatore e divulgatore di temi ambientali con più di 30 anni di esperienza, accompagna la giovane Gaia in un viaggio a fumetti nel futuro, per capire quali sono i problemi che dovremo affrontare e come risolverli.

<https://www.tatailab.com/prodotto/il-tuo-clima>

- **La storia di Greta. Non sei troppo piccolo per fare cose grandi. La biografia non ufficiale di Greta Thunberg**, di Valentina Camerini (Testi) e Veronica «Veci» Carratello (Illustrazioni), De Agostini, 2019

<https://www.ibs.it/storia-di-greta-non-sei-libro-valentina-camerini/e/9788851173234?queryId=b5a076cf26026de58bb67f0d10a6101>

- **Storie per ragazze e ragazzi che vogliono salvare il mondo**,  
di Carola Benedetto, Luciana Ciliento, Roberta Maddalena, De Agostini, 2019

<https://www.ibs.it/storie-per-ragazze-ragazzi-che-libro-carola-benedetto-luciana-ciliento/e/9788851173005?queryId=d=462c9658ba07c14ffd93052b2fa606c9>

- **Salviamo il mare e gli oceani. Manuale del giovane ecologista**,

di Agnès Vandewiele (Autore) e Joanna Wiejak (Illustratore), Slow Food, 2019

<https://www.ibs.it/salviamo-mare-oceani-manuale-del-libro-agnes-vandewiele/e/9788884995810?queryId=c768eac183669c-d944f6c65ef06e1168>

- **Uffa che caldo! Come sarà il clima del futuro? E come possiamo limitare i danni?**

di Luca Mercalli (Autore), Alice Lotti e Patrizio Anastasi (Illustratori), Mondadori Electa, 2018

<https://www.mondadorilecta.it/libri/uffa-che-calido-luca-mercalli/>

- **101 piccoli modi per cambiare il mondo**, di Aubre Andrus, Lonely Planet Italia, 2019 <https://www.ibs.it/101-piccoli-modi-per-cambiare-libro-aubre-andrus/e/9788859257264?queryId=e36d2c830bb2ed4e-6188d37b4661676c>

- **Questo libro salva il pianeta. 50 missioni per ecoguerrieri**,

di Isabel Thomas (Autore) e Alex Paterson (Illustratore), Sonda, 2019

<https://www.ibs.it/questo-libro-salva-pianeta-50-libro-isabel-thomas/e/9788872240595?queryId=684cb98d56ab5e310ccc165e-c537a494>

- **Il manuale delle 50 piccole rivoluzioni per cambiare il mondo**, di Pierdomenico Baccalario e Federico Taddia (Autori), AntonGionata Ferrari (Illustratore), Il Castoro, 2018

<https://www.ibs.it/manuale-delle-50-piccole-rivoluzioni-libro-pierdomenico-baccalario-federico-taddia/e/9788869663413?queryId=2b63d05a98e15ad27d750ad8dd703347>

- **Seguendo Greta**, a cura di Giuseppe Civati, People, 2019

<https://www.ibs.it/seguendo-greta-libro-vari/e/9788832089189?queryId=d00696d4fc0a69326a4a33e732c9fd62>

- **Fiabe per i custodi del pianeta**. Ediz. a colori,

di Franco Berrino (Autore) e Daniela Costa (Illustratore), Terra Nuova Edizioni, 2019

<https://www.ibs.it/fiabe-per-custodi-del-pianeta-libro-franco-berrino/e/9788866815501?queryId=23c595e4b0580350f990d80c34b-340b4>

- **Insieme per salvare il mondo**. Ediz. a colori,

di Michael Mann e Megan Herbert, Terra Nuova Edizioni, 2019

<https://www.ibs.it/insieme-per-salvare-mondo-ediz-libro-michael-mann-megan-herbert/e/9788866814603?queryId=9b862c7b-8197d0a4647abe26b4ae5f8f>

- **Favola psiche ambiente. Può la favola salvare gli esseri viventi, l'ambiente e il mare soffocato dalla plastica?** di Enrica Zinno, Phasar Edizioni, 2018

<https://www.ibs.it/favola-psiche-ambiente-può-favola-libro-enrica-zinno/e/9788863584677?queryId=571ee685b3aeb5b8fc2ea8f6c-46dbd3a#cc-anchor-dettagli>

## PROPOSTE BIBLIOGRAFICHE PER LE SCUOLE SUPERIORI



**Possiamo salvare il mondo, prima di cena.  
Perché il clima siamo noi**

### Dettagli

Autore: Jonathan Safran Foer  
Traduttore: Irene Abigail Piccinini  
Editore: Guanda  
Collana: Tascabili Guanda. Narrativa  
Edizione: 7  
Anno edizione: 2020

In questo libro Jonathan Safran Foer mette in campo tutte le sue risorse di scrittore per raccontare, con straordinario impatto emotivo, la crisi climatica che è anche «crisi della nostra capacità di credere», mescolando in modo originalissimo storie di famiglia, ricordi personali, episodi biblici, dati scientifici rigorosi e suggestioni futuristiche.

*«Foer ha un messaggio vitale. Che trasmette con ottima letteratura»*

Franco Marcoaldi, D - la Repubblica

*«Il messaggio di Foer è al tempo stesso commovente e doloroso, scoraggiante e ottimistico, e costringerà i lettori a rivedere il proprio impegno nel combattere “la più grande crisi che l’umanità abbia mai dovuto affrontare”»*

– Publishers Weekly

Qualcuno si ostina a liquidare i cambiamenti climatici come fake news, ma la gran parte di noi è ben consapevole che se non modifichiamo radicalmente le nostre abitudini l’umanità andrà incontro al rischio dell’estinzione di massa. Lo sappiamo, eppure non riusciamo a crederci. E di conseguenza non riusciamo ad agire. Il problema è che l’emergenza ambientale non è una storia facile da raccontare e, soprattutto, non è una

buona storia: non spaventa, non affascina, non coinvolge abbastanza da indurci a cambiare la nostra vita. Per questo rimaniamo indifferenti, o paralizzati: la stessa reazione che suscitò Jan Karski, il «testimone inascoltato», quando cercò di svelare l’orrore dell’Olocausto e non fu creduto. In tempo di guerra, veniva chiesto ai cittadini di contribuire allo sforzo bellico: ma qual è il confine tra rinuncia e sacrificio, quando in gioco c’è la nostra sopravvivenza, o la sopravvivenza dei nostri figli? E quali sono le rinunce necessarie, adesso, per salvare un mondo ormai trasformato in una immensa fattoria a cielo aperto? Nel suo nuovo libro, Jonathan Safran Foer mette in campo tutte le sue risorse di scrittore per raccontare, con straordinario impatto emotivo, la crisi climatica che è anche «crisi della nostra capacità di credere», mescolando in modo originalissimo storie di famiglia, ricordi personali, episodi biblici, dati scientifici rigorosi e suggestioni futuristiche. Un libro che parte dalla volontà di «convincere degli sconosciuti a fare qualcosa» e termina con un messaggio rivolto ai figli, ai quali ciascun genitore – non solo a parole, ma con le proprie scelte – spera di riuscire a insegnare «la differenza tra correre verso la morte, correre per sfuggire alla morte e correre verso la vita».

<https://www.ibs.it/possiamo-salvare-mondo-prima-di-libro-jonathan-safran-foe-r/e/9788823527232?queryId=28fec743a52e767448d6521d76bd06c4>

- ▶ **Impatto zero. Vademecum per famiglie a rifiuti zero**, di Linda Maggiori, Dissensi, 2017  
<https://www.ibs.it/impatto-zero-vademecum-per-famiglie-libro-linda-maggiori/e/978889643815?queryId=5c5ae6bd349c72548c0e604364062bad>
- ▶ **Rifiuti zero. Dieci passi per la rivoluzione ecologica dal Premio Nobel per l'ambiente**,  
di Rossano Ercolini, Baldini + Castoldi, 2018  
<https://www.ibs.it/rifiuti-zero-dieci-passi-per-libro-rossano-ercolini/e/9788893881517?queryId=be309e82ade7610a30c4e840576141b4>
- ▶ **Il bivio. Manifesto per la rivoluzione ecologica**, di Rossano Ercolini, Baldini + Castoldi, 2020  
<https://www.ibs.it/bivio-manifesto-per-rivoluzione-ecologica-libro-rossano-ercolini/e/9788893883474?queryId=c5ba0a7078c20e94fd8a1994c0646c1b>
- ▶ **La nostra casa è in fiamme. La nostra battaglia contro il cambiamento climatico**. Ediz. ampliata,  
di Greta Thunberg, Svante Thunberg, Beata Ernman, Mondadori, 2020  
<https://www.ibs.it/nostra-casa-in-fiamme-nostra-libro-vari/e/9788804725602?queryId=6f1843abbbfe07bf178e4021521cd06c>
- ▶ **Diario di una striker. Io e Greta per il clima dalle piazze all'ONU**, di Federica Gasbarro, Piemme, 2020  
<https://www.ibs.it/diario-di-striker-io-greta-libro-federica-gasbarro/e/9788856674521?queryId=8c56e076b3cf20d377425f5aaacc7743>
- ▶ **La Terra è più calda. Come e perché sta cambiando il clima**, di Greenpeace (file PDF)  
<https://www.greenpeace.org/italy/rapporto/7105/la-terra-e-piu-calda/>
- ▶ **Pandemie, l'effetto boomerang della distruzione degli ecosistemi**, di WWF Italia (file PDF)  
<https://www.wwf.it/cosa-facciamo/pubblicazioni/pandemie-l'effetto-boomerang-della-distruzione-degli-ecosistemi/>
- ▶ **TerraFutura. Dialoghi con Papa Francesco sull'ecologia integrale**, di Carlo Petrini, Slow Food, 2020  
<https://www.ibs.it/terrafutura-dialoghi-con-papa-francesco-libro-carlo-petrini/e/9788809905450?queryId=9535fa4b8aae3e36631fba889cb5764a>
- ▶ **Niente di questo mondo ci risulta indifferente. Associazione Laudato sì. Un'alleanza per il  
clima, la Terra e la giustizia sociale**, a cura di Daniela Padoan, Edizioni Interno4, 2020  
<https://www.ibs.it/niente-di-questo-mondo-ci-libro-vari/e/978885747432?queryId=29aeb95c76f8ae093589e4116b58d9a>
- ▶ **Non c'è più tempo. Come reagire agli allarmi ambientali**, di Luca Mercalli, Einaudi, 2018  
<https://www.ibs.it/non-c-piu-tempo-come-libro-luca-mercalli/e/9788806232597?queryId=9705238d7d9f16ec4690ff0a716d28c5>
- ▶ **Le parole della transizione ecologica. Un lessico per l'economia circolare**, di Roberto Cavallo,  
Edizioni Ambiente, 2021  
<https://www.ibs.it/parole-della-transizione-ecologica-lessico-libro-vari/e/9788866273356?queryId=97d82a2b26466ec456dbd7aa51d82ba>
- ▶ **La causa del secolo. La prima grande azione legale contro lo Stato per salvare l'Italia (e il  
pianeta) dalla catastrofe climatica**, a cura di Marica Di Pierri con Filippo P. Fantozzi e Maura  
Peca, Round Robin Editrice, 2021  
<https://www.ibs.it/causa-del-secolo-prima-grande-libro-vari/e/9788894953701?queryId=02cda0d582ebfd75ef08c90598f195aa>
- ▶ **Per una Costituzione della Terra. L'umanità al bivio**, di Luigi Ferrajoli, Feltrinelli, 2022  
<https://www.ibs.it/per-costituzione-della-terra-umanita-libro-luigi-ferrajoli/e/9788807105616?queryId=aecfb38bcc4b09e266bf70fdd240f89>
- ▶ **Perché una Costituzione della Terra?** di Luigi Ferrajoli, Giappichelli, 2021  
<https://www.ibs.it/perche-costituzione-della-terra-libro-luigi-ferrajoli/e/9788892138551?queryId=1a1fb83611f0c9cbe41e878ea536a038>
- ▶ **Che cos'è la transizione ecologica. Clima, ambiente, diseguaglianze sociali. Per un  
cambiamento autentico e radicale**, a cura di M. Acanfora e G. Ruggieri, Altreconomia, 2021  
<https://www.ibs.it/che-cos-transizione-ecologica-clima-libro-vari/e/9788865164136?queryId=69109566c84493f2ceb6c441c39b918a>
- ▶ **Plasticene. L'epoca che riscrive la nostra storia sulla Terra**, di Nicola Nurra, Il Saggiatore, 2022  
<https://www.ibs.it/plasticene-epoca-che-riscrive-nostra-libro-nicola-nurra/e/9788842830276?queryId=e217d6a6cd00807052dbf89ca1d9905>
- ▶ **Inquinamento da plastica negli oceani. Impatti su specie, biodiversità ed ecosistemi marini**, di  
WWF Italia (file PDF)  
<https://www.wwf.it/cosa-facciamo/pubblicazioni/inquinamento-da-plastica-negli-oceani/>
- ▶ **COP26. In viaggio per Glasgow. Testimoni del clima**, di Pinuccia Montanari, Independently  
published, 2022  
<https://www.amazon.it/COP26-viaggio-Glasgow-Testimoni-clima/dp/B09TV1VX41>
- ▶ **Racconti del pianeta Terra**, a cura di Niccolò Scaffai, Einaudi, 2022  
<https://www.ibs.it/racconti-del-pianeta-terra-libro-vari/e/9788806249953?queryId=3ed785b4473dd20c18f82fc848aed6c3>

## FILMOGRAFIA PER LE SCUOLE ELEMENTARI E MEDIE



### LA CROCIATA

Regia: Louis Garrel  
Interpreti: Laetitia Casta, Joseph Engel, Louis Garrel  
Paese: Francia  
Anno: 2021  
Supporto: DVD  
EAN: 8031179994281  
Durata: 67 min

Abel, Marianne e il figlio tredicenne Joseph vivono insieme a Parigi. La loro esistenza quotidiana viene sconvolta il giorno in cui scoprono che Joseph, a loro insaputa, ha venduto alcuni oggetti di valore prelevati dalla casa per finanziare un misterioso progetto ecologico che Joseph, con i suoi amici, porta avanti in Africa, con lo scopo di salvare il pianeta.

#### RECENSIONI:

<https://www.cinematografo.it/news/al-cinema/la-crociata-di-garrel-eipkedus>

<https://www.internazionale.it/opinione/francesco-boille/2022/01/20/la-crociata#internazionale>



### RE DELLA TERRA SELVAGGIA

Titolo originale: Beasts of the Southern Wild  
Regia: Benh Zeitlin  
Interpreti: Quvenzhané Wallis, Dwight Henry, Levy Easterly, Lowell Landes, Pamela Harper, Gina Mowntanna  
Tratto da: pièce teatrale "Juicy and Delicious" di Lucy Alibar  
Durata: 92 min  
Paese: Stati Uniti | Anno: 2012  
Data uscita 7 Febbraio 2013  
Supporto: DVD  
EAN: 8057092026748

Hushpuppy è una bambina di 6 anni che vive nella comunità soprannominata Bathtub (La Grande Vasca), una zona paludosa su un delta del Sud degli Stati Uniti. Suo papà, Wink, sta cercando di prepararla a cavarsela anche senza di lui e quando una serie di eventi – una misteriosa malattia del padre, le temperature che aumentano, il ghiaccio che si scioglie e un gruppo di creature preistoriche, gli Aurochs, fanno la loro comparsa – Hushpuppy decide di partire per andare alla ricerca della madre scomparsa, di cui ha solo vaghi ricordi...

#### RECENSIONI:

<https://www.cinematografo.it/film/re-della-terra-selvaggia-beasts-of-the-southern-wild-otwbv8mb>



## MORE THAN HONEY. UN MONDO IN PERICOLO

Regia: Markus Imhoof

Genere: documentario

Paese: Germania

Anno: 2012

Durata: 94 min

Supporto: DVD

EAN: 8032807053059

<https://cinemambiente.it/movie/more-than-honey/>

*Appassionante viaggio cinematografico nel microcosmo delle api, importanti risorse economiche della natura e insetti sociali fondamentali per l'intero ecosistema, allevate per secoli dall'uomo e a rischio estinzione a causa del successo della civilizzazione. Milioni e milioni di api sono scomparse improvvisamente in tutto il mondo. In apparenza senza una ragione, una malattia o un'infezione che le abbia decimate, le api hanno lasciato i loro alveari pieni di miele e non sono riapparse in nessun altro luogo né sono stati ritrovati i loro corpi morti. Nonostante un'intensa attività di ricerca, la scienza non ha saputo trovare una risposta a questo anomalo comportamento. La sparizione è frutto di una serie di circostanze fortuite o si è di fronte alle prime fasi di un ecosistema al collasso?*

### Spunti di riflessione didattica

Un mondo in pericolo non è solo uno dei tanti film su quell'evento estremamente attuale che è la moria delle api. Le protagoniste di questo documentario sono le api ma in realtà i personaggi presenti sono anche altri, e fra questi anche noi, poiché anche su di noi ricade la responsabilità di un futuro migliore o peggiore. Il film racconta, infatti, della vita sul nostro pianeta, degli uomini e degli animali, dello zelo e dell'avidità, dei rischi enormi insiti in una crescita sempre più incontrollata nel nome del profitto. Si tratta di un film coraggioso, nel suggerire le potenziali e drammatiche conseguenze della colpevole miopia umana, e al contempo ricco di quella poesia che ci permette di penetrare e conoscere l'universo complesso e affascinante delle api.

Le api si stanno riducendo velocemente a causa delle attività umane: l'agricoltura intensiva e

l'utilizzo di pesticidi nocivi alterano l'habitat di questa specie e la indeboliscono. Come se non bastasse oggi hanno un nuovo terribile nemico: i cambiamenti climatici.

Aumentando la frequenza di eventi estremi, con ondate di calore e siccità, i cambiamenti climatici stanno creando una situazione di "caos climatico" che porta le temperature sopra il livello di tollerabilità di molte specie di api, minacciando così la loro sopravvivenza. Questi effetti sono visibili anche nel nostro Paese: le temperature sopra la norma e le ripetute giornate di sole di febbraio hanno risvegliato con almeno un mese di anticipo 50 miliardi di api presenti sul territorio nazionale. Il rischio è che il ritorno del freddo ne faccia morire molte, con conseguenti danni anche alla produzione di miele e frutta.

Per salvare le api dall'estinzione c'è bisogno innanzitutto di un'agricoltura più sostenibile. Per ora la petizione di Greenpeace, indirizzata alle istituzioni europee, ha ottenuto il bando permanente di tre insetticidi neonicotinoidi molto dannosi.

Le api rappresentano il primo gradino della catena alimentare. Grazie al loro prezioso contributo all'impollinazione, sono indispensabili per colture come il pomodoro e la zucca e rappresentano i principali alleati della varietà della nostra alimentazione e della biodiversità del mondo vegetale. La probabilità di incontrare questi animali negli ultimi decenni si è ridotta drasticamente: per alcune specie, come i bombi, di oltre il 30 per cento in soli 40 anni in regioni del pianeta come l'Europa e il Nord America, secondo uno studio dell'Università di Ottawa.

Per gli scienziati si tratta di un tasso di declino "coerente con un'estinzione di massa": a questo

ritmo, sostengono, molte specie di api rischiano di scomparire per sempre nel giro di pochi decenni, causando la sesta estinzione di massa a livello mondiale e la più grande crisi globale di biodiversità da quando una meteora ha messo fine all'era dei dinosauri.

Scarica il documento "Le API un mondo in pericolo" a cura di Angela Berlingò e Eleonora Lano di Slow Food Education.

NOTA: per ulteriori suggerimenti è possibile consultare il sito CINEMAMBIENTE (<https://cinemambiente.it/>), che – oltre a un ricchissimo archivio di schede informative su film e documentari dedicati a tematiche ambientali consultabile al link <https://cinemambiente.it/movie/> - offre anche la possibilità agli istituti scolastici abbonati a CinemAmbiente TV di proiezioni in classe, direttamente da internet:

CinemAmbiente TV – Film per l'educazione ambientale è un progetto didattico di educazione ambientale che integra un ricco archivio di film e svariati dossier di approfondimento, pensati per gli alunni e i docenti delle scuole di ogni ordine, dalla primaria alle superiori.

Sono disponibili corto, medio e lungometraggi, in lingua italiana o con sottotitoli italiani, selezionati per i diversi gradi di scolarizzazione, corredati da materiali didattici sui singoli film e sulle tematiche proposte.

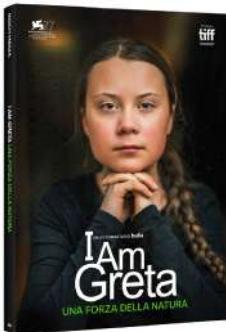
I titoli selezionati coprono tutti i grandi temi legati al concetto di sostenibilità ambientale: energia e fonti energetiche, ecosistemi, biodiversità, rapporto uomo-ambiente, acqua, cambiamenti climatici, eco-efficienza, consumi consapevoli, alimentazione, mobilità, inquinamento, consumo di suolo, rifiuti e salute, solo per citarne alcuni.

Gli istituti scolastici abbonati a CinemAmbiente TV possono proiettare in classe, direttamente da internet, decine di film e documentari; approfondire temi e scenari; proporre attività e approfondimenti per gli studenti su numerosi aspetti legati all'Ambiente.

CinemAmbiente TV rappresenta quindi un valido supporto didattico, che ben si inserisce nelle realtà comunicative oggi offerte dalla rete e si avvicina ai linguaggi preferiti dai ragazzi. È uno strumento semplice ed efficace, che si pone in linea con l'obiettivo principale di CinemAmbiente: contribuire a sviluppare una coscienza ambientale attraverso il linguaggio cinematografico.

<https://cinemambiente.it/tv/>

## FILMOGRAFIA PER LE SCUOLE SUPERIORI



### **I AM GRETA UNA FORZA DELLA NATURA**

Regia: Nathan Grossman

Interpreti: Greta Thunberg

Paese: Svezia

Anno: 2020

Supporto: DVD

Genere: Documentario

Durata: 97 min

Un intimo documentario, il primo lungometraggio, che racconta la storia dell'adolescente attivista per il clima Greta Thunberg attraverso filmati avvincenti e mai visti prima. A partire dallo sciopero scolastico solitario per una giustizia climatica fuori dal parlamento svedese, Grossman segue Greta - una timida studentessa con la sindrome di Asperger - nella sua ascesa alla ribalta e nel suo impatto globale galvanizzante che ha scatenato scioperi scolastici in tutto il mondo. Il film culmina con il suo incredibile viaggio nel 2019 in barca a vela nell'Oceano Atlantico per raggiungere New York e parlare all'ONU durante il Summit sul clima.

<https://www.cinematografo.it/film/i-am-greta-una-forza-della-natura-jzaovsve>

### DOCUMENTAZIONE:

Un anno con Greta Thunberg. Intervista a Nathan Grossman, regista di *I am Greta*  
<https://www.lifegate.it/documentario-i-am-greta-intervista-grossman-regista>

► **BIÙTIFUL CAUNTRI. Il documentario shock sull'ecomafia in Campania**

(1 DVD + libro). Documentario (Italia, 2007) | Durata: 82 minuti

Regia: Esmeralda Calabria, Andrea D'Ambrosio, Peppe Ruggiero con Raffaele Del Giudice, Salvatore Napolano

Presentato nel 2007 al Torino Film Festival, Biùtiful cauntri è un film documentario che affronta il tema dell'emergenza rifiuti e dell'inquinamento in Campania, focalizzandosi sui problemi legati alla presenza di 1200 discariche abusive di rifiuti tossici. Allevatori che vedono morire le proprie pecore per la diossina; un educatore ambientale che lotta contro i crimini ambientali; contadini che coltivano le terre inquinate per la vicinanza di discariche sono i protagonisti di storie di denuncia e di testimonianza del massacro di un territorio. Sullo sfondo le eco-mafie che usano camion e pale meccaniche al posto delle pistole. Una camorra dai colletti bianchi, imprenditoria deviata ed istituzioni spesso colluse, raccontate da un magistrato che svela i meccanismi di un'attività violenta che sta provocando più morti, lente nel tempo, di qualsiasi altro fenomeno criminale.

IL LIBRO svela i metodi della cosiddetta Rifiuti S.p.A., emersi dalle inchieste e da intercettazioni telefoniche che mostrano l'arroganza, la violenza e il cinismo degli ecocriminali. E punta il dito contro vent'anni di malgoverno, disattenzione delle istituzioni e false promesse. Con una prefazione di Luigi Ciotti.

IL DVD Allevatori che vedono morire le proprie pecore per la diossina. Contadini che coltivano terre inquinate dalle vicine discariche. Voci e immagini da una terra violata, consumata dall'alleanza fra un Nord operoso e senza scrupoli e le nuove forme della criminalità organizzata, raccontata con immagini inedite del traffico illecito dei rifiuti.

► **PROMISED LAND di Gus Van Sant (2013)**

Scritto dal premio Oscar® Matt Damon e da John Krasinski, il film-denuncia più controverso dell'anno che rivela gli occulti interessi e le strategie doppiogiochiste delle lobby del gas e del petrolio ai danni dell'ambiente. Un thriller avvincente diretto dal maestro Gus Van Sant (Will Hunting – Genio ribelle, Elephant, Milk) di cui i tycoon dell'energia hanno tentato di boicottare l'uscita.

Steve Butler (Matt Damon) ha una brillante carriera come agente commerciale della Global, una società di estrazione di gas naturale da 9 miliardi di dollari. Il suo prossimo obiettivo è conquistare la cittadina rurale di McKinley, ricca di giacimenti nel sottosuolo. Assieme alla collega Sue Thomas (il premio Oscar® Frances McDormand), Steve intraprende una "caccia ai consensi", che lo costringerà a confrontarsi con numerose resistenze e con le vere strategie della società per cui lavora, mettendolo di fronte a una difficile scelta tra la carriera e l'etica.

► **TRASHED. Verso Rifiuti Zero di Candida Brady (2012)**

Dal Festival di Cannes 2012 – Selezione Ufficiale

Environmental Film Festival - Cinemambiente 2013 Torino

*"C'è bisogno che questo argomento fastidioso sia compreso e condiviso dal maggior numero possibile di comunità in tutto il mondo per promuovere le soluzioni più creative e produttive. E' qui che i film possono giocare un ruolo importante: educare la società, portando argomenti 'difficili' a un pubblico il più ampio possibile". (Jeremy Irons)*

*"Abbiamo il dovere di rivolgerci alle nuove generazioni distinguendo 'qualità' della vita da 'quantità' di vita. Speriamo che il film sappia dimostrare come cambiando il modo in cui viviamo le nostre vite saremo in grado di contribuire al nostro benessere e alla sopravvivenza del pianeta". (Jeremy Irons)*

*“Un film impressionante, un monito per uscire dall’era sporca degli inceneritori e andare verso la civiltà dello spreco zero”*  
(Rossano Ercolini, vincitore del Goldman Environmental Prize 2013 per L’Europa).

Jeremy Irons ci conduce attraverso i cinque continenti, mostrando quanto l'inquinamento dell'aria, della terra e degli oceani, prodotto dai rifiuti, stia mettendo sempre più in pericolo non solo la salute, ma la stessa esistenza del genere umano. Un film che è un feroce atto d'accusa nei confronti della grande economia mondiale, ma anche un forte incitamento alla lotta e al cambiamento. In nome di un mondo migliore.

TRASHED fa parte della Campagna Legge verso Rifiuti Zero 2020. Riscrivere il futuro oggi puoi.

#### Premi e riconoscimenti:

TRASHED ha vinto l'Audience Award Movies That Matter al Maui Film Festival 2012, lo Special Jury Prize presso il Tokyo Film Festival 2012, lo Special Docu al Fife International Environmental Film Festival 2013. Nel 2012 è stato selezionato al Sarajevo Film Festival, Planet in Focus Film Festival, all'Abu Dhabi Film Festival, al Rio de Janeiro Film Festival, all'Espoo Ciné International Film Festival e al Raindance Film Festival, oltre al Festival di Cannes.

#### ► UNA SCOMODA VERITÀ di Davis Guggenheim (2006)

Un uomo percorre l'America, l'Europa, l'Asia in compagnia del proprio computer. Da quindici anni tiene conferenze che cominciano sempre con queste parole: "Il mio nome è Al Gore e dovevo essere il Presidente degli Stati Uniti". L'interesse di Una scomoda verità non risiede nelle qualità cinematografiche (David Guggenheim si accontenta di riprendere l'oratore e le immagini in "diaporama" che ne illustrano le parole), ma nella personalità del protagonista e nel soggetto che egli affronta. Soggetto terribile, di cui Gore (che ha partecipato ai negoziati del protocollo di Kyoto) sembra essere uno dei pochi americani ad avere compreso la portata: il surriscaldamento globale del pianeta. L'antico candidato alla Casa Bianca avverte che ci restano appena dieci anni per contrastare l'effetto-serra ed evitare una catastrofe planetaria; lo fa illustrando a studenti e gruppi di cittadini documenti, grafici, disegni e impressionanti simulazioni futuristiche che mostrano la sparizione della calotta glaciale dell'Antartico.

Il suo show ecologista mette freddo alla schiena. Frattanto, viene fuori un'immagine piuttosto diversa da quella che ci avevano dato di lui: pur confermando una certa riservatezza, Gore dà prova di possedere senso dello humour e calore umano. Anche se, a tratti, l'emergere di elementi della sua sfortunata carriera politica e della sua vita privata lasciano emergere l'ambiguo intreccio tra potere e spettacolo che ossessiona gli americani.

(r. n.) 19 gennaio 2007

<https://www.wwf.ch/sites/default/files/doc-2017-09/2007-10-dossier-didattico-una-scomoda-verita.pdf>

#### ► UNA SCOMODA VERITÀ 2 di Bonni Cohen (2017)

Il clima cambia. La verità no... Cosa è successo nei dieci anni trascorsi dopo il documentario Premio Oscar Una scomoda verità? Undici anni dopo il documentario premio Oscar sul riscaldamento globale, Al Gore torna a parlare della questione in "Una scomoda verità 2", a partire dalla politica energetica di Trump e dalla cancellazione degli accordi presi da Obama sull'inquinamento.

<https://www.ibs.it/scomoda-verita-2-dvd-film-bonni-cohen-jon-shenk/e/5053083139438#cc-an-chor-descrizione>

► **THIS CHANGES EVERYTHING di Avi Lewis (2015)**

9 paesi e 5 continenti coinvolti per un film che parte da un lancinante quesito: E se il riscaldamento globale fosse la nostra ultima occasione? Partendo dal libro “Una rivoluzione ci salverà” di Naomi Klein, voce narrante nel film nella versione originale, il film vede nella lotta per la difesa del nostro pianeta l'occasione per cambiare l'intero sistema economico mondiale, ormai alle corde.

<https://www.ibs.it/this-changes-everything-film-avi-lewis/e/8057092013861?>

in-ventoryId=46388462#cc-anchor-dettagli

► **UN POSTO SICURO di Francesco Ghiaccio (2015)**

Casale Monferrato è in fermento per l'avvicinarsi della sentenza del processo Eternit. Luca, un trentenne senza più sogni, che si guadagna da vivere come clown per animare le feste private, riceve una notizia drammatica: suo padre Eduardo, ex operaio Eternit, sta morendo di mesotelioma. Fuori concorso Sezioni Parental Control e Masterclass Giffoni 2016.

<https://www.raiplay.it/programmi/unpostosicuro>

► **CATTIVE ACQUE di Todd Haynes (2019)**

La vera storia di Robert Bilott, l'avvocato ambientalista protagonista di una estenuante battaglia legale durata ben 19 anni contro il colosso chimico DuPont e di come, da uomo tenace e combattivo, ha rappresentato 70mila cittadini dell'Ohio e della Virginia, la cui acqua potabile era stata contaminata dallo sversamento incontrollato di PFOA (acido perfluorooctanico). Grazie ad uno studio tossicologico sulle vittime, Bilott riuscirà a dimostrare i rischi per la salute associati alla contaminazione delle acque e otterrà per loro un importante risarcimento.

<https://www.cinematografo.it/cinedatabase/film/cattive-acque/64888/>

► **PUNTO DI NON RITORNO, BEFORE THE FLOOD.**

Il film ambientalista di Leonardo Di Caprio (2016)

<https://www.youtube.com/watch?v=4xHzRuGl9cM>

► **SVEGLIATI AMORE MIO di Ricky Tognazzi, Simona Izzo (2020)**

Nanà (Sabrina Ferilli) è una madre, una moglie e prima ancora, una donna coraggiosa e animata da un profondo senso di giustizia. La vita cambia per sempre quando sua figlia, bambina allegra e vitale, si ammala improvvisamente. La scoperta di altri casi simili al suo fa sorgere in lei un dubbio atroce: la causa di tutto potrebbero essere le emissioni di una fabbrica a pochi passi da casa, la stessa per cui lavora suo marito... Ferita nell'affetto più profondo, Nanà dovrà lottare contro un colosso votato al bieco interesse rischiando, lungo la strada, di perdere la fiducia dell'uomo che ama. La storia personale, intima ed emotiva di una donna fluisce in un racconto di impegno civile, in cui Davide sconfigge Golia e salva tutti i suoi affetti.

[https://mediasetinfinity.mediaset.it/fiction/svegliatiamoremio\\_SE000000001275](https://mediasetinfinity.mediaset.it/fiction/svegliatiamoremio_SE000000001275)

► **ANAMEI, I GUARDIANI DELLA FORESTA di Alessandro Galassi (2021)**

L'ultimo lavoro del regista Alessandro Galassi, Anamei: I guardiani della foresta (2021, 63') mette in dialogo la resistenza degli indigeni Harakbut di Madre de Dios, nell'Amazzonia peruviana, con la profezia dell'ecologia integrale di papa Francesco. Un messaggio quantomai potente alla vigilia del vertice di Glasgow in cui i leader mondiali sono chiamati a dare concretezza politica al codice rosso sul cambiamento climatico lanciato appena un mese fa dagli scienziati dell'International panel on Climate Change. Perché non è ancora troppo tardi per cambiare rotta.

Nell'ostinazione con cui gli indigeni curano le ferite dell'Amazzonia, sfregiata dalle miniere d'oro clandestine, si nasconde la chiave di una guarigione possibile. Per la foresta e i suoi popoli come per il pianeta e l'umanità tutta. Tutto è collegato.

Muovendosi con delicatezza da una sponda all'altra dell'Atlantico, il documentario è una poesia in immagini lunga 63 minuti capace non solo di raccontare ma di far percepire allo spettatore la bellezza ferita dell'Amazzonia e il suo spirito indomabile.

Dopo la prima nazionale a Milano, Anamei inizierà il viaggio tra Vecchio e Nuovo Mondo attraverso le rassegne documentaristiche dedicate al racconto del contemporaneo.

<https://www.universitaeuropeadiroma.it/formazioneintegrale/news/>

(cerca nel sito “anamei”: “a-milano-la-prima-nazionale-di-anamei”.

#### ► **BRASILE: LA DEFORESTAZIONE FUORI CONTROLLO DELL'AMAZZONIA**

ARTE Reportage (documentario con sottotitoli in italiano, disponibile fino al 02/05/2025)

L'Amazzonia è in preda ad una deforestazione senza controllo, finalizzata ad agevolare gli allevamenti intensivi di bovini e la coltivazione di soia per soddisfare la domanda estera. A Sud, in Rondonia, una porzione della foresta tropicale (dalla superficie pari a quella di New York) ha già subito un'emorragia di vegetazione del 50% più alta rispetto al 2019. L'arrivo al potere di Bolsonaro, sostenuto dai grandi proprietari terrieri, ha incoraggiato le pratiche di spoliazione delle terre presidiate dalle tribù indigene.

Regia: Eberhardt Rühle

Autore: Eberhardt Rühle

Paese: Germania

Anno: 2020

Durata: 13 min

Disponibile: dal 28/05/2020 al 02/05/2025

<https://www.arte.tv/it/videos/097351-000-A/brasile-la-deforestazione-fuori-controllo-dell-amazzonia/>

### **RISULTATI E DISCUSSIONE**

Il progetto didattico illustrato è stato presentato alle scuole genovesi che hanno partecipato al progetto “Sentinelle dell'Aria” ed è caratterizzato dalla replicabilità, condividendo questa caratteristica con i monitoraggi della qualità dell'aria in classe e nelle proprie abitazioni, i cui risultati sono stati illustrati in due articoli pubblicati in questo Quaderno.

### **CONCLUSIONI**

L'aspetto più rilevante del progetto riguarda la dimensione dell'imparare facendo; gli studenti traducono in azioni positive le problematiche affrontate; l'analisi, gli approfondimenti, conoscere, restituire, approfondire e rielaborare, attraverso documenti originali, costituiscono tappe di un percorso didattico che consente di raggiungere la consapevolezza necessaria per capire e apprendere dalla realtà.

# Genova: un laboratorio sperimentale “verde”.

## **Tiziana Caliman**

Istituto Nautico San Giorgio, Docente di Matematica, Genova  
calimantiziana@itnautico.edu.it

## **Alessandra Casarino**

Istituto Nautico San Giorgio, Docente di Tecnologie chimiche, Genova  
casarinoalessandra@itnautico.edu.it

## **Riassunto**

*Al fine di migliorare l'attenzione all'ecosostenibilità e al cambiamento climatico, l'Istituto Nautico San Giorgio ha partecipato e ha contribuito, fattualmente ed in modo significativo, al progetto Sentinelle dell'aria, presentato dall'Associazione Ecoistituto di Reggio Emilia e di Genova e dal Centro di Solidarietà Bianca Costa Bozzo (CEIS), nell'ambito del Patto Giovani, promosso dalla Regione Liguria. L'Istituto Nautico ha realizzato un percorso educativo che ha coinvolto attivamente gli studenti di tre classi nell'analisi della qualità dell'aria. I discenti hanno acquisito competenze di “Data Scientist”, importando, depurando e organizzando i dati rilevati e selezionando i modelli statistici regressivi. In tal modo gli studenti hanno esplorato i determinanti dei principali inquinanti analizzati, NO<sub>2</sub> e le polveri sottili (PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>10</sub>), nonché le reazioni chimiche che influenzano i parametri ambientali. Pertanto il progetto ha fornito agli alunni abilità sociali e di lavoro di gruppo, oltre a competenze informatiche e scientifiche. Le analisi condotte hanno suscitato una maggiore comprensione dei fenomeni dell'inquinamento atmosferico e delle strategie per affrontarlo. Questo approccio multidisciplinare, basato sull'esperienza, ha dimostrato di essere efficace nell'educazione ambientale degli studenti e nella promozione della sostenibilità.*

## **Parole chiave**

Didattica sperimentale laboratoriale | Inquinamento Atmosferico | Biossido di Azoto | Polveri Sottili

## **1. IL PROGETTO SENTINELLE DELL'ARIA: I GIOVANI DEL NAUTICO INVESTONO NELL'ECOLOGIA**

Genova si fa Capitale della Cultura “Verde”. Dopo la realizzazione della rete di monitoraggio autogestita (progetto *CheAriaTira*) nei quartieri maggiormente interessati dalle ricadute dei fumi portuali a Genova, in città è arrivato il progetto *Sentinelle dell'aria*. Un progetto presentato dall'Associazione Ecoistituto di Reggio Emilia e di Genova e dal Centro di Solidarietà Bianca Costa Bozzo (CEIS), nell'ambito del Patto Giovani, promosso dalla Regione Liguria. Si tratta di un'avventura ambientale vissuta da alcuni istituti scolastici genovesi. L'attenzione è rivolta all'aria che respiriamo, un bene comune, di vitale importanza, la cui qualità, spesso, viene meno per scelte collettive e per scelte individuali.

L'Istituto Nautico ha colto l'opportunità di partecipare al progetto, diventando un centro di monitoraggio della qualità dell'aria, con la partecipazione attiva degli studenti, guidati dalla Prof.ssa Casarino, la Prof.ssa Caliman e il Prof. Scarpi e la collaborazione dagli esperti di Ecoistituto RE-GE, del Dott. Federico Valerio, responsabile del progetto, del fondatore della Rete *CheAriaTira*, Niccolò Villiger e del Prof. Federico Grasso e del Prof. Andrea Bisignan, dirigenti dell'ARPAL, che si sono resi disponibili durante le analisi. Si ringrazia infinitamente il nostro DS, Prof. Paolo Fasce, per il supporto ricevuto.

## 2. MATERIALI E METODI

La nostra scuola, nell'ambito del progetto “Sentinelle dell'aria”, ha ricevuto da Ecoistituto RE-GE: una mini-centralina per il monitoraggio continuativo di polveri sottili ( $PM_{10}$ ) e ultra sottili ( $PM_{2,5}$ ), un sensore per la stima della concentrazione di anidride carbonica, misurata in Parti Per Milione (ppm), di Temperatura (T) e Umidità (U%) per verificare la qualità ambientale nelle classi, campionatori passivi per misurare le concentrazioni di inquinanti problematici per Genova, quali gli ossidi di azoto ( $NO_2$ ).

I campionatori passivi Radiello (Figura 1), usati per le misure all'interno e all'esterno dell'Istituto e nelle abitazioni (cucina) degli studenti, sono estremamente flessibili nell'uso, in quanto non necessitano di allaccio alla rete elettrica, sono di piccolo ingombro e si prestano, senza particolari limiti, per misure in ambiente interno ed esterno.

Cogliendo le possibili opportunità connesse dall'avere a disposizione osservazioni per studiare i determinanti dell'inquinamento atmosferico, si è optato di far lavorare gli studenti su modelli matematici applicati, coinvolgendo, da una parte, quali “sentinelle” e acquisitori di dati, alcuni studenti di due classi seconde (2A di Genova e 2B di Camogli), mentre, per le analisi dei dati, si è coinvolta la 5C di Genova.

### 2.1 Laboratorio “Sentinelle”: posizionamento attrezzature, selezione studenti “Sentinelle”, istruzioni sulle modalità di rilevazione dei dati.

Inizialmente, all'interno della classe 2A, è stato allestito un mini-laboratorio per il controllo dei parametri ambientali. Su un banco sono stati posizionati: due campionatori passivi per l' $NO_2$  (Figura 1), la centralina per misurare la concentrazione della  $CO_2$ , un termo-igrometro per la valutazione della Temperatura e della Umidità relativa, durante intervalli temporali opportunamente scelti (Figura 2).

La stessa procedura è stata seguita nella classe 2B di Camogli.

La mini-centralina per la misura in continuo delle polveri, in attesa degli allacciamenti elettrici sul terrazzo dell'Istituto, è stata provvisoriamente collocata in sala professori (Figura 3).

### 2.2 Misure della qualità dell'aria a scuola e a casa e analisi di fattibilità preliminare.

Gli studenti, incaricati delle rilevazioni in aula, per una settimana hanno preso nota (e poi riportato sul file dedicato al progetto) i valori di Temperatura, Umidità % e delle concentrazioni di  $CO_2$  registrati giornalmente in classe, in due ore diverse.



FIGURA1. CAMPIONATORI PASSIVI IN CLASSE PER LA MISURA DELLA CONCENTRAZIONE MEDIA DI NO<sub>2</sub> DI 7 E 14 GIORNI.



FIGURA 3. LA MINI-CENTRALINA (CERCHIO ROSSO) NELLA SALA PROFESSORI DELL'ISTITUTO NAUTICO SAN GIORGIO.



FIGURA 2. MINI STAZIONE METEO E DI MONITORAGGIO IN AULA: CAMPIONATORE PASSIVO, SENSORE CO<sub>2</sub>, TERMO IGROMETRO.

A ciascuno degli undici studenti del Nautico scelti come “Sentinelle”, edotti sul protocollo da applicare al trasporto scuola-casa e al corretto posizionamento del campionatore passivo, è stato consegnato un campionatore passivo per NO<sub>2</sub> che hanno portato a casa e posizionato nel locale della loro cucina. Agli stessi studenti è stato somministrato un questionario, in cui si chiedevano dettagli sulla propria abitazione, in particolare: indirizzo, piano, localizzazione in aree trafficate, prossimità geospaziale a impianti semaforici, vista porto, presenza o meno di stufe a legna, frequenza di utilizzo dei fornelli a gas, altre fonti di inquinamento interno (ad es. presenza di fumatori in casa).

Effettuati i campionamenti e ricevuti i risultati, a seguito di alcune sessioni di *brainstorming*, effettuate con gli studenti della 5C, e delle necessarie analisi di fattibilità, si è deciso di indagare:

- > da una parte, come i fattori climatici influenzano la concentrazione delle polveri sottili rilevate da tre mini-centraline della Rete genovese *CheAriaTira* e predisposte, grazie al progetto Sentinelle dell’Aria, una all’interno del nostro Istituto, il Nautico San Giorgio in Darsena, e le altre due, individuate secondo il criterio di prossimità geospaziale, posizionate in via Pagano Doria e in Corso Firenze;
- > dall’altra, come la concentrazione del biossido di azoto, misurata dalle nostre “sentinelle” possa essere influenzata da fattori rilevati dal questionario e che, secondo la letteratura, figurano come regressori.

Circa quest'ultimo aspetto, poiché il limitato numero di misure di NO<sub>2</sub> nelle case delle sentinelle non avrebbe permesso di avere risultati statisticamente significativi, si è proceduto anche a caricare i dati NO<sub>2</sub> prodotti dalla centralina dell'ARPAL più vicina al Nautico (via Buozzi) e si è esaminato il legame tra il traffico lungo questa strada e le concentrazioni di NO<sub>2</sub>.

Nel corso dell'acquisizione dei dati, sono state riscontrate difficoltà nel reperimento di informazioni sull'intensità del traffico giornaliero medio cittadino: l'ANAS (Azienda Nazionale Autonoma delle Strade) infatti, poteva fornire solamente informazioni relative al traffico extraurbano, mentre ENELX (*City Analytics*) permetteva la consultazione del Data Base solo a personale dipendente delle Pubbliche Amministrazione.

Stanti i tempi stretti, dettati dal concorso nazionale *La Sfida dei Big Data* ed. 2022-2023, a cui il nostro Istituto aveva deciso di partecipare, si è deciso di operare estendendo la dimensione temporale di analisi al quadriennio 2019-2023 ed introducendo una *dummy lock down* come misura indiretta del traffico, ossia si è costruita una variabile binaria, ovvero categorica, che assumesse quali valori 0-1 (binaria con 1 qualora il periodo sia stato caratterizzato da un *lockdown* completo) ovvero 0-0,5-1 (categorica, tenendo conto anche dei *lock down* parziali).

### 3. RISULTATI E DISCUSSIONE

#### 3.1 Misurazioni CO<sub>2</sub>, temperatura, umidità in aula

I dati osservati nel corso di una settimana, dal 24/11/22 al 02/12/22, hanno evidenziato nell'aula, nel corso delle lezioni, frequenti concentrazioni di CO<sub>2</sub> superiori a 1.000 ppm, valore massimo raccomandato per ambienti interni (Tabella 1).

Queste misure e quelle di temperatura e umidità sono state messe in relazione con la frequenza dei ricambi dell'aria ed il numero di studenti/personale scolastico presente in classe.

Tabella 1. Concentrazione di CO<sub>2</sub>, temperatura, umidità, registrati in aula.

MISURA 1	MISURA 2	DATA	TEMP. °C	UMIDITÀ relativa
765	794	24/11/2022	16	48%
612	585	25/11/2022	17	60%
626	498	28/11/2022	10	44%
2002	1755	29/11/2022	8	49%
1686	2207	30/11/2022	11	50%
1624	1054	01/12/2022	12	57%
1582	786	02/12/2022	9	51%

### **3.2 Misurazioni di NO<sub>2</sub> in aula e nelle abitazioni**

La concentrazione media di NO<sub>2</sub> nelle aule del Nautico San Giorgio (Genova) e Cristoforo Colombo (Camogli) è risultata, rispettivamente, pari a 15 e 5 µg/m<sup>3</sup>.

Questa differenza riflette il diverso livello di inquinamento da NO<sub>2</sub> registrato all'esterno delle due scuole, sui rispettivi terrazzi: 17 µg/m<sup>3</sup> a Genova e 4 µg/m<sup>3</sup> a Camogli.

Nelle cucine delle “sentinelle” dell’Istituto San Giorgio le medie settimanali minime e massime di NO<sub>2</sub> sono state, rispettivamente 12 e 29 µg/m<sup>3</sup>.

Nelle cucine delle sentinelle del Cristoforo Colombo i valori minimo e massimo sono stati 5 e 32 µg/m<sup>3</sup>.

Coerentemente con le attese, le “sentinelle” abitanti in zone molto trafficate hanno riscontrato nelle loro abitazioni valori più “preoccupanti”, per quel che riguarda la salubrità dell’aria, con valori di NO<sub>2</sub> superiori alle nuove linee guida proposte dalla Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS): 25 microgrammi per metro cubo (µg/m<sup>3</sup>), come media giornaliera.

Tuttavia, come già riportato, la concentrazione più elevata, durante questa campagna di misure, è stata di 32 µg/m<sup>3</sup>, valore trovato in una abitazione riscaldata con stufa a legna, una fonte potenzialmente inquinante.

Oltre al traffico intenso vicino all’abitazione e all’uso di legna per il riscaldamento, si sono anche riscontrate correlazioni positive tra l’uso dei fornelli a gas (gas naturale) e la presenza di fumatori all’interno delle abitazioni e le concentrazioni di NO<sub>2</sub> misurate (Tabella 2).

Il biossido di azoto si forma, infatti, quando ad alte temperature (e ad alte pressioni), quale quelle raggiunte dalla fiamma di fornelli a gas, di stufe a legna e di sigarette accese, l’azoto atmosferico reagisce con l’ossigeno dell’aria, formando ossidi d’azoto, tra cui il NO<sub>2</sub>, reazioni chimiche che, durante l’allestimento del laboratorio, sono state illustrate ai discenti.

*Tabella 2. Correlazioni tra concentrazione media settimanale di NO<sub>2</sub> riscontrata nelle abitazioni delle “Sentinelle” e possibili cause di inquinamento esterno e interno*

<b>CORRELAZIONI NO<sub>2</sub> CON</b>	<b>VALORE</b>
TRAFFICO	0,20
PIANO	-0,06
SEMAFORO	-0,07
VISTA PORTO	-0,17
USO FORNELLI	0,26
FUMO SIGARETTE	0,14
LEGNA	0,20
METANO	0,05

### **3.3 Analisi dell'influenza del traffico sul biossido di azoto: il DB e le analisi, con giustificazioni chimiche dei risultati.**

Per indagare sul ruolo che il traffico veicolare può avere sulla concentrazione di NO<sub>2</sub> lungo le strade genovesi si è deciso di utilizzare dati forniti dall'ARPAL, relativi alla loro centralina posta in via Buozzi, vicino al nostro Istituto.

Si sono costruite due variabili *lock down* relative ai blocchi della circolazione a causa della pandemia da Covid 19: una variabile teneva conto solo dei *lock down* totali (variabile binaria di tipo *dummy*), con la seconda variabile si consideravano le chiusure parziali e totali (variabile categoriale, con tre possibili valorizzazioni: 0 - 0,5 - 1), come misura indiretta del traffico cittadino, e si sono stimate due distinte regressioni in cui si sono introdotte alternativamente le variabili suddette.

In entrambe le regressioni, la *dummy lock down* risulta significativa e di una magnitudo non trascurabile.

### **3.4 Misurazioni di polveri sottili e analisi sui loro determinanti.**

Le principali variabili che influenzano le concentrazioni di polveri sottili sono riconducibili alle condizioni meteorologiche durante il campionamento e questi fenomeni sono stati indagati direttamente dai ragazzi, attraverso un'analisi della letteratura sul tema e le relazioni ARPAL.

Nella prima indagine si sono stimate tre regressioni lineari OLS (*Ordinary Least Squares*) attraverso il pacchetto Excel (scaricando, come componente aggiuntiva, Analisi Dati) dove, come variabile dipendente, si sono considerati, alternativamente, i livelli di PM<sub>10</sub> o PM<sub>2,5</sub>, rilevati dalle tre mini-centraline prese in considerazione e, come variabili esplicative, sono stati selezionati: la temperatura media giornaliera, l'umidità, il punto rugiada, la velocità media del vento, la pressione atmosferica, la visibilità in termini di km, e una variabile *dummy* "pioggia" che assume il valore 1, qualora ci siano state in quel giorno precipitazioni di qualsiasi natura ossia pioggia, grandine e neve e il valore 0, in assenza di eventi.

Nel corso delle valutazioni preliminari si sono riscontrati problemi con le misure della mini-centralina posta all'interno del nostro Istituto, riconducibili all'aver dovuto installare la centralina in sala professori, piuttosto che all'esterno dell'Istituto, come inizialmente previsto; tuttavia, questo limite sarà superato nel corso dell'anno scolastico venturo, con la realizzazione delle connessioni esterne alla rete elettrica e internet. Inoltre, durante le misure, la centralina è stata spostata e nel corso della manutenzione della macchina del caffè, posta nelle vicinanze, si registravano picchi anomali, che sono stati cancellati dal Data Base.

Per le altre due mini-centraline (Pagano Doria e Corso Firenze) si è riscontrata una buona capacità regressiva. Quasi tutte le variabili esplicative individuate risultano significative e di impatto non trascurabile sulle concentrazioni di polveri sottili, in particolare: pressione atmosferica, precipitazioni, vento e nebbia. Per ciascuna di queste variabili si sono analizzate le motivazioni con i ragazzi e con il personale ARPAL.

#### 4. CONCLUSIONE

L'attività laboratoriale, realizzata presso i due Istituti Nautici di Genova e Camogli, mirava a sviluppare negli studenti la piena comprensione del ruolo di cittadino attivo che un domani dovranno saper svolgere nella società, riconoscendo il problema pressante dell'inquinamento atmosferico, comprendendone i suoi determinanti e le possibili strategie attuabili per la salvaguardia intra e inter-generazionale.

Per questo motivo si sono studiati, modellizzandoli, gli inquinanti, i loro determinanti, approfondendone le questioni chimiche. Si è analizzato inoltre l'impatto che questi inquinanti hanno sull'ambiente e sulla salute umana.

Il grande apporto del nostro Istituto è stato quello di saper coinvolgere un discreto numero di maturandi, in analisi che si sono svolte in orario *extracurriculare* che ha fornito loro:

- > conoscenze su come si costruisce e si depura un DataBase, selezionando opportunamente le fonti, valutando eventuali *outliers* e le necessarie operazioni di depurazione, convertendo i dati qualitativi in variabili di tipo binario (*dummy*) ovvero categoriale (*count variable*), selezionando gli opportuni regressori attraverso uno studio della letteratura sul tema, scegliendo il modello ed il metodo di stima che offriva la miglior rappresentazione dei dati osservati;
- > un approccio scientifico ai risultati riscontrati andando ad approfondire le motivazioni prettamente chimiche che condizionano, riducono o aumentano l'influenza dei parametri ambientali sulla qualità dell'aria;
- > strategie d'indagine, di procedure sperimentali e di linguaggi specifici che costituiscono la base di applicazione del metodo scientifico, permettendo l'analisi di fenomeni complessi nelle loro componenti fisiche e chimiche;
- > abilità e competenze di tipo sociale/lavorative, capacità organizzative nella divisione del compito finalizzato ad un prodotto. La didattica laboratoriale, infatti, in un clima di inclusività e collaborazione, incoraggia le capacità personali e relazionali del discente e migliora l'autonomia di giudizio e di azione, instaurando una proficua collaborazione con gli altri;
- > competenze informatiche e multimediali che derivano, inizialmente, dall'aver dovuto scegliere un software per le analisi, studiandone il pacchetto aggiuntivo (Analisi Dati), necessario per le stime prodotte, e secondariamente dalla produzione di una presentazione Power Point dei risultati ottenuti;
- > competenze dell'area scientifico-tecnologica, che contribuendo a fornire la base di lettura della realtà, diventano esse stesse strumento per l'esercizio effettivo dei diritti di cittadinanza, una cittadinanza che diviene attiva e consapevole.

In un panorama ove la salvaguardia del nostro pianeta diviene prioritaria, basti pensare all'Agenda 2030, è molto importante fornire strumenti per l'acquisizione di una visione critica sulle proposte che vengono dalla comunità scientifica e tecnologica, in merito alla soluzione di problemi che riguardano ambiti codificati (fisico, chimico, biologico e naturale) e aree di conoscenze, di discipline diverse da quelle su cui si è avuto conoscenza/esperienza diretta nel percorso scolastico e, in particolare, relative ai problemi della salvaguardia della biosfera.

La ritengiamo una esperienza di successo, da replicare.

## BIBLIOGRAFIA

X Li, L Ma, S Khan, X Zhao, *The Role of Education and Green Innovation in Green Transition: Advancing the United Nations Agenda on Sustainable Development*, Sustainability, 2023.

ARPAL (Dipartimento Stato dell'Ambiente e Tutela dai Rischi Naturali – U.O. Qualità dell'Aria), *Report sugli effetti per la qualità dell'aria del lockdown*, 2020.

## SITOGRAFIA

1. Federico V, *I risultati del progetto Sentinelle dell'Aria*, 6 marzo 2023 Genova, presso Circolo Zenzero.  
<https://www.youtube.com/watch?v=i63VMRpUta4>
2. AA.VV., *Verso una cultura della sostenibilità: educazione e formazione come leve del cambiamento*, Seminario Tecnico, 27 settembre 2021  
<https://www.mase.gov.it/pagina/verso-una-cultura-della-sostenibilita-27-settembre-2021>
3. Federico V. (relatore), *A Genova tira una brutta aria. Come si identificano i veri colpevoli? I trucchi del mestiere di un chimico ambientale*, 22 aprile 2023, Atti del Convegno.  
<https://ecoistitutorege.it/sentinelle-dellaria/>
4. <http://www.cheariatira.it/rete-centraline-di-monitoraggio-provincia-di-genova/>  
usato per accedere alle centraline di monitoraggio della qualità dell'aria, installate grazie al progetto *Sentinelle dell'aria* nella provincia di Genova.
5. <https://www.ilmeteo.it/portale/archivio-meteo/Genova/>  
usato per estrarre i dati meteorologici riguardanti vento, t° media e precipitazioni, pressione atmosferica e altri dati dal 1°Gennaio 2019 al 31 Marzo 2023.
6. <https://www.ilgiorno.it/cronaca/lockdown-1.6111968>
7. [https://it.wikipedia.org/wiki/Gestione\\_della\\_pandemia\\_di\\_COVID-19\\_in\\_Italia](https://it.wikipedia.org/wiki/Gestione_della_pandemia_di_COVID-19_in_Italia)  
usati per risalire ai giorni di *lockdown* durante la pandemia per valorizzare una variabile *dummy* come misura indiretta del traffico.
8. <https://www.arpal.liguria.it/area-riservata/58-flexicontent/temi-news/4755-report-arpal-sugli-effetti-per-la-qualit%C3%A0-dell-aria-del-lockdown.html>  
usato per estrarre i dati relativi al biossido di Azoto ( $\text{NO}_2$ ).

# Progetto “Sentinelle dell’aria 2022”: esposizione settimanale a NO<sub>2</sub>, a scuola e nelle abitazioni di giovani genovesi.

**Federico Valerio**

Ecoistituto di Reggio Emilia e Genova

**Davide Sabbion**

Laureato magistrale in Scienze Statistiche, Università di Bologna

## **Riassunto**

*Centotrentasette giovani genovesi, in prevalenza studenti di scuole medie e di istituti superiori, sono stati coinvolti in un progetto di Educazione Ambientale e di “Citizens Science”, denominato “Sentinelle dell’Aria”.*

*Con campionatori passivi, posizionati contemporaneamente nelle aule dei quattro istituti scolastici coinvolti e nelle cucine delle abitazioni di trentadue delle giovani “sentinelle”, sono state misurate le esposizioni mediche settimanali a biossido di azoto.*

*Contemporaneamente, sono state monitorate le concentrazioni di NO<sub>2</sub> all’esterno degli istituti scolastici e i valori registrati presso le stazioni di monitoraggio ARPAL più vicine.*

*Alle sentinelle è stato somministrato un questionario, finalizzato ad individuare le principali fonti emissive di NO<sub>2</sub> presenti nelle loro abitazioni.*

*La media delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> nelle aule scolastiche, è stata di 9,9 µg/m<sup>3</sup>, con deviazione standard di 3,8 µg/m<sup>3</sup>, valore inferiore al limite giornaliero consigliato dall’Organizzazione Mondiale della Sanità (25 µg/m<sup>3</sup>).*

*Le concentrazioni di NO<sub>2</sub> sono risultate significativamente più alte all’interno delle cucine delle “sentinelle”. In questi ambienti domestici la concentrazione media di NO<sub>2</sub> è stata di 22,7 µg/m<sup>3</sup>, con deviazione standard di 9,9 µg/m<sup>3</sup>, con valori tendenzialmente più alti in corrispondenza di abitazioni con riscaldamento a legna (valore mediano: 32 µg/m<sup>3</sup>) e con presenza di fumatori (valore mediano: 23 µg/m<sup>3</sup>).*

## **Parole chiave**

Citizen Science | Biossido di azoto | Esposizione indoor | Qualità aria nelle scuole | Qualità aria nelle abitazioni.

## 1. INTRODUZIONE

Nel 2022, nell'ambito del Patto Giovani, della Regione Liguria, Ecoistituto Reggio Emilia e Genova, in collaborazione con il Centro di Solidarietà Bianca Costa (CEIS) e l'Associazione Nazionale Pubbliche Assistenze Liguria (ANPAS) ha proposto e realizzato un progetto di “Citizen Science”, denominato “Sentinelle dell'aria”, con il coinvolgimento diretto di giovani cittadini, in prevalenza studenti di scuole medie e di istituti superiori.

Agli insegnanti coinvolti sono stati messi a disposizione alcuni strumenti per effettuare misure della qualità dell'aria: un sensore per la misura in continuo di anidride carbonica, mini centraline per la misura in continuo di polveri sottili e campionatori passivi per la misura della concentrazione di biossido di azoto: in aula, all'esterno della scuola e presso le abitazioni di studenti, scelti per fare da “sentinelle” dell'aria.

In questo articolo saranno illustrati materiali, metodi e risultati del monitoraggio *indoor* e *outdoor* di NO<sub>2</sub>.

## 2. Materiali e Metodi

Per il campionamento di NO<sub>2</sub> sono stati utilizzati campionatori passivi “Radiello”<sup>1</sup> (Figura 1), scelti per la semplicità e flessibilità del loro uso in quanto di piccolo ingombro e posizionabili, senza particolari limiti, sia all'interno che all'esterno, in quanto non richiedono allacciamenti elettrici o uso di batterie.

Il campionatore Radiello per il biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) contiene una cartuccia chemi-adsorbente (codice 166), costituita da un supporto inerte, di materiale microporoso, impregnato di trietanolo ammina (TEA) umida; per effettuare il campionamento la cartuccia è inserita nel corpo diffusivo blu (foto protettivo) che è avvitata in posizione verticale sul supporto triangolare. Il biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) è



FIGURA 1. COMPONENTI DEL CAMPIONATORE RADIELLO (CORPO DIFFUSIVO, CARTUCCIA ASSORBENTE, ETICHETTA CON CODICE IDENTIFICATIVO, SUPPORTO) E CAMPIONATORE ASSEMBLATO, PRONTO ALL'USO.



FIGURA 2. CAMPIONATORE RADIELLO NEL BOX DI PROTEZIONE, DURANTE IL CAMPIONAMENTO ALL'ESTERNO DEL PLESSO SCOLASTICO DI GENOVA BORZOLI.

adsorbito dalla TEA sotto forma di ioni nitrito. Lo ione nitrito, dopo estrazione, è dosato mediante spettrofotometria nel visibile e cromatografia ionica.

Per i campionamenti esterni, i campionatori passivi sono stati posti in appositi box (Figura 2) per proteggerli dalla pioggia e dall'esposizione a luce solare intensa, fissati a ringhiere e cancelli in posizioni ben ventilate e lontano, almeno due metri, da muri e pareti.

Tutti i campionamenti, in continuo, hanno avuto una durata di sette giorni. Misure preliminari hanno verificato che questa durata del campionamento, nelle condizioni ambientali genovesi, è adeguata all'adsorbimento, nella cartuccia, di una quantità di NO<sub>2</sub> abbondantemente superiore al limite di rilevabilità del metodo analitico adottato.

Per tutti i campionamenti effettuati nelle scuole e al loro esterno, le cartucce sono state inserite nell'apposito tubo a diffusione poco prima dell'avvio del campionamento e i campionatori attivati sono stati posizionati all'esterno, nell'apposito box di protezione, (Figura 2) e nelle aule, su un apposito tavolino usato come stazione di monitoraggio dei parametri ambientali (Figura 3).

Per i campionamenti domestici, per evitare errori da parte delle "sentinelle", durante il montaggio dei campionatori a loro affidati, si è adottato il seguente metodo:

poco prima dell'orario di uscita dalla scuola, i campionatori sono stati montati nella biblioteca o nella sala professori e inseriti in buste di polietilene (PE) a chiusura ermetica (Figura 4), insieme al Questionario su cui era già stato riportato il codice identificativo della cartuccia e su cui la "sentinella" era invitata a scrivere giorno e ora di apertura e chiusura della busta, alla fine del campionamento domestico.

La tenuta stagna della busta di PE è stata verificata con l'analisi di due campionatori Radiello, confezionati come descritto, chiusi in uno zaino e trasportati, per circa tre quarti d'ora, a piedi e su mezzi pubblici, lungo le strade cittadine, prima di essere consegnati al laboratorio di analisi.



FIGURA 3. POSTAZIONE PER IL CAMPIONAMENTO DEL BIOSSIDO DI AZOTO E IL MONITORAGGIO IN CONTINUO DELLA ANIDRIDE CARBONICA, NELL'AULA DELL'ISTITUTO NAUTICO C. COLOMBO DI CAMOGLI.



FIGURA 4. PREPARAZIONE, NELLA SALA PROFESSORI DEL NAUTICO DI CAMOGLI, DEI CAMPIONATORI DA CONSEGNARE ALLE "SENTINELLE" PRIMA DELLA LORO USCITA DA SCUOLA. CAMPIONATORE PASSIVO INSERITO IN BUSTA DI POLIETILENE A CHIUSURA ERMETICA, INSIEME A COPIA DEL QUESTIONARIO, PRONTO PER LA CONSEGNA ALLA "SENTINELLA" INCARICATA DI ESPORLO NELLA SUA ABITAZIONE.



In questo modo si sono simulate le modalità di trasporto dei campionatori da parte delle “sentinelle” da scuola a casa e viceversa.

In entrambi i casi, la quantità di NO<sub>2</sub> presente nelle cartucce è risultata inferiore al minimo determinabile.

Una volta arrivati a casa, le “sentinelle”, come da istruzioni ricevute, hanno aperte le buste e esposto i campionatori in cucina, preferenzialmente appesi al lampadario o posizionati sopra un mobile di cucina (Figura 5) e annotato sul Questionario l’orario di apertura della busta, coincidente con l’orario di avvio del campionamento.

La mattina successiva al settimo giorno di campionamento, prima di uscire per andare a scuola, gli studenti hanno provveduto a reinserire i campionatori esposti nella loro busta a chiusura ermetica e a portarli a scuola, dove li attendevano volontari di Ecoistituto ReGe. Questi provvedevano ad aprire le buste, togliere dalla camera a diffusione la cartuccia esposta, inserirla nel tubo di vetro in cui erano state confezionate, chiudere il tubo, su cui fissavano l’etichetta adesiva con il codice identificativo della cartuccia e date e orari di avvio e fine della sua esposizione.

Tutti i tubi esposti venivano subito messi in una busta termica refrigerata con un accumulatore di freddo e portati, entra la mattina, al laboratorio per essere analizzati.

## 2.1 Partecipanti

Complessivamente nel progetto sono stati coinvolti centotrentasette “giovani”, in prevalenza studenti di scuole medie scuole superiori, insieme a volontari delle Pubbliche Assistenze genovesi (ANPAS) e aderenti alla Associazione Extinction Rebellion. Questi ultimi, oltre al ruolo di “sentinelle”, hanno contribuito alla consegna e al ritiro dei campionatori passivi.

Trentacinque giovani, in prevalenza scelti dai loro insegnanti, hanno avuto il ruolo di “sentinelle”, con l’incarico di monitorare la concentrazione di NO<sub>2</sub> nel locale cucina della loro abitazione, previa autorizzazione informata dei loro genitori.

A tutte le famiglie coinvolte sono stati comunicati i risultati ottenuti, accompagnati da puntuali valutazioni e commenti, da parte degli esperti di Ecoistituto ReGe.



FIGURA 5. CAMPIONATORI PASSIVI POSIZIONATI NELLE CUCINE DELLE “SENTINELLE”.

## 2.2 Questionari

A ogni “sentinella”, dopo l’illustrazione dei contenuti e delle modalità di compilazione è stato consegnato un Questionario per acquisire le informazioni utili per stimare la durata esatta di ciascun campionamento, l’indirizzo dell’abitazione e quelle inerenti a possibili fonti inquinanti presenti nelle vicinanze della propria abitazione e al suo interno.

Le principali domande hanno riguardato:

- > piano dell’abitazione;
- > presenza entro 50 metri dall’abitazione di: strada trafficata, autostrada, semaforo, grande parcheggio, cantieri...;
- > modalità di arieggiamento dei locali;
- > presenza e attivazione di cappa aspirante sui fornelli e di presa d’aria esterna;
- > numero giornaliero dell’accensione dei fornelli a gas;
- > riscaldamento autonomo: metano, legna, pellet;
- > presenza di fumatori.

Il Questionario, che poteva essere somministrato anche all’intera classe, è stato formulato anche con intenti didattici, per suscitare interesse sulle diverse fonti inquinanti interne ed esterne e sulle modalità per ridurne gli effetti.

Il Questionario, nella sua forma integrale, e altri documenti utili per gli insegnanti sono scaricabili dal sito di Ecoistituto ReGe<sup>2</sup>.

## 2.3 Istituti scolastici e organizzazioni coinvolte

Al progetto “Sentinelle dell’Aria” hanno partecipato sei istituzioni scolastiche e due associazioni genovesi.

Nella Tabella 1, per ognuna delle istituzioni partecipanti, sono riportati il numero di giovani (in prevalenza studenti) complessivamente coinvolti e il numero di “sentinelle” che hanno effettuato campionamenti presso le proprie abitazioni.

Complessivamente, al progetto hanno partecipato 137 giovani e 35 “sentinelle”.

TABELLA 1. NUMERO TOTALI DI PARTECIPANTI E DI “SENTINELLE” PER CIASCUN ISTITUTO SCOLASTICO E ASSOCIAZIONE CHE HA PARTECIPATO AL PROGETTO “SENTINELLE DELL’ARIA”.

Istituti e Associazioni	Partecipanti	Sentinelle
I. C. Borzoli, scuola 2 Giugno	40	7
I. C. S. Francesco da Paola	20	6
Istituto Nautico San Giorgio	40	7
Istituto Nautico Cristoforo Colombo	20	6
Doposcuola Circolo ARCI Zenzero	5	2
ANPAS	7	3
Extinction Rebellion	5	4

## 2.4 Campionamenti

Tutti i campionamenti sono stati effettuati nel corso del 2022, tra ottobre e dicembre, alla ripresa dell'anno scolastico e hanno avuto la durata di sette giorni consecutivi. Per motivi organizzativi, sono state effettuate sette diverse campagne di monitoraggio settimanali, che hanno riguardato campionamenti contemporanei all'esterno e all'interno degli Istituti Scolastici e nelle abitazioni di alunni e volontari.

Gli istituti coinvolti, i loro indirizzi e le date di inizio e fine campionamento sono i seguenti:

ISTITUTO	INDIRIZZO	INIZIO	FINE
IC san Francesco da Paola,	v. San Marino, 221, GE	16/11	23/11
Ist. Nautico C. Colombo,	v. Bettolo 17, Camogli	21/11	28/11
Scuola 2 Giugno,	v. Fratelli di Coronata, GE	22/11	29/11
I.T.T.L. Nautico San Giorgio,	Calata Darsena, GE	25/11	02/12
Dopo-scuola Circolo ARCI Zenzero,	v. Torti 35, GE	25/11	01/12
Volontari ANPAS, Sede,	v. Pacinotti 52, GE	22/11	30/11
Extinction Rebellion		11/10	18/10
		24/11	02/12

Nelle aule scolastiche, i campionamenti sono stati effettuati per sette giorni consecutivi, contemporaneamente ai campionamenti domestici a partire da un lunedì, fino al lunedì successivo, su un banco posizionato in un angolo “tranquillo”.

Durante il campionamento, tutte le aule sono state areate, aprendo frequentemente e a lungo le finestre, seguendo le indicazioni del sensore per CO<sub>2</sub>, affidato a ciascuna delle scuole che avevano aderito al progetto e che inviava un allarme sonoro quanto si superava una concentrazione di 1.500 parti per milione.

Anche i campionamenti domestici sono avvenuti per sette giorni consecutivi, a partire da un lunedì. Come già riportato, tutti i campionamenti domestici sono avvenuti nelle stanze adibite a cucina (Figura 5), in quanto i fornelli di cucina accesi sono una nota e importante fonte di biossido di azoto (Ponzio, 2006).

Durante ogni campagna di monitoraggio si sono acquisite le misure giornaliere di NO<sub>2</sub> e le loro medie settimanali, delle stazioni di monitoraggio ARPAL<sup>3</sup> più vicine ai plessi scolastici oggetto di studio:

- > Stazione ARPAL via Buozzi, per Istituto Nautico San Giorgio
- > Stazione ARPAL largo S. Francesco da Paola, per Istituto S. Francesco da Paola
- > Stazione ARPAL via Pastorino, per Istituto Borzoli
- > Stazione ARPAL Rapallo, campo Macera per Istituto Nautico C. Colombo
- > Stazione Arpal corso Gastaldi, per Circolo Zenzero

## 2.5 Analisi e stima delle concentrazioni di NO<sub>2</sub>

L'analisi delle cartucce esposte e la stima delle concentrazioni settimanali di NO<sub>2</sub> è stata effettuata dal Laboratorio IREOS di Genova.

Lo ione nitrito, formatosi dalla reazione del NO<sub>2</sub> adsorbito dalla cartuccia con

la TEA, dopo estrazione, è stato dosato mediante spettrofotometria nel visibile e cromatografia ionica. In base alla durata del campionamento e alla temperatura media dell'aria durante il campionamento, il Laboratorio ha calcolato la concentrazione media di NO<sub>2</sub> e ha provveduto a comunicare il risultato di ciascun campione, in forma anonima a tutela della "privacy", espresso come microgrammi di NO<sub>2</sub> per metro cubo d'aria.

### 3. RISULTATI

#### 3.1 Confronto tra esposizione in classe e a casa

La Tabella 2 mostra le esposizioni settimanali a NO<sub>2</sub>, registrate nelle aule scolastiche e nelle cucine delle abitazioni delle "sentinelle".

Per ciascuna classe monitorata è riportato:

- > concentrazione media settimanale di NO<sub>2</sub> misurata nelle aule scolastiche;
- > concentrazioni medie, deviazione standard, concentrazioni minime e massime riscontrate nelle abitazioni delle "sentinelle" di ciascun gruppo che ha partecipato al monitoraggio.

TABELLA 2. ESPOSIZIONE SETTIMANALE A NO<sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) NELLE CLASSI E A CASA

Plessi scolastici e Associazioni	Esposizione in classe	Esposizione a casa		
		NO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	media $\pm$ d.s.	minimo
Borzoli, scuola 2 Giugno	9-10	24 $\pm$ 7	18	34
San Francesco da Paola	7	23 $\pm$ 10	8	33
Nautico San Giorgio	8	22 $\pm$ 7	12	29
Nautico C. Colombo	5	19 $\pm$ 10	5	32
Doposcuola Zenzero	11	23	16	30
ANPAS & Extinction Rebellion	n.d.	29 $\pm$ 12	6	42

N.D.: NON DISPONIBILE

La Tabella 2 mostra come all'interno delle scuole, si siano sempre registrate concentrazioni di biossido di azoto molto basse, con valori compresi tra 7 e 11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Nelle cucine degli studenti, si sono riscontrate concentrazioni molto più alte e con ampia variabilità; concentrazione media e deviazione standard sono 23,8  $\pm$  10,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  con importanti valori massimi, compresi tra 32 e 42  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

#### 3.2 Confronto tra le concentrazioni di NO<sub>2</sub> nelle aule, al loro esterno e presso la stazione ARPAL più vicina.

La Tabella 3 mostra le concentrazioni medie settimanali registrate all'interno e all'esterno delle scuole e in corrispondenza della stazione ARPAL più vicina alla scuola, la cui localizzazione è stata riportata in precedenza.

TABELLA 3. CONCENTRAZIONE MEDIA SETTIMANALE DI NO<sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) NELLE AULE, AL LORO ESTERNO E PRESSO LA STAZIONE ARPAL PIÙ VICINA ALLA SCUOLA

Scuola	Interno aula	Esterno scuola	Stazione ARPAL
			Concentrazione NO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Borzoli, scuola 2 Giugno	9 -10	n.d.	32
Nautico San Giorgio	8	7	43
Nautico C. Colombo	5	4	28
S. Francesco da Paola	7	5	17
Doposcuola Zenzero	11	12	41
<b>media ± ds</b>	<b>8,3 ± 1,7</b>	<b>7,0 ± 2,5</b>	<b>34,5 ± 10,9</b>

N.D.: NON DISPONIBILE

La Tabella 3 evidenzia come, in corrispondenza delle scuole, le concentrazioni medie di NO<sub>2</sub> trovate all'interno delle aule e nelle loro immediate vicinanze (il terrazzo della scuola per Nautico San Giorgio, Nautico Colombo, S. Francesco da Paola; la cancellata all'ingresso della scuola 2 Giugno di Borzoli; il giardino su via Torti per doposcuola Zenzero) siano molto simili, con valori sempre bassi, minori o uguali a 11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  con una concentrazione media di NO<sub>2</sub>, all'interno delle aule, pari a  $8,3 \pm 1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Questo è dovuto alla assenza, nelle scuole, di fonti interne di biossido di azoto, in particolare il fumo di sigaretta, grazie al divieto di fumo, rispettato anche da insegnanti e collaboratori scolastici, in tutti i locali delle scuole e alla buona qualità dell'aria esterna, immessa nelle aule grazie alla frequente apertura delle finestre. Questa prassi è avvenuta regolarmente in tutte le aule, molto affollate (venti alunni presenti) per rinnovarne l'aria anche in base alle misure della concentrazione interna di anidride carbonica, misure effettuate con il sensore dedicato a misurare questa specifica molecola e che il progetto "Sentinelle dell'Aria" ha messo a disposizione di tutte le scuole.

La bassa concentrazione di NO<sub>2</sub> all'esterno delle scuole, media  $7,0 \pm 2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , è da attribuire alla loro localizzazione, lontana da strade ad elevato traffico per la scuola di Borzoli, posta in collina e per quella del Nautico Colombo, sulla collina di Camogli.

Anche la scuola San Francesco da Paola è lontana da strade trafficate e, nella settimana di monitoraggio, non deve essere stata interessata da importanti emissioni portuali, come dimostra la contemporanea misura effettuata dalla stazione di fondo urbano di ARPAL, posizionata più a valle rispetto alla scuola, in largo San Francesco da Paola, dove si sono registrati  $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$  di NO<sub>2</sub>.

La maggiore concentrazione di NO<sub>2</sub> è stata trovata all'interno e all'esterno del doposcuola del Circolo Zenzero (11 e  $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Tale situazione è dovuta alla vicinanza di via Torti, una strada a "canyon" percorsa da intenso traffico.

I risultati di tutte le misure effettuate dentro e fuori le scuole sono ampiamente inferiori all'obiettivo di qualità dell'aria per l'NO<sub>2</sub>, proposto recentemente dalla Organizzazione Mondiale della Sanità<sup>3</sup>, pari a un valore medio, su base giornaliera, di  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

L'alta concentrazione di NO<sub>2</sub> registrata, presso la stazione ARPAL più vicina a ciascuna scuola è dovuta al fatto che la localizzazione di quattro di queste stazioni (via Pastorino; via della Libertà, Rapallo; via Buozzi; corso Europa), classificate come “Urbana Traffico” è stata scelta per tenere sotto controllo l'inquinamento veicolare, certamente una delle principali fonti di emissione di NO<sub>2</sub> nella provincia di Genova.

L'inquinamento da traffico è maggiore al centro della strada e quindi all'interno e all'esterno dei veicoli (autoveicoli e motocicli) che la percorrono e, in particolare all'interno delle strade affiancate da alti palazzi (strade a “canyon”). Allontanandosi dalla mezzeria, l'inquinamento da traffico si riduce progressivamente (Gilbert, 2003).

Per questo motivo tutte le stazioni ARPAL che devono misurare l'inquinamento da traffico sono posizionate a pochi metri di distanza dalle vie più trafficate.

Invece, la stazione ARPAL di largo San Francesco da Paola è collocata in un sito che, per le sue caratteristiche, è definito come “Urbano Fondo”, insieme alle stazioni ARPAL dell'Acquasola, di corso Firenze (Belvedere Don Gà) e di Quarto (Largo Cattanei).

Con venti provenienti dal quadrante sud, le stazioni di largo San Francesco da Paola e di corso Firenze sono interessate da ricadute di emissioni derivanti dalla attività portuale, in particolare dalle emissioni a cammino delle navi in ingresso e uscita dal porto e attraccate ai moli ai moli, con i generatori diesel tenuti in funzione per fornire elettrica ai servizi a bordo (illuminazione, condizionamento, ventilazione...).

### 3.3 Stima della esposizione giornaliera di NO<sub>2</sub>

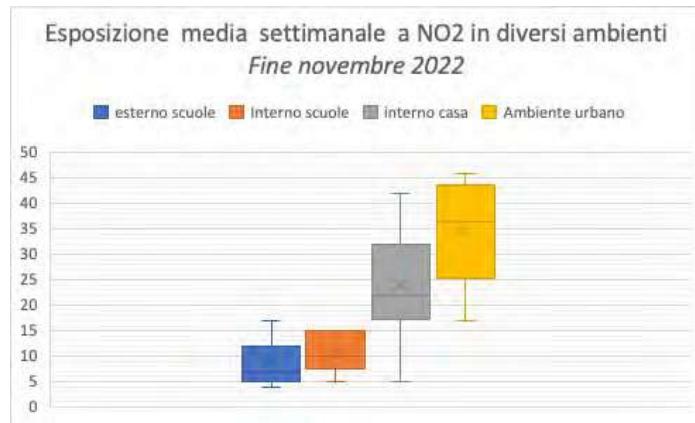


FIGURA 6. DISTRIBUZIONE DELLE CONCENTRAZIONI MEDIE SETTIMANALI DI NO<sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) REGISTRATE NEI DIVERSI AMBIENTI FREQUENTATI DALLE “SENTINELLE” DURANTE LA FINE DI NOVEMBRE DEL 2022.

La Figura 6, con la rappresentazione definita “scatola e baffi”, sintetizza i risultati del progetto “Sentinelle dell'aria”.

Per ogni gruppo di misure effettuate negli ambienti frequentati per sette giorni dalle “sentinelle” (aula, loro immediate vicinanze, abitazioni, strade dei quartieri che ospitano scuole e abitazioni degli studenti) nelle “scatole”, in cui si trova il 50%

delle misure di NO<sub>2</sub>, sono riportate: la concentrazione media (X) e la mediana (riga orizzontale) che rappresenta il valore intermedio di tutte le misure. Le estremità dei “baffi” corrispondono ai valori minimi e massimi.

La Figura 6 mostra che nelle ore trascorse a scuola o nelle sue immediate vicinanze l'esposizione a NO<sub>2</sub> è statisticamente più bassa di quella presente nella cucina e nel quartiere frequentato dalle “sentinelle”, mentre l'esposizione che si registra all'interno delle abitazioni (concentrazione mediana 23,8 µg/m<sup>3</sup>) è confrontabile con le misure ambientali registrate dalle stazioni ARPAL (mediana 34,5 µg/m<sup>3</sup>).

### 3. DISCUSSIONE

La Tabella 3 e la Figura 6 “fotografano” l'esposizione a NO<sub>2</sub> dei giovani che hanno partecipato al progetto, nel corso di una loro giornata tipo, in base agli ambienti che hanno frequentato e alla durata di frequentazione di questi ambienti.

Si può stimare che ogni “sentinella” giornalmente stia per cinque ore a scuola, per una-due ore nei trasferimenti casa-scuola, per tredici-quattordici ore in casa (colazione, pranzo, cena, studio, a letto) e per altre tre-quattro ore fuori casa, in giro per la città.

Quindi si può affermare che la maggiore dose di NO<sub>2</sub> inalata giornalmente dai giovani che hanno partecipato al progetto dipenda dalle ore trascorse a casa e questo è il principale risultato del progetto “Sentinelle dell'Aria”, un dato ancora inedito per Genova.

Le misure fatte nelle case delle sentinelle documentano esposizioni di lunga durata a concentrazioni che le recenti valutazioni della Organizzazione Mondiale della Sanità<sup>3</sup> stimano pericolosi per la salute umana. Il nuovo limite giornaliero per il NO<sub>2</sub>, proposto dall'OMS, è di 25 µg/m<sup>3</sup>, valore superato, nelle loro abitazioni, da quattordici sentinelle su trentacinque, il 40% del nostro campione.

La differenza tra le concentrazioni riscontrate in classe e quelle contemporaneamente misurate nelle abitazioni è statisticamente significativa. Questo permette di affermare che nelle scuole oggetto di studio la qualità dell'aria sia effettivamente migliore di quella che le giovani sentinelle respirano nelle loro abitazioni.

Il ridotto numero di soggetti studiati non permette di valutare, dal punto di vista statistico, il “peso” delle diverse variabili prese in considerazione nel questionario (fonti interne ed esterne, mitigazioni attribuite a ricambi d'aria...) tuttavia, è da segnalare che le concentrazioni più elevate (superiori a 30 µg/m<sup>3</sup>) sono state riscontrate in presenza di fumatori e di stufe a legna, entrambi importanti fonti di emissione di ossidi di azoto, ampiamente documentati dalla letteratura scientifica.

Il contributo dell'inquinamento ambientale di queste due specifiche fonti e in particolare quello del riscaldamento a legna, indotto anche in ambito urbano, dai recenti aumenti del costo del gas naturale, merita attenzione e deve essere puntualmente segnalato durante le lezioni di educazione ambientale.

Diversi studi hanno evidenziato l'importanza dell'esposizione domestica a NO<sub>2</sub>, sia per l'intensità di questa specifica esposizione che per la sua durata (WHO, 2010).

In particolare, uno studio condotto in Italia, nella zona rurale del Delta del Po

(Simoni, 1998) ha riscontrato che la concentrazione domestica di NO<sub>2</sub> era più alta nella stagione invernale rispetto a quella estiva, in particolare nelle cucine, con medie settimanali rispettivamente di 62 µg/m<sup>3</sup> e 38 µg/m<sup>3</sup> che gli autori attribuiscono alla presenza di fornelli e calderine a gas in funzione.

Nell'index Report (Kotzias, 2005) si afferma che le esposizioni domestiche a biossido di azoto vanno da 13 a 62 µg/m<sup>3</sup>, mentre le esposizioni esterne sono tra 24 e 61 µg/m<sup>3</sup>.

Uno studio condotto in Spagna (García-Algar, 2003), tra il 1996 e il 1998, ha riscontrato nelle abitazioni concentrazioni di NO<sub>2</sub> comprese tra 12,5 e 14,7 µg/m<sup>3</sup>, principalmente attribuite alle emissioni dei fornelli a gas.

Le concentrazioni di NO<sub>2</sub> riscontrate nello studio condotto dalle “sentinelle” genovesi, all'interno delle loro cucine, sono dello stesso ordine di grandezza dei valori riportati da questi studi.

Invece, la qualità dell'aria misurata nelle scuole genovesi (mediana: 10 µg/m<sup>3</sup>) appare migliore di quella riportata da una rassegna bibliografica condotta da Sоловен (2019), relativa a studi condotti nelle aule scolastiche di diversi paesi, che ha evidenziato che, in questi ambienti, la concentrazione mediana di NO<sub>2</sub> sia di 26,1 µg/m<sup>3</sup>.

Molto probabilmente la migliore situazione delle aule genovesi è dovuta alla loro specifica localizzazione, lontana da strade trafficate e da fonti emissive industriali.

In conclusione, si può affermare che il progetto “Sentinelle dell'Aria”, abbia raggiunto i propri obiettivi, fornendo utili informazioni sulla esposizione della popolazione giovane e coinvolgendo attivamente insegnanti ed allievi allo studio e alla conoscenza della qualità dell'aria, negli ambienti da loro quotidianamente frequentati.

E il progetto “Sentinelle dell'Aria”, sia per gli aspetti metodologici che didattici, è certamente esportabile in altre realtà.

### *Ringraziamenti*

*Gli autori desiderano ringraziare i docenti che hanno aderito al Progetto e i giovani e le loro famiglie che, con precisione e puntualità, hanno effettuato i campionamenti a casa.*

*Un ringraziamento particolare va al personale tecnico del Laboratorio IREOS che, in modo rapido e qualificato ha effettuato analisi e elaborazioni dei dati e ai giovani di Extinction Rebellion e del CEIS, per la preziosa attività di consegna e ritiro dei campionatori.*

## BIBLIOGRAFIA

- García-Algar, Ó., Zapater, M., Figueroa, C., Vall, O., Basagaña, X., Sunyer, J., ... & Pichini, S. (2003). Sources and concentrations of indoor nitrogen dioxide in Barcelona, Spain. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 53(11), 1312-1317.
- Gilbert, N. L., Woodhouse, S., Stieb, D. M., & Brook, J. R. (2003). Ambient nitrogen dioxide and distance from a major highway. *Science of the Total Environment*, 312(1-3), 43-46.
- Kotzias, D., Koistinen, K., Kephalopoulos, S., Schlitt, C., Carrer, P., Maroni, M., ... & Seifert, B. (2005). The INDEX project. *Critical Appraisal of the Setting and Implementation of Indoor Exposure Limits in the EU. Final Report. EUR*, 21590.
- Ponzi, M., Villani, S., Frigerio, F., Verri, A., Marinoni, A., & ECRHS, G. (2006). Analisi preliminare dell'inquinamento indoor da biossido di azoto in un'area del Nord Italia. *Epidemiol Prev*, 30 (2), 85-90.
- Salonen, H., Salthammer, T., & Morawska, L. (2019). Human exposure to NO<sub>2</sub> in school and office indoor environments. *Environment international*, 130, 104887.
- Simoni, M., Biavati, P., Carrozzì, L., Viegi, G., Paoletti, P., Matteucci, G., ... & Sapigni, T. (1998). The Po river delta (North Italy) indoor epidemiological study: home characteristics, indoor pollutants, and subjects' daily activity pattern. *Indoor Air*, 8(2), 70-79.
- World Health Organization. Regional Office for Europe. (2010). WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. World Health Organization. Regional Office for Europe. <https://iris.who.int/handle/10665/260127>

## SITOGRAFIA

- 1.<https://radiello.com/it/la-misurazione-dei-livelli-di-concentrazione-in-aria/>
- 2.<https://ecoistitutorege.it/materiali-per-i-docenti-che-partecipano-al-progetto/>
- 3.<https://www.arpat.toscana.it/notizie/arpatnews/2021/207-21/nuovi-valori-guida-oms-per-la-qualita-dellaria>
- 4.[https://www.arpal.liguria.it/contenuti\\_statici/bollettini\\_aria/report\\_giornaliero\\_GE-2023-10-22.pdf](https://www.arpal.liguria.it/contenuti_statici/bollettini_aria/report_giornaliero_GE-2023-10-22.pdf)

# Progetto “Sentinelle dell’aria 2022”: esposizione settimanale a BTEX a scuola, nelle abitazioni degli studenti di Genova-Borzoli e nelle autoambulanze della Pubblica Assistenza.

**Federico Valerio**  
Ecoistituto di Reggio Emilia e Genova

## Riassunto

Nell’ambito del progetto “Sentinelle dell’aria 2022” è stata effettuata una campagna di monitoraggio di idrocarburi aromatici (benzene, toluene, etilbenzene, xileni) e composti organici volatili, nella scuola e nelle case di giovani studenti residenti nel quartiere di Genova Borzoli, quartiere che ospita un importante deposito di greggio, benzina e gasolio, con possibili emissioni in atmosfera di idrocarburi volatili. Gli stessi composti sono stati analizzati all’interno di ambulanze della Pubblica Assistenza in servizio nei quartieri genovesi di Pontedecimo, Sestri Ponente, san Desiderio e nella città di Spotorno (SV).

Alte concentrazioni di benzene ( $2,4 - 5,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sono state trovate lungo una strada a “canyon” che attraversa il quartiere e in due abitazioni con la presenza di fumatori. Basse concentrazioni di benzene ( $0,6 - 0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sono state trovate nelle aule (3<sup>a</sup> C e 3<sup>a</sup> D) dell’istituto comprensivo di Borzoli.

I risultati ottenuti escludono che, nel periodo oggetto di studio (novembre 2022), emissioni diffuse da parte dei depositi possano avere avuto un ruolo rilevante sulle concentrazioni di BTEX trovate all’esterno e all’interno di aule e abitazioni situate nel quartiere di Borzoli.

Nell’abitacolo di una autoambulanza in servizio nel quartiere di Sestri Ponente, si sono registrati  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  di benzene, confrontabili con le misure di ARPAL, effettuate nello stesso periodo, nei pressi di strade genovesi con elevati flussi di traffico.

## Parole chiave

BTEX e SOV | Esposizione *indoor* | Esposizione *outdoor* | Campionamento passivo

## 1. INTRODUZIONE

Tra i problemi ambientali che si trascinano da decenni a Genova, ci sono quelli legati alla movimentazione di petrolio greggio e suoi derivati, scaricati nel Porto Petroli a Genova Multedo, stoccati nel deposito costiero di oli minerali di Genova-Fegino, gestito da IPLOM spa, in dodici serbatoi a tetto galleggiante situati nel quartiere di Borzoli, in Val Polcevera (Figura 1). Lungo questa valle passa anche l'oleodotto a servizio dei depositi che riceve e trasferisce greggio, benzina, olio combustibile, virgin nafta.

Questa attività ha provocato incidenti gravi, come quello del 2016, con rottura dell'oleodotto e versamento di greggio nel rio Fegino e nel torrente Polcevera<sup>1</sup>, e frequenti emissioni di vapori di idrocarburi, sia per perdite di greggio dai depositi nei pressi di via Borzoli<sup>2</sup>, sia per occasionali emissioni di vapori dai serbatoi<sup>3</sup>.

I quartieri della bassa Val Polcevera (Sampierdarena, Borzoli, Bolzaneto, Ponte Decimo) sono anche interessati dal percorso di diverse autostrade (E80, A12, A7), il cui traffico, in particolare quello pesante, indotto dalla attività portuale, è un'importante fonte di inquinamento dell'aria che impatta sui quartieri densamente popolati sorti lungo la valle.

Pertanto, i depositi petrolchimici e il traffico della val Polcevera e dell'area metropolitana genovese, sono importanti fonti di inquinamento di idrocarburi che meritano di essere conosciuti e studiati.

E se l'inquinamento da benzene nelle aree urbane genovesi e la sua provincia è controllato da sette stazioni ARPAL, mancano informazioni sulla esposizione a sostanze organiche volatili (SOV) all'interno delle abitazioni dove possono essere presenti specifiche fonti emissive di idrocarburi aromatici, quali benzene, toluene, etilbenzene, xileni (BTEX), come i fornelli e caldaie a gas, stufe a legna, fumo di sigarette e di candele, ma anche pennarelli, colle...

Di conseguenza, si è deciso che, nell'ambito del Progetto "Sentinelle dell'Aria", già illustrato in un articolo di questo Quaderno (Valerio, 2023), una parte dei monitoraggi, con finalità esplorative, riguardasse anche l'esposizione a BTEX e SOV nelle aule e nelle abitazioni di giovani che studiano e vivono nella bassa Val Polcevera, in particolare nel quartiere di Borzoli.

E per avere informazioni preliminari sulla attuale esposizione di chi percorre le strade genovesi per molte ore, sono stati effettuati anche campionamenti di BTEX in quattro autoambulanze in servizio a Spotorno e a Genova, coinvolgendo giovani volontari e dipendenti della Pubblica Assistenza (ANPAS Liguria).



FIGURA 1. LOCALIZZAZIONE DELL'ISTITUTO COMPRENSIVO, FREQUENTATO DALLE "SENTINELLE DELL'ARIA" SULLA COLLINA DI BORZOLI E DEI SOTTOSTANTI DEPOSITI PETROCHIMICI.

## **1.1 BTEX e Sostanze Organiche Volatili (SOV)**

Benzene, Toluene, Etil-Benzene, orto-Xilene, meta-Xilene, para-Xilene sono composti organici volatili, con acronimo BTEX, che si trovano nel petrolio, nei prodotti petroliferi (benzina e gasolio) e nel catrame di carbone e di legna. Si formano anche per combustione incompleta di sostanze organiche (legna, foglie di tabacco...). A temperatura ambiente sono in forma liquida, in equilibrio con la loro fase vapore.

Sono altamente volatili e infiammabili e con svariati usi industriali e domestici quali solventi per vernici, colle, inchiostri...

Si definiscono Sostanze Organiche Volatili (SOV), i composti a base di carbonio con alta tensione di vapore<sup>4</sup>.

Appartengono a questa classe numerosi composti chimici quali idrocarburi alifatici, aromatici e clorurati, aldeidi, terpeni, alcoli, esteri e chetoni. Tra questi, i più diffusi negli edifici residenziali sono il limonene e il toluene.

Presenti in molti materiali (trucioli, moquette, vernici...) e prodotti domestici (deodoranti, colle, detergenti, cosmetici...), nonché nel fumo di sigaretta e nel fumo di legna, i SOV si trovano spesso in più alta concentrazione negli ambienti interni.

A lunghe esposizioni a SOV, quali quelle che spesso avvengono nelle abitazioni, si attribuiscono effetti sanitari, anche gravi.

### **1.1.1 Tossicità BTEX**

I BTEX sono considerati composti neurotossici, specialmente se inalati ad alta concentrazione, come può avvenire in ambienti di lavoro.

Una particolare attenzione merita l'esposizione a benzene, in quanto il suo effetto cancerogeno è stato dimostrato scientificamente e questo idrocarburo aromatico è stato classificato dalla IARC (Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro) in classe 1, come cancerogeno certo per l'uomo (Loomiz, 2017). È stata accertata la capacità del benzene di indurre leucemie acute e croniche.

Ai fini della protezione della salute umana, la normativa italiana (D.Lgs 155/2010) stabilisce, per il benzene, un valore limite, annuale di 5,0 µg/m<sup>3</sup>.

Per quanto riguarda il toluene<sup>5</sup>, il Dipartimento Salute del governo canadese, nelle sue linee guida per la qualità dell'aria in ambienti residenziali, suggerisce per esposizioni brevi (8-24 ore) una concentrazione limite di 15.000 µg/m<sup>3</sup>.

## **2. MATERIALI E METODI**

### **2.1 Campionamento e analisi**

Per il campionamento di BTEX e SOV sono stati utilizzati i campionatori passivi Radiello con corpo diffusivo giallo (RAD 1202) e cartucce a carbon attivo (RAD 145) per un successivo desorbimento termico dei composti organici adsorbiti.

Tranne un campionamento personale di 24 ore, tutti i campionamenti hanno avuto la durata di sette giorni.

Le modalità del confezionamento e della consegna dei campionatori passivi sono quelli illustrati nell'articolo di Valerio (2023), pubblicato in questo Quaderno.

Dopo il campionamento, le cartucce, in contenitori refrigerati, sono state portate al laboratorio genovese della U.O. Analisi Chimiche e Fisiche del Dipartimento Laboratorio Regionale Agenzia Regionale Protezione Ambiente Ligure (ARPAL).

Con tecniche di gascromatografia con colonne capillari e detector a spettrometria di massa si è proceduto alla separazione e all'analisi di benzene, toluene, etil benzene, dei tre isomeri dello xilene (orto, meta e para) e della somma delle Sostanze Organiche Volatili assorbite dalle cartucce, la cui concentrazione è stata calcolata come esano equivalente.

## 2.2 Campagne di monitoraggio e siti

Durante la seconda metà di novembre 2022, sono state organizzate due diverse campagne di monitoraggio di BTEX e SOV:

- a) *Dal 14 al 21 novembre 2022, è stata effettuata una stima della esposizione domestica nelle abitazioni di sei alunni “sentinelle” della scuola media dell'Istituto Comprensivo di Borzoli e della esposizione in due aule (3<sup>a</sup> C e 3<sup>a</sup> D) frequentate dalle “sentinelle”.*

La scuola è in via Fratelli di Coronata n. 7.

Gli insegnanti hanno individuato sei alunni “sentinella” le cui abitazioni fossero nelle vicinanze del deposito petrolchimico, in particolare in via al Lago, via Fegino e in via Borzoli.

Le loro abitazioni si trovano ai seguenti piani: una a piano terra, tre al secondo piano, due al terzo piano.

Tutte le abitazioni sono poste ad alcune centinaia di metri di distanza dal centro del deposito petrolchimico.

Tutti i campionamenti domestici sono stati effettuati nelle camere da letto delle “sentinelle”.

Questa scelta è stata motivata dal fatto che nella camera da letto, spesso adibita a luogo di studio e svago, le “sentinelle” trascorrono il maggiore numero di ore di una loro giornata tipo e il contributo di BTEX da fonti domestiche (fornelli di cucina, caldaia a gas...) non dovrebbe essere rilevante.

Contemporaneamente alle misure effettuate all'interno della scuola e nelle abitazioni, sono stati effettuati due campionamenti esterni: sulla cancellata di confine del IC Borzoli e sul cancello di una auto-officina, lungo via Borzoli.

- b) *Dal 22 novembre al 01 dicembre del 2022, stima della concentrazione di BTEX e SOV all'interno di quattro autoambulanze della Associazione Nazionale Pubblica Assistenza (ANPAS) Liguria.*

Per questo studio i campionatori passivi sono stati fissati sullo specchietto retrovisivo (Figura 3) di ognuna delle autoambulanze che hanno partecipato al progetto. Durante il periodo del campionamento, le autoambulanze hanno operato all'interno dei territori di loro competenza, provvedendo al trasporto dei pazienti e a pronto intervento. Alla loro guida, in base a turni di otto ore, si sono succeduti diversi operatori ANPAS.

Tutte le ambulanze erano climatizzate e durante le loro soste sono state parcheggiate all'esterno.

Per un solo operatore ANPAS, durante il suo servizio esterno e a casa, è stato adottato un campionamento personale di 24 ore, posizionando il campionatore sul bavero della sua giacca.

Verificata la possibilità che il campionatore potesse interferire con le operazioni di pronto soccorso, questo metodo di campionamento è stato adottato solo per questa "sentinella".

### 3. RISULTATI E DISCUSSIONE

#### 3.1 Esposizione a BTEX e SOV delle "sentinelle" di Borzoli.

La Tabella 1 mostra le concentrazioni di BTEX e di SOV misurate nelle camere da letto delle set "sentinelle" e nelle loro due classi.

Sono mostrate anche le concentrazioni misurate, contemporaneamente, all'esterno dell'I. C. di Borzoli e lungo via Borzoli (Figura 2).

All'esterno dell'Istituto e nelle due aule frequentate dalle "sentinelle" le concentrazioni medie di benzene sono tra le più basse di questa campagna di misure, rispettivamente 0,7- 0,6 - 0,7 µg/m<sup>3</sup>.

La concentrazione di benzene in via Borzoli è significativamente più alta (2,4 µg/m<sup>3</sup>), molto probabilmente in funzione del traffico veicolare che percorre questa strada che, in corrispondenza del punto di campionamento, ha le caratteristiche di una strada a canyon, fiancheggiata, lungo un lato, dal muro di contenimento dei depositi petrolchimici e, dall'altro lato, da un lungo muro di cinta.

La concentrazione massima di toluene (26,9 µg/m<sup>3</sup>) è stata trovata nella camera da letto della "sentinella 5"; a seguire i 13,6 µg/m<sup>3</sup> di toluene nella 3<sup>A</sup> D: in entrambi i casi, valori nettamente più bassi del limite dell'esposizione giornaliera a toluene raccomandato dal governo canadese (15.000 µg/m<sup>3</sup>).

Anche la concentrazione di SOV è risultata più bassa all'esterno dell'IC Borzoli (37,2 µg/m<sup>3</sup>), rispetto a quella riscontrata lungo via Borzoli (107,5 µg/m<sup>3</sup>) che, comunque risulta tra i più bassi valori di SOV registrati in questa campagna di misura.



FIGURA 2. LOCALIZZAZIONE DEI CAMPIONATORI PASSIVI, INSERITI NEL BOX DI PROTEZIONE DALLA PIOGGIA (CERCHIO ROSSO): SULLA CANCELLATA DELL'ISTITUTO COMPRENSIVO BORZOLI, LATO RIVOLTO VERSO IL DEPOSITO PETROLCHIMICO, E SUL CANCELLIO DI UNA AUTOFACCINA, LUNGO VIA BORZOLI.



FIGURA 3. IL CAMPIONATORE PASSIVO (CERCHIO ROSSO) ALL'INTERNO DELL'ABITACOLO DI UNA DELLE AMBULANZE CHE HANNO PARTECIPATO AL CAMPIONAMENTO DI BTEX

Questi risultati possono essere spiegati dalla posizione dell'IC Borzoli, posto in alto, rispetto al fondo valle, dove si trovano i depositi petrolchimici e le strade più trafficate, dalla lontananza da strade locali, dal totale rispetto del divieto di fumo in tutti i locali della scuola e dall'assenza di specifici fonti interne di BTEX, quali fornelli a gas, uso di incensi e candele...

Nel loro complesso, questi risultati fanno ritenere che, nel periodo monitorato, non ci siano state emissioni significative dai depositi petrolchimici, evento che troverebbe conferma dall'assenza di segnalazioni di odori da parte dei residenti.

Nell'aula della 3<sup>a</sup> D si sono trovate le più alte concentrazioni di xileni (o-m-p), 15,8 µg/m<sup>3</sup>, nettamente superiori alle contemporanee misure di xileni all'esterno della scuola, 0,7 µg/m<sup>3</sup>. Questo risultato può essere spiegato dall'uso, nell'aula, di pennarelli, i cui inchiostri possono contenere xileni come solvente.

Nelle camere da letto delle "sentinelle", le concentrazioni medie di benzene (1,9 ± 1,3 µg/m<sup>3</sup>) sono più alte di quelle a cui le "sentinelle" sono esposte nelle loro aule, durante l'attività scolastica (0,65±0,05 µg/m<sup>3</sup>).

Si conferma, per i BTEX, la stessa situazione riscontrata nel corso del Progetto Sentinelle dell'Aria 2022, per il biossido di azoto: un livello di inquinamento maggiore in casa degli studenti, rispetto alle loro aule scolastiche.

Da segnalare l'esposizione molto elevata a benzene (5,3 µg/m<sup>3</sup>) della "sentinella 5", nella cui camera da letto si sono trovate anche le concentrazioni più elevate di toluene (26,9 µg/m<sup>3</sup>) e di etil-benzene (4,5 µg/m<sup>3</sup>).

L'esposizione media settimanale della "sentinella 5" è di poco superiore al valore limite attualmente in vigore per questo composto cancerogeno: 5 µg/m<sup>3</sup>, come media annuale<sup>6</sup>.

Dal questionario compilato dalla "sentinella 5" si evince che abita al secondo piano di via Borzoli dove, poco distante, a circa due metri di altezza (Figura 2), la concentrazione di benzene (Tabella 1) è risultata più bassa: 2,4 µg/m<sup>3</sup>.

Pertanto, si ritiene che l'alta esposizione a benzene nella camera da letto della "sentinella 5", più che al traffico sotto casa, possa essere attribuita alla presenza di fumatori in casa e anche all'uso di candele, come è stato segnalato nel suo questionario.

Anche nella casa della "sentinella 1" si è registrata una concentrazione di benzene (2,5 µg/m<sup>3</sup>) maggiore di quella riscontrate nelle altre abitazioni e, anche in questo caso, il suo questionario segnala la presenza di fumatori.

Un'altra "sentinella" con fumatori in casa è la numero 6; in questo caso, la concentrazione di benzene è bassa (0,9 µg/m<sup>3</sup>), simile a quella delle sentinelle senza fumatori. È possibile che ciò dipenda dal fatto che, in questo caso, i genitori fumatori fumino all'esterno, sul balcone di casa. È una eventualità che, un prossimo questionario dovrà segnalare con una specifica domanda.

La presenza di fumatori nelle abitazioni è una sicura causa di pesante esposizione a benzene, a causa del fumo passivo. Lo studio condotto da Scherer (1995) in Germania ha dimostrato che in ambiti suburbani, come quelli di Borzoli, la concentrazione media settimanale di benzene, in case con fumatori, è di 5,6 µg/m<sup>3</sup>, mentre in case senza fumatori la concentrazione media settimanale è di 3,2 µg/m<sup>3</sup>.

Nel nostro studio pilota, nelle tre abitazioni con fumatori, la concentrazione media di benzene è stata di 2,9 µg/m<sup>3</sup>, a fronte di 0,9 µg/m<sup>3</sup>, trovati nelle tre abitazioni senza fumatori, una differenza significativa.

Anche il fumo di candele, in particolare quelle profumate, è un'importante fonte di emissione di BTEX (Derudi, 2012), e potrebbe aver contribuito alla alta concentrazione di BTEX trovata nella camera da letto della “sentinella 5”.

<b>Sito campionamento</b>	<b>Benzene</b>	<b>Toluene</b>	<b>etil-Benzene</b>	<b>m-p Xilene</b>	<b>o-Xilene</b>	<b>SOV</b>
Sentinella 1	2,5	8,1	1,2	3,1	1,3	248,0
Sentinella 2	0,7	3,7	0,7	2,0	0,7	<b>2.781,5</b>
Sentinella 3	1,0	3,7	0,9	1,7	0,6	702,0
Sentinella 4	1,0	3,5	3,0	8,9	2,1	1.400,8
Sentinella 5	<b>5,3</b>	<b>26,9</b>	<b>4,5</b>	10,4	2,5	1.206,1
Sentinella 6	0,9	2,7	0,4	1,2	0,4	341,1
Aula 3 <sup>a</sup> C	0,7	8,9	1,7	4,1	2,2	241,2
Aula 3 <sup>a</sup> D	0,6	13,6	3,4	<b>12,0</b>	<b>3,8</b>	572,9
Ext. I.C. Borzoli	0,5	1,1	0,2	0,5	0,2	37,2
Via Borzoli	2,4	7,6	1,4	4,6	1,7	107,5

TABELLA 1: CONCENTRAZIONI MEDIE, SU BASE SETTIMANALE, (µg/m<sup>3</sup>) DI IDROCARBURI AROMATICI (BTEX) E SOSTANZE ORGANICHE VOLATILI (SOV), NELLE ABITAZIONI DELLE “SENTINELLE” DELL’I.C. BORZOLI, NELLE LORO 2 AULE, ALL’ESTERNO DELL’ISTITUTO E LUNGO VIA BORZOLI (14/11-21/11/ 2022)

### 3.2 Esposizione a BTEX e SOV nelle ambulanze ANPAS

La Tabella 2 riporta le concentrazioni medie di BTEX e SOV trovate all’interno di quattro ambulanze operative, da 22 al 30 novembre 2022, nella città di Spotorno, in provincia di Savona, e in tre quartieri di Genova: due a ponente (Sestri Ponente, Ponte Decimo) e uno a levante (San Desiderio).

<b>Campionamento</b>	<b>Benzene</b>	<b>Toluene</b>	<b>etil-Benzene</b>	<b>m-p-Xilene</b>	<b>O-Xilene</b>	<b>SOV</b>
microgrammi per metro cubo aria (µg/m <sup>3</sup> )						
<i>Quartieri serviti dalle ambulanze</i>						
Spotorno	0,7	7,5	1,2	6,2	nd	330
Sestri Ponente	<b>2,0</b>	<b>11,1</b>	<b>4,0</b>	<b>11,7</b>	3,4	373
Ponte Decimo	1,4	7,8	0,9	2,7	1,0	227
San Desiderio	1,3	3,7	0,7	2,5	9,9	151
Personale 24 h	1,8	4,1	0,7	4,0	nd	<b>587</b>

TABELLA 2. CONCENTRAZIONE MEDIA DI BTEX E SOV NELLE AMBULANZE IN SERVIZIO DAL 22/11 AL 30/11/2022 A SPOTORNO (SV), IN DUE QUARTIERI DEL PONENTE DI GENOVA (SESTRI PONENTE, PONTE DECIMO) E NEL QUARTIERE DI SAN DESIDERIO, A PONENTE DELLA CITTÀ.  
ESPOSIZIONE PERSONALE GIORNALIERA DI UN OPERATORE ANPAS, IN SERVIZIO A SPOTORNO.

Nella Tabella 2 sono riportate in grassetto le concentrazioni di BTEX e VOC più alte di questa specifica campagna che, tranne l'o-xilene, hanno caratterizzato l'abitacolo dell'autoambulanza che, per sette giorni, ha operato nel quartiere genovese di Sestri Ponente, per un totale di 40 ore trascorse nelle strade più trafficate del quartiere.

L'esposizione personale riportata in Tabella 2 fa riferimento ad un operatore ANPAS che per otto ore è stato in servizio su una autoambulanza che ha operato nella cittadina di Spotorno e che ha trascorso le restanti 16 ore a casa e in giro per la città. Il fatto che durante tutto questo tempo abbia inalato aria con una concentrazione media di  $1,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  di benzene e  $587 \mu\text{g}/\text{m}^3$  di SOV, la più alta concentrazione durante questa specifica campagna di monitoraggio, è un dato che merita attenzione.

### 3.3 Confronto con le concentrazioni di benzene misurate dalle stazioni ARPAL

Nella Tabella 3 sono riportate le concentrazioni medie giornaliere di benzene, misurate presso le stazioni ARPAL, attive nella Città Metropolitana di Genova, dal 21 al 27 novembre 2022, periodo corrispondente a quello durante il quale è stata misurata la concentrazione di benzene nelle auto ambulanze ANPAS (Tabella 2) e immediatamente seguente a quello delle "sentinelle", dal 14 al 21 novembre 2022.

Nella Tabella 3 è riportata anche la media mobile annuale (media di 365 giorni di misure consecutive) del benzene, calcolata in corrispondenza delle otto stazioni ARPAL che, nel territorio della Città Metropolitana di Genova, misurano il benzene. Tra queste ci sono stazioni urbane che misurano l'inquinamento prodotto dal traffico, sia a Busalla che a Genova, quello industriale del Porto Petroli a Multedo e quello che si trova Genova, lontano da flussi di traffico e attività industriali, come a Quarto.

Da questi dati si evince che, su tutto il territorio della Città Metropolitana di Genova, tra il novembre 2021 al novembre 2022, è stato rispettato il limite annuale del benzene di  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e che il sito più problematico è quello di corso Europa, con una media mobile annuale di  $2,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . In questo stesso sito, nei sette giorni di monitoraggio da parte delle "sentinelle" ANPAS, si è anche registrata la maggiore concentrazione media di benzene ( $4,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), con un valore massimo giornaliero di  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Da questo confronto emerge ancor di più l'anomala concentrazione di benzene ( $5,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) trovata nella camera da letto della "sentinella 5".

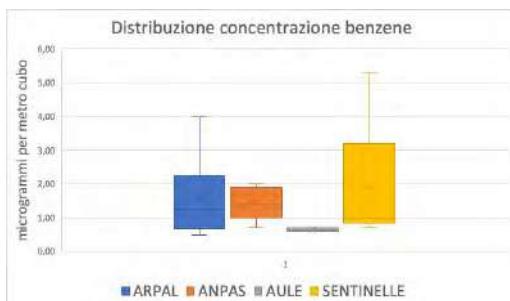


FIGURA 4.  
DISTRIBUZIONE DELLE  
CONCENTRAZIONI MEDIE  
SETTIMANALI DI BENZENE  
( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) MISURATE, DURANTE IL  
MESE DI NOVEMBRE 2022 PRESSO  
LE STAZIONI DI MONITORAGGIO  
ARPAL, NELLE AUTOAMBULANZE  
IN SERVIZIO A SPOTORNO, IN TRE  
QUARTIERI DI GENOVA, IN DUE  
AULE DELL'I.C. BORZOLI E NELLE  
ABITAZIONI DI SEI STUDENTI DI  
BORZOLI.

<b>Stazione ARPAL</b>	<b>Classificazione</b>	<b>Benzene</b>	<b>Benzene</b>
		concentrazione media	media mobile annuale
		dal 21/11 al 27/11/22	[21/11/21 - 21/11/22]
			µg/m <sup>3</sup>
Busalla Suardi	Urbana-Traffico	1,3	0,5
Busalla Sarissola	Suburbana-Industriale	1,3	0,8
Campomorone		0,5	0,6
Multedo villa Chiesa	Urbana-Industriale	0,6	0,5
Via Buozzi	Urbana-Traffico	0,5	1,3
c.so Buenos Aires	Urbana-Traffico	2,3	1,5
c.so Europa	Urbana-Traffico	<b>4,0</b>	<b>2,3</b>
Quarto	Urbana -Fondo	0,9	0,7

TABELLA 3. BENZENE PRESSO LE STAZIONI ARPAL DELLA CITTÀ METROPOLITANA DI GENOVA.  
CONCENTRAZIONE MEDIA GIORNALIERA DAL 21/11 AL 27/11/2022, MEDIA MOBILE ANNUALE DAL 21/11/2021 AL 21/11/2022.

#### 4. CONCLUSIONI

La Figura 3 sintetizza i risultati di questo studio, mostrando la distribuzione delle misure di benzene effettuate, nel corso di novembre 2022: in otto stazioni di monitoraggio ARPAL attive a Genova, all'interno di quattro autoambulanze in servizio a Spotorno e in tre quartieri Genova, in due aule della scuola media dell'IC di Borzoli e in sei camere da letto di studenti residenti a Borzoli.

La Figura 3 mostra come, nel periodo esaminato, le concentrazioni medie di benzene nell'aria di Genova e negli abitacoli delle autoambulanze siano molto simili e tendenzialmente inferiori al limite stabilito, attualmente in vigore ( $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , come media annuale)

Statisticamente è molto più bassa la concentrazione di benzene presente nelle aule dell'I.C. di Borzoli, dove non sono presenti fonti di benzene, sia all'interno della scuola che al suo esterno, come hanno dimostrato le misure sulla qualità dell'aria, effettuate nell'ambito del Progetto "Sentinelle dell'Aria".

Questo studio esplorativo, effettuato con un numero limitato di campionamenti, sulla concentrazione di composti aromatici nelle aule scolastiche dell'I.C. Borzoli, al suo esterno, nelle abitazioni di sei studenti residenti intorno ai serbatoi di un deposito di prodotti petrochimici e lungo via Borzoli, ha confermato, che la qualità dell'aria nelle abitazioni degli studenti è, in alcuni casi, peggiore di quella che si trova nelle loro aule scolastiche e lungo molte vie genovesi.

I primi riscontri, avuti dai Questionari compilati dagli studenti, segnalano come in casa ci possano essere importanti fonti di BTEX evitabili, quali il fumo di sigarette (presumibilmente da parte dei genitori) e di candele.

Si tratta di fonti che, una volta identificate possono essere annullate, rinunciando del tutto al fumo, e drasticamente ridotte, con adeguata ventilazione meccanica (cappe aspiranti) e naturale dei locali, come nel caso delle emissioni di fornelli a gas e di vecchie caldaie a gas, qualora tenute in casa.

## **Ringraziamenti**

L'autore desidera ringraziare tutti coloro che hanno collaborato alla realizzazione di questo studio: i dirigenti, gli insegnanti e gli alunni dell'IC Borzoli, Antonella Marras, Michelle Badino del CEIS, il dr. Italo Porcile e gli operatori ANPAS Liguria, il dr. Riccardo Narizzano e la dr.ssa Luisa Rivara della sezione gaschromatografia del laboratorio ARPAL, il dr. Paolo Petit-Bon direttore tecnico Ireos, il dr. Goffredo Ferelli per i suoi utili consigli, Samuele Vallarino, titolare dell'officina VRT Garage, per aver ospitato un nostro campionatore.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Derudi, M., Gelosa, S., Sliepcovich, A., Cattaneo, A., Rota, R., Cavallo, D., & Nano, G. (2012). *Emissions of air pollutants from scented candles burning in a test chamber*. Atmospheric Environment, 55, 257-262.
- Loomis, D., Guyton, K. Z., Grosse, Y., El Ghissassi, F., Bouvard, V., Benbrahim-Tallaa, L., ... & Straif, K. (2017). *Carcinogenicity of benzene*. The Lancet Oncology, 18(12), 1574-1575.
- Scherer, G., Ruppert, T., Daube, H., Kossien, I., Riedel, K., Tricker, A.R., & Adlkofer, F. (1995). *Contribution of tobacco smoke to environmental benzene exposure in Germany*. Environment international, 21(6), 779-789.
- Valerio, F., Sabbioni, D., (2023). Progetto "Sentinelle dell'aria 2022": esposizione settimanale a NO<sub>2</sub> a scuola e nelle abitazioni di giovani genovesi. Quaderno Ecoistituto n° 5, Dicembre 2023. "Esperienze di Citizen Science" Conoscenze e strumenti per "sentinelle dell'aria" (pp 63-73).

## **SITOGRAFIA**

1. [https://www.ansa.it/liguria/notizie/2016/04/18/sversamento-greggio-in-torrenti-genova\\_392de867-7bd3-465c-8a7e-9ebd583a17ae.html](https://www.ansa.it/liguria/notizie/2016/04/18/sversamento-greggio-in-torrenti-genova_392de867-7bd3-465c-8a7e-9ebd583a17ae.html)
2. <https://www.genovatoday.it/cronaca/sversamento-perdita-ipлом-sestri.html>
3. <https://www.primocanale.it/archivio-news/87777-esalazioni-depositi-borzoli-ipлом-si-scusa.html>
4. [https://www.salute.gov.it/imgs/C\\_17\\_opuscoliPoster\\_283\\_ulterioriallegati\\_ulterioreallegato\\_3\\_alleg.pdf](https://www.salute.gov.it/imgs/C_17_opuscoliPoster_283_ulterioriallegati_ulterioreallegato_3_alleg.pdf)
5. <https://healthycanadians.gc.ca/publications/healthy-living-vie-saine/toluene/alt/toluene-eng.pdf>
6. <https://www.certifico.com/ambiente/documenti-ambiente/257-documenti-riservati-ambiente/8020-livelli-di-concentrazione-di-benzene-c6h6-in-aria-normativa-e-valori>

# Accuratezza e precisione delle misure di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> effettuate in ambito urbano, con mini-centraline dotate di sensore SDS011.

**Federico Valerio**

**Fabio Ghersi**

Ecoistituto di Reggio Emilia e Genova

## Riassunto

*La precisione delle centraline “low cost” (LC), per la misura in continuo di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>, tramite il sensore SDS011 a dispersione laser, è stata valutata con il confronto di 75 misure giornaliere effettuate contemporaneamente da due diverse centraline LC, poste a poca distanza da una strada genovese ad alto traffico. L'elevato coefficiente di correlazione ( $R^2 = 0,99$ ) ha confermato la buona precisione dei sensori.*

*I confronti tra le misure giornaliere delle due centraline LC, ognuna collocata su una diversa stazione della rete di monitoraggio ARPAL, posizionate, rispettivamente, in due siti genovesi classificati come “traffico urbano” e “fondo urbano”, hanno permesso di stimarne l'accuratezza in condizioni ambientali reali. Si è evidenziato una importante e sistematica sottostima delle misure delle due centraline LC, in particolare nel periodo estivo, che gli autori hanno attribuito ad una maggiore presenza estiva di particelle di “black carbon” emesse dalle navi in porto. In base alle equazioni lineari trovate confrontando le misure giornaliere delle centraline LC e delle stazioni ARPAL, nei giorni con umidità relativa  $\leq 70\%$ , tramite software, si sono introdotti, nei valori in uscita dai rispettivi sensori SDS011, fattori correttivi che hanno migliorato l'accuratezza delle misure di polveri delle centraline LC, con un errore relativo massimo  $\pm 25\%$ .*

## Parole chiave

PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> | Centraline Low Cost | Diffusione laser | Accuratezza e precisione | Calibrazione

## 1. INTRODUZIONE

### 1.1 Definizione di precisione e accuratezza

In tutte le misure strumentali bisogna conoscere e distinguere due specifiche caratteristiche: la precisione e l'accuratezza del metodo di misura adottato.

A riguardo, riportiamo la definizione di precisione e accuratezza, secondo “Esperimentanda”<sup>1</sup>:



*“L’accuratezza indica quanto una misura sia vicina al valore accettato. Ad esempio, ci aspettiamo che una bilancia legga 100 grammi se poniamo un peso standard di 100 grammi su di essa. In caso contrario, la bilancia non è accurata. La precisione, invece, indica quanto vicini o quanto ripetibili siano i risultati. Uno strumento di misura preciso darà quasi lo stesso risultato ogni volta che viene utilizzato”.*

FIGURA 1. ESEMPI DI “TIRI A SEGNO” DI DIVERSA ACCURATEZZA E PRECISIONE

La Figura 1 esemplifica graficamente questi concetti, con i risultati di quattro “tiri a segno” con diversi gradi di precisione e accuratezza.

La necessità di definire accuratezza e precisione vale anche per le centraline LC e il sensore SDS011, su cui si basano le stime delle concentrazioni di  $PM_{10}$  e  $PM_{2,5}$  effettuate con questo sistema di monitoraggio, progettato e realizzato dalla Associazione Mamme No Inceneritore ONLUS di Firenze, nell’ambito di un progetto di Citizen Science, denominato “Cheariatira”.<sup>2</sup>

## 1.2 Centraline Low Cost e Sensore SDS011

Le concentrazioni di polveri sottili sono state misurate dalle centraline LC utilizzando il sensore SDS011 di Nova Fitness Co. È un sensore di tipo ottico: le polveri presenti nell’aria, senza nessuna selezione di tipo granulometrico, sono aspirate, grazie ad una ventolina, e inviate nella cella del sensore dove, durante il loro passaggio, sono illuminate da un raggio laser; un detector registra l’intensità della luce riflessa dalle particelle di polvere e un apposito algoritmo, in base all’intensità della luce diffusa, stima la concentrazione delle polveri, espressa in microgrammi (miliionesimo di grammo) per metro cubo d’aria ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Lo stesso algoritmo stima, in base a specifiche caratteristiche dello spettro della luce diffusa, le concentrazioni delle particelle con diametro inferiore a 10 micrometri ( $PM_{10}$ ) e quelle con diametro inferiore a 2,5 micrometri ( $PM_{2,5}$ ).

L’algoritmo è stato sviluppato dall’azienda Nova Fitness che ha progettato il sensore.

I dettagli della procedura adottata per sviluppare l’algoritmo del sensore DSM501A, simile al sensore SDS011, sono descritti da Roy (2017).

In sintesi, ipotizzando che le particelle siano sferiche, abbiano un determinato raggio e una determinata densità, l’intensità del segnale laser, rifratto dalle particelle di passaggio attraverso il raggio laser, permette di calcolare il loro numero in un determinato volume d’aria e di qui la stima della loro massa e la conseguente concentrazione nell’aria.

Le misure effettuate con il sensore SDS011 hanno caratteristiche interessanti: bassa concentrazione minima determinabile, misura delle concentrazioni per intervalli di tempo programmabili, con valori medi calcolati ogni cinque minuti, una rapida risposta a variazioni di concentrazione.

Le specifiche<sup>3</sup> del sensore SDS011 riportano, per le misure di concentrazione delle polveri, un errore relativo massimo pari al 15 % e a  $\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , per campionamenti realizzati con umidità relativa al 50% e temperatura di 25 °C.

Il riferimento a specifici valori di umidità e temperatura fa ritenere che l'accuratezza delle misure del sensore possano dipendere da queste variabili.

In effetti, le condizioni ambientali per il buon funzionamento del sensore, riportate nelle sue specifiche sono: temperatura tra -10 e 50 °C e umidità relativa massima pari al 70%.

Il basso costo e la flessibilità nell'uso, che permette di fare misure in luoghi inaccessibili alle stazioni di monitoraggio convenzionali, e la possibilità di realizzare reti di monitoraggio a maglie anche molto strette, posizionando contemporaneamente sul territorio da controllare molte centraline LC, sono caratteristiche che hanno attirato anche l'attenzione di centri di ricerca interessati a studiare la qualità dell'aria (Budde, 2018; Zagolin, 2020; Cavalieri 2018).

Anche da questi studi è emerso che il maggior limite del sensore SDS011 è l'accuratezza delle sue misure, le quali soffrono di alcuni problemi intrinseci.

Ad esempio, in presenza di una elevata umidità ambientale e di nebbie, il sensore sovrastima il valore "vero" (Liu, 2019), mentre sottostima la concentrazione di polveri con elevata presenza di fuliggine (*black carbon, soot*), a causa della bassa riflettanza di questi residui carboniosi incombusi (Budde, 2018).

Di qui, il suggerimento di effettuare un'inter-calibrazione delle misure delle centraline LC, con strumentazione di riferimento di tipo professionale, mettendo a confronto le rispettive misure.<sup>4</sup>

È quanto ha realizzato, a Genova, l'Ecoistituto di Reggio Emilia e Genova, grazie alla collaborazione con l'Agenzia Regionale Protezione Ambiente della Liguria (ARPAL) che ha autorizzato la collocazione di due centraline *Low Cost* (LC), precedentemente "allineate" a Firenze, su due delle loro stazioni di monitoraggio attive a Genova.

Il presente articolo riporta i risultati di queste inter-calibrazioni.

## 2. MATERIALI E METODI

### 2.1 Centraline LC

Per i controlli della loro accuratezza e precisione, sono state utilizzate due centraline LC, precedentemente montate e allineate a Firenze, con codice identificativo LC305 e LC403.

Per ridurre il riscaldamento prodotto all'esposizione diretta a radiazioni solari, su entrambi i contenitori in policarbonato (RS PRO), in cui è stato montato il sensore SDS011 e il processore, è stata posizionato un frangisole alettato di alluminio.

Il collegamento con la rete Internet, per l'acquisizione delle misure è stato realizzato con una "saponetta- router" posizionata all'interno delle stazioni ARPAL che ospitavano le centraline LC.

Le due centraline LC, in base alla loro programmazione, effettuano campionamenti in continuo per 5 minuti, così ripartiti: 2 minuti di acquisizione misure (una misura al secondo) e 3 minuti di pausa. Al termine di questo intervallo, le centraline trasmettono il valore della concentrazione media di polveri, stimato, in base al loro algoritmo, nei primi due minuti di campionamento dell'aria.

Questa modalità di campionamento è stata adottata per aumentare il periodo

di uso del sensore che ha una garanzia di complessive 8.000 ore di funzionamento.

La centralina LC403, è stata installata subito dopo il suo allineamento (di seguito definito come “fiorentino”), procedimento di seguito descritto in dettaglio.

La centralina LC305, al momento della calibrazione, aveva già 110 giorni di funzionamento, avendo in precedenza operato nei pressi del ponte Morandi, dove ha monitorato le polveri prodotte dalla demolizione del ponte (Valerio, 2019).

## 2.2 Stazioni di monitoraggio ARPAL

Per la calibrazione delle centraline LC, necessaria per migliorare la loro accuratezza, misure giornaliere di centraline LC sono state messe a confronto con quelle di due stazioni di monitoraggio ARPAL in funzione a Genova:

1. Stazione mobile (ARPAL 1), posizionata nei pressi di lungomare Canepa, sito classificato come “traffico urbano”.
2. Stazione fissa (ARPAL 2), posizionata sul Belvedere Don Ga, nei pressi di corso Firenze, a 105 metri s.l.m, sito classificato come “fondo urbano”.

Le misure orarie di  $PM_{10}$  e  $PM_{2,5}$  delle stazioni ARPAL si avvalgono della seguente strumentazione:

- ARPAL 1, contatore con tecnologia ottica multicanale (Fidas) certificata UNI EN 16450, riconosciuta equivalente ai sensi del decreto legislativo 155/2010
- ARPAL 2, tecnologia di conteggio per assorbimento raggi beta (Svam), certificata UNI EN 16450 e riconosciuta equivalente ai sensi del decreto legislativo 155/2010

Il “contatore con tecnologia ottica multicanale”, in funzione sulla stazione ARPAL 1 “conta” in continuo, le particelle, in base alle loro dimensioni e con un apposito algoritmo stima la loro concentrazione nell’aria.

Con la tecnica “assorbimento raggi beta”, adottata dalla stazione ARPAL 2, le polveri atmosferiche, opportunamente separate in base alla loro granulometria, sono campionate in continuo per 60 minuti su un apposito filtro. Successivamente, lo strato di polveri raccolte è attraversato da un flusso di intensità nota di raggi beta, emesse da una sorgente a base di carbonio 14. L’attenuazione della radiazione, prodotta dallo strato di polveri raccolte e misurata da un contatore Geiger, permette di stimare la massa di particelle presenti nel volume d’aria filtrato.

La stazione ARPAL 1 è posizionata in un piazzale a 20 metri di distanza dalla mezzeria di lungomare Canepa, una strada di grande percorrenza (traffico urbano e pesante) a quattro corsie e a circa 300 metri di distanza dalle banchine del porto di Genova e dalla strada portuale usata dai TIR in entrata e uscita dal porto.

La stazione ARPAL 1 ha effettuato un campionamento “lungo”, in parallelo con la LC305, dal 7/09/2019 al 13/7/2020.

Da 16/7/2020 al 30/09/2020, sulla stazione ARPAL 1 si è aggiunta la centralina LC403.

Le due centraline LC305 e LC403, durante la campagna di monitoraggio finalizzata a valutare la precisione delle loro misure giornaliere sono state poste una sull’al-

tra, vicino alla testata di campionamento dell'aria, sul tetto della stazione ARPAL 1 (Figura 2).

In questo modo, sono state stimate, contemporaneamente, la loro precisione e la loro accuratezza.

Con la stazione ARPAL 2 di Belvedere Don Ga (Figura 3) è stata effettuata una seconda calibrazione della LC403, dal 14/01/2021 al 24/03/2021. In questo caso, sono state messe a confronto solo le misure giornaliere con umidità relativa  $\leq 70\%$ , al fine di evitare l'inserimento, nella curva di calibrazione, di misure affette da interferenze dovute alla possibile formazione di nuclei di condensazione di vapore acqueo. Inoltre, il sistema di monitoraggio certificato delle polveri sottili di ARPAL 2 era diverso da quello di ARPAL 1.

La Figura 2 mostra le centraline LC305 e LC404, una sull'altra, fissate su un palo, sopra la stazione mobile ARPAL 1; la Figura 3 mostra la LC404 sul tetto di ARPAL 2.

## 2.2 Allineamento delle centraline LC

Le mini-centraline progettate e assemblate dalla Associazione fiorentina “Mamme No-inceneritore Onlus”, per il progetto “CheariaTira”, sono strumenti sufficientemente precisi, anche grazie alla complessa procedura di “allineamento” a cui tutte sono sottoposte 5 , dopo il loro assemblamento fiorentino.

L'allineamento è eseguito in una stanza di calibrazione appositamente predisposta, in cui possono essere create condizioni con diversa polverosità, con al suo interno due centraline professionali QBIT LCT-14 6, di classe superiore, calibrate dal produttore e ciascuna ottimizzata per misurare polveri di diversa granulometria ( $PM_{10}$  e  $PM_{2,5}$ ) e le centraline LC da allineare.



FIGURA 2. LA CENTRALINE LC403,  
SOPRA LA LC305, ENTRAMBE SUL  
TETTO DELLA STAZIONE MOBILE  
ARPAL 1, POSIZIONATA IN LUNGOMARE  
CANEPA (GE). IL CONFRONTO DELLE  
MISURE GIORNALIERE DI PM10 E PM2,5,  
EFFETTUATE DALLE DUE CENTRALINE  
LC, È AVVENUTO DAL 16/7/2020 AL  
30/9/2020.

FIGURA 3. LA CENTRALINA LC  
403 (CERCHIATA IN ROSSO) SUL  
TETTO DELLA STAZIONE ARPAL 2,  
POSIZIONATA IN BELVEDERE DON GA  
(GE). IL CONFRONTO DELLE MISURE  
GIORNALIERE DI PM10 E PM2,5,  
EFFETTUATE DALLA CENTRALINA LC  
E LA STAZIONE ARPAL 2, È AVVENUTO  
DAL 14/01/2020 AL 10/4/2020.

Il processo di allineamento è eseguito su campioni orari prelevati per circa 7-10 giorni e poi, dopo l'applicazione dei coefficienti di correzione, l'allineamento tra centralina LC e QBIT è verificato per ulteriori 7 giorni.

Eventuali differenze delle misure orarie delle centraline LC e quelle di riferimento, sono corrette, applicando ai valori in uscita da ciascuna centralina LC, una opportuna equazione lineare che “allinea” le sue misure in uscita con quelle delle centraline QBIT di riferimento.

Le centraline LC dispongono di un software (interfaccia *Web Based*) che agevola le operazioni di calcolo e l'applicazione dei coefficienti di correzione.

A seguito dell'allineamento “fiorentino”, il valore delle concentrazioni di polveri in uscita dalla LC403 non è stato modificato, rispetto ai valori derivante dalla taratura di “fabbrica”, mentre nella LC305 le misure effettuate utilizzando l'algoritmo di “fabbrica” (Xf10, Xf2,5), dopo allineamento, sono stati modificati, applicando le seguenti equazioni lineari:

$$\begin{aligned} \text{PM}_{10} &= 0,91 \text{ Xf}_{10} + 0,21 \\ \text{PM}_{2,5} &= 1,03 \text{ Xf}_{2,5} - 0,70 \end{aligned}$$

## 2.2 Precisione sul “campo” delle centraline LC

La precisione delle due centraline LC (LC305 e LC403), precedentemente “allineate” a Firenze, è stata testata sul campo a Genova, nei pressi di lungomare Canepa, posizionandole insieme sul tetto della stazione ARPAL 1 e confrontando le loro misure giornaliere, dal 16/07 al 30/09/2020, per un totale di 75 giorni.

## 2.4 Accuratezza sul “campo” delle centraline LC

L'accuratezza delle centraline LC (LC305 e LC403), è stata stimata mettendo a confronto le loro misure giornaliere di  $\text{PM}_{10}$  e  $\text{PM}_{2,5}$  con quelle di due diversi metodi analitici certificati, operativi sulle due stazioni ARPAL, precedentemente descritte (ARPAL 1 e ARPAL 2).

Il confronto giornaliero di ARPAL 1 con la LC305 ha avuto una durata complessiva di 12 mesi, dal 07/09/2019 al 06/09/2020, con l'acquisizione di 338 coppie di misure giornaliere.

Per valutare eventuali variazioni stagionali della accuratezza delle misure giornaliere della LC305, si sono anche effettuate calibrazioni, utilizzando le coppie di misure giornaliere ottenute nel corso di ogni singolo mese da ARPAL 1 e LC305.

Il confronto giornaliero di ARPAL 1 con la LC403 e con la LC305, entrambi posizionate sulla stessa stazione di monitoraggio è avvenuto, per un periodo più breve, dal 16/07/2020 al 30/09/2020 per complessive 76 misure giornaliere.

Un secondo sistema di misura di confronto è stato quello della Stazione ARPAL 2, posizionata in Belvedere Don Ga, nei pressi di corso Firenze, che ha ospitato sul suo tetto la centralina LC403 dal 14/01/2021 al 24/03/2021, con complessive 68 coppie di misure giornaliere.

La LC 403, ad oggi (ottobre 2023), continua ad effettuare misure in questo sito.<sup>7</sup>

L'accuratezza delle misure effettuate dalle centraline LC è stata testata verificando i parametri delle correlazioni lineari (coefficiente angolare, intercetta,  $R^2$ ) es-

stenti tra le singole misure giornaliere della stazione ARPAL e di ogni centralina LC ad essa affiancata.

A causa delle prevedibili interferenze indotte da alti livelli di umidità, le curve di calibrazione sono state calcolate sia utilizzando tutte le misure giornaliere, sia selezionando i giorni con umidità relativa  $\leq 70\%$ .

## 2.5 Stima delle concentrazioni “corrette” delle centraline LC

Le equazioni lineari trovate, con  $R^2 \geq 0,7$ , sono state utilizzate per “correggere” le misure giornaliere delle centraline LC oggetto di calibrazione.

La correzione è stata ottenuta sostituendo (nella eq.1 e nella eq.2),  $X_1$  LC e  $X_2$  LC, con ciascuna delle misure giornaliere di  $PM_{10}$  e  $PM_{2,5}$  ottenute dalle centraline LC305 e LC403.

In questo modo sono state calcolate, per ogni centralina oggetto di calibrazione, le equazioni lineari “corrette” che permettono di stimare valori di concentrazioni più accurate di quelle ottenute con la calibrazione di “fabbrica”.

Inserendo l’equazione lineare “corretta”, nel software che controlla ciascuna centralina LC, questa correzione avviene in automatico ed è messa a disposizione degli utenti.

## 2.6 Misura della umidità relativa

L’umidità relativa media giornaliera, durante i giorni di campionamento, è stata acquisita dalla Stazione Meteo ARPAL presso il Centro Funzionale Meteo Idrogeologico di Protezione Civile della Regione Liguria, in viale Brigate Partigiane, 2 (GE).

## 3. RISULTATI

### 3.1 Precisione delle misure delle centraline LC

Le equazioni lineari e i rispettivi coefficienti di correlazione ( $R^2$ ), che misurano la linearità tra le misure giornaliere di  $PM_{10}$  e  $PM_{2,5}$ , trovate dal confronto di 75 misure contemporanee di polverosità delle centraline LC403, scelta come variabile indipendente Y, con quelle della centralina LC305 (variabile dipendente X) sono:

$$PM_{10} \text{ 403} = 1,28 X_{305} + 1,00 \quad R^2 = 0,95 \quad (n=75) \quad \text{eq. 1}$$
$$PM_{2,5} \text{ 403} = 0,89 X_{305} + 0,74 \quad R^2 = 0,99 \quad (n=75) \quad \text{eq. 2}$$

Dove  $X_{305}$  è la concentrazione media giornaliera ( $\mu g/m^3$ ) di  $PM_{10}$  e  $PM_{2,5}$  misurata dalla centralina LC 305, e  $PM_{10} \text{ 403}$  e  $PM_{2,5} \text{ 403}$  sono le concentrazioni della LC403, calcolate in base alle due equazioni lineari 1) e 2).

La Figura 4 mostra, come esempio, la correlazione lineare trovata mettendo a confronto le 75 medie giornaliere delle concentrazioni di  $PM_{2,5}$  misurate, contemporaneamente, dalle mini-centraline LC403 e LC305, dal 16/07 al 30/09 del 2020.

Le equazioni 1) e 2) confermano l’alta correlazione lineare tra le misure effettuate contemporaneamente dalle due mini-centraline, in particolare con riferimento

alle PM<sub>2,5</sub>, come evidenziato dal valore di R<sup>2</sup> prossimo a 1, valore che corrisponde ad un andamento perfettamente lineare tra le due misure messe a confronto: medie giornaliere delle concentrazioni di polveri misurate contemporaneamente nello stesso sito, dalle centraline LC403 e LC305.

I risultati riportati dalle equazioni 1) e 2) dimostrano che le medie giornaliere misurate contemporaneamente dalle due centraline LC “allineate” sono, tra loro, molto simili e questo conferma una buona precisione dei sensori ottici SDS010, precedentemente sottoposti al metodo di “allineamento”.

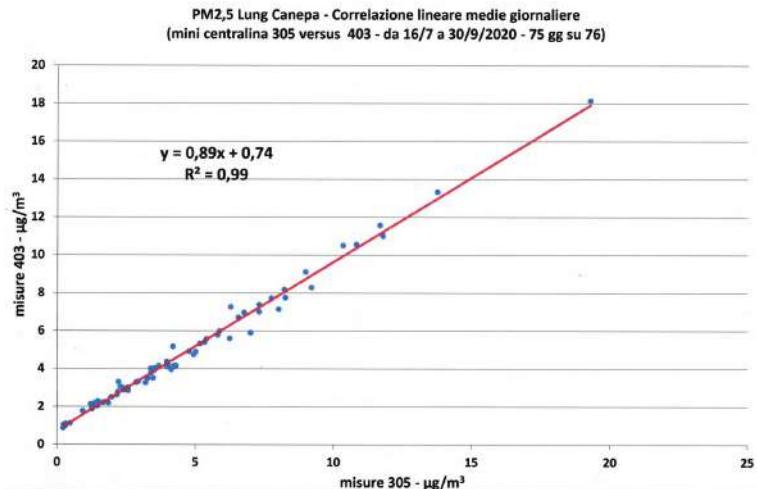


FIGURA 4. CORRELAZIONE LINEARE TRA LE CONCENTRAZIONI GIORNALIERE DI PM 2,5 MISURATE CONTEMPORANEAMENTE DALLE MINI-CENTRALINE 305 E 403, POSIZIONATE IN LUNGOMARE CANEPA, DAL 16/07/2020 AL 30/09/2020.

### 3.2 Accuratezza delle misure delle centraline LC

#### 3.2.1 Campionamento di breve durata (75 giorni)

##### ARPAL 1 vs LC 403 e LC305

Le correlazioni lineari trovate tra le misure giornaliere della LC403 e la stazione mobile ARPAL 1 di lungomare Canepa, effettuate dal 16/07/2020 al 30/09/2020, per complessivi 75 giorni di misura, sono le seguenti:

$$\text{PM}_{10} \text{ ARPAL 1} = 0,80 X_{403} + 9,4 \quad R^2 = 0,57 \quad (n= 75) \quad \text{eq. 3}$$

$$\text{PM}_{2,5} \text{ ARPAL 1} = 0,97 X_{403} + 5,5 \quad R^2 = 0,67 \quad (n= 75) \quad \text{eq. 4}$$

Le correlazioni lineari trovate tra le misure giornaliere della LC305 e la stazione mobile ARPAL 1 di lungomare Canepa, effettuate dal 16/07/2020 al 30/09/2020, sono le seguenti;

$$\text{PM}_{10} \text{ ARPAL 1} = 1,09 X_{305} + 9,6 \quad R^2 = 0,62 \quad (n= 75) \quad \text{eq. 5}$$

$$\text{PM}_{2,5} \text{ ARPAL 1} = 0,88 X_{305} + 5,5 \quad R^2 = 0,69 \quad (n= 75) \quad \text{eq. 6}$$

Le equazioni 3, 4, 5, 6 mostrano che il confronto tra le misure di polveri fini e ultrafini effettuate contemporaneamente con tre strumenti diversi (ARPAL, LC403, LC305) ha un andamento al limite della linearità, con una importante dispersione dei dati intorno alla retta che meglio approssima la correlazione lineare tra le misure.

Inoltre, l'intercetta non è pari a zero, come atteso, e ha valori relativamente molto alti.

Quando le misure della LC403 e della LC305 vanno a zero, la stazione ARPAL 1 misura concentrazioni molto più alte di polveri, tra 5 e 9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Come esempio, la Figura 5 mostra le misure contemporanee delle  $\text{PM}_{2,5}$  rilevate dalla stazione ARPAL e dalla LC403, messe a confronto e la retta di correlazione lineare corrispondente.

Si vede chiaramente che i valori trovati sono dispersi rispetto alla linea rossa che identifica l'equazione lineare che meglio approssima le misure sperimentali, con una sistematica sottostima delle misure di riferimento registrate dalla stazione ARPAL.

Questo risultato, ottenuto con il confronto di un numero di campioni relativamente ridotto, segnala una bassa accuratezza delle misure delle mini-centraline.

**In sintesi, le misure effettuate contemporaneamente dalle due centraline LC possono essere classificate, entrambe, come precise, ma poco accurate, corrispondenti al risultato del “bersaglio” in alto a destra nella Figura 1.**

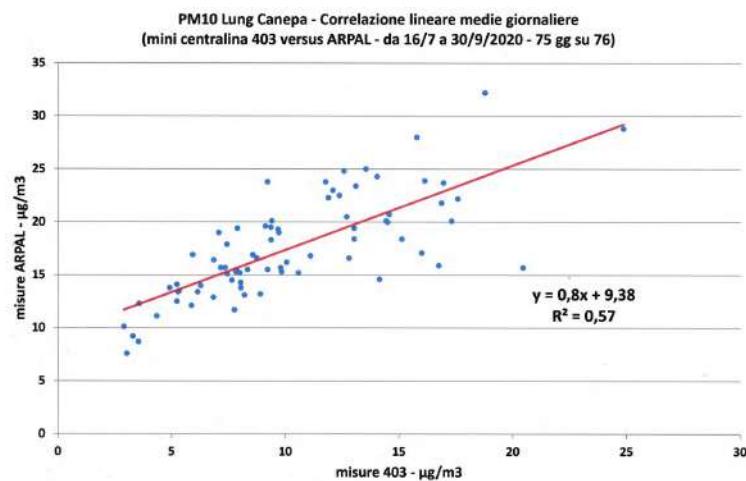


FIGURA 5. CORRELAZIONE LINEARE TRA LE CONCENTRAZIONI GIORNALIERE DI  $\text{PM}_{2,5}$  MISURATE, CONTEMPORANEALEMENTE (DAL 14/07/2020 AL 20/09/2020), DALLA CENTRALINA LC403 E DALLA STAZIONE ARPAL 1, POSIZIONATE IN LUNGOMARE CANEPA

### ARPAL 2 vs LC403

Durante il gennaio del 2021 la centralina LC404 è stata trasferita sulla stazione ARPAL 2, posta sul Belvedere Don Ga, da dove, ad oggi (ottobre 2023), continua a trasmettere misure di concentrazione di polveri sottili.

Dal 14/01/2021 al 10/04/2021, in un periodo prevalentemente invernale, sono state messe a confronto le misure giornaliere effettuate contemporaneamente dalla stazione ARPAL 2 (Belvedere don Ga) e dalla centralina LC404.

In questo caso, per eliminare l'effetto interferente indotto da alti livelli di umidità, si è scelto di mettere a confronto solo giornate con umidità relativa  $\leq 70\%$ , corrispondenti a 58 giorni, sugli 85 giorni dell'intero periodo esaminato.

Le equazioni lineari trovate sono:

$$\begin{aligned} \text{PM}_{10} \text{ ARPAL 2} &= 0,62X_{403} + 5,9 & R^2 &= 0,70 \quad (n= 58) & \text{eq. 7} \\ \text{PM}_{2,5} \text{ ARPAL 2} &= 0,71X_{403} + 5,5 & R^2 &= 0,82 \quad (n= 57) & \text{eq. 8} \end{aligned}$$

In questo caso, i due  $R^2$  sono  $\geq 0,70$  e quindi le equazioni trovate segnalano una accettabile linearità, in particolare per le  $\text{PM}_{2,5}$ .

Questo confronto (ARPAL vs LC) è stato fatto in condizioni diverse, rispetto ai precedenti:

1. senza l'interferenza di elevata umidità;
2. in un sito cittadino diverso, con un minore apporto di polveri da fonte veicolare e un presumibile minore apporto di polveri portuali;
3. in mesi prevalentemente invernali;
4. con una diversa tecnica di misura (assorbimento raggi beta) della stazione ARPAL 2;
5. con una centralina LC nuova, con poche ore di funzionamento.

Nonostante tutte queste differenze, le misure della LC404 risultano ancora una volta poco accurate, con una costante sottostima dei valori di riferimento ARPAL 2.

### 3.2.3 Fattori stagionali e accuratezza

#### ARPAL 1 vs LC305: campionamento lungo (338 giorni)

La centralina LC305, a partire dal 7 settembre 2019, fino al 6 settembre 2020, posizionata sul tetto della stessa stazione di monitoraggio mobile ARPAL 1, ha effettuato, contemporaneamente alla stazione ARPAL 1, 338 misure giornaliere di  $\text{PM}_{10}$  e di  $\text{PM}_{2,5}$ .

In questo modo si è potuto studiare l'eventualità che fattori stagionali (umidità dell'aria, temperatura, direzione del vento...) potessero influenzare l'accuratezza delle misure delle centraline LC.

Le equazioni 9) e 10) corrispondono alle correlazioni lineari tra le misure giornaliere di ARPAL 1 (Y) e quelle di LC305 (X) per le due classi di polveri ( $\text{PM}_{10}$  e  $\text{PM}_{2,5}$ ), con  $X1305 = \text{media giornaliera } \text{PM}_{10}$  e  $X2305 = \text{media giornaliera } \text{PM}_{2,5}$ , valori misurati dalla centralina LC305 e con  $\text{PM}_{10}$  ARPAL 1 e  $\text{PM}_{2,5}$  ARPAL 1, valori della variabile dipendente.

$$\begin{aligned} \text{PM}_{10} \text{ ARPAL 1} &= 0,99 X1_{305} + 11,84 & R^2 &= 0,66 \quad n = 338 & \text{eq. 9)} \\ \text{PM}_{2,5} \text{ ARPAL 1} &= 0,77 X2_{305} + 6,33 & R^2 &= 0,76 \quad n = 338 & \text{eq. 10)} \end{aligned}$$

Questo risultato, con un numero molto elevato di misure, documenta, ancora una volta, come la centralina LC305, sottostimi sistematicamente il valore "certificato", misurato dalla centralina ARPAL1, sia per le  $\text{PM}_{10}$  che le  $\text{PM}_{2,5}$ .

In entrambi i casi ( $PM_{10}$  e  $PM_{2,5}$ ) si riscontra una bassa correlazione lineare, con un'importante dispersione dei dati, come segnalato dai valori dei rispettivi  $R^2$ , inferiori a 1. Inoltre, gli alti valori delle intercette e i coefficienti angolari inferiori a 1, testimoniano, ancora una volta, la sistematica sottostima delle misure della centralina LC, rispetto alle contemporanee misure di ARPAL 1, pari ad una decina di microgrammi per metro cubo.

### ARPAL 1 vs LC 305: Andamenti mensili dei parametri che descrivono le correlazioni lineari

Le Figure 6 e 7 mostrano la variazione dei parametri delle correlazioni lineari tra le misure giornaliere di  $PM_{10}$  e  $PM_{2,5}$  registrate, nel corso di dodici mesi (da settembre 2019 ad agosto 2020), dalla centralina ARPAL 1 e dalla LC305.

Le Figure 6 e 7 mostrano che le migliori correlazioni lineari ( $R^2 > 0,80$ ) si registrano prevalentemente nei mesi invernali, da dicembre a marzo. In questo stesso periodo si registrano i più bassi valori dell'intercetta e il più elevato valore del coefficiente angolare.

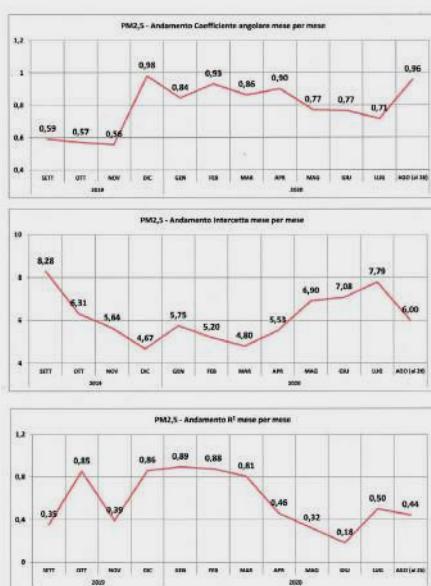
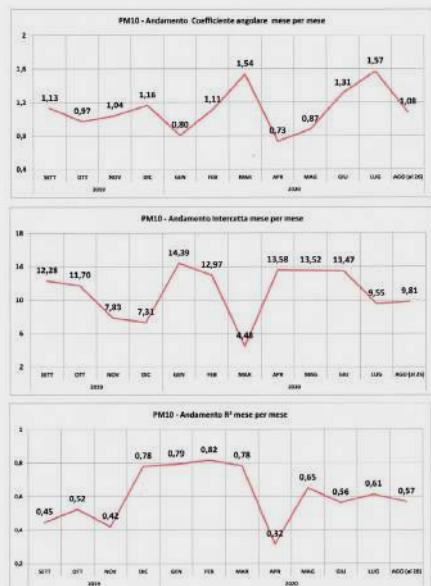


FIGURA 6. ANDAMENTO DEI PARAMETRI DELLE CORRELAZIONI LINEARI MENSILI TRA LE MISURE GIORNALIERE DELLE CONCENTRAZIONI PM10 DELLA STAZIONE ARPAL 1 VS MISURE GIORNALIERE DELLA CENTRALINA LC305.

CAMPIONAMENTI EFFETTUATI DAL SETTEMBRE 2019 A SETTEMBRE 2020.

FIGURA 7. ANDAMENTO DEI PARAMETRI DELLE CORRELAZIONI LINEARI MENSILI TRA LE MISURE GIORNALIERE DELLE CONCENTRAZIONI PM2,5 DELLA STAZIONE ARPAL 1 VS MISURE GIORNALIERE DELLA CENTRALINA LC305.

CAMPIONAMENTI EFFETTUATI DAL SETTEMBRE 2019 A SETTEMBRE 2020.

## Calibrazione delle centraline LC

Le equazioni lineari 9 e 10, ottenute mettendo a confronto 338 coppie di misure giornaliere registrate in modo continuativo, nell'arco di 12 mesi (dal settembre 2019 al settembre 2020), dalla stazione ARPAL 1 e dalla centralina LC305, sono state usate per la calibrazione della centralina LC305, per "correggere" le sue misure.

Le correlazioni lineari tra le misure "certificate" di  $PM_{10}$  e  $PM_{2,5}$  di ARPAL 1 e quelle LC305 "corrette", in base alle eq. 9) e eq. 10), sono le seguenti:

$$PM_{10} \text{ arpal 1} = 0,99 X1_{LCcorr} \quad R^2 = 0,66 \quad n = 338 \quad \text{eq. 11}$$

$$PM_{2,5} \text{ arpal 1} = 0,99 X2_{LCcorr} + 0,03 \quad R^2 = 0,77 \quad n = 338 \quad \text{eq. 12}$$

Le misure giornaliere "corrette" della LC305 correlano meglio con le contemporanee misure ARPAL, con valori dei coefficienti angolari e delle intercette delle rette di regressione, molto vicini ai valori teorici.

Pertanto, con questa calibrazione, che ha utilizzato un grande numero di misure, si è migliorata l'accuratezza delle misure della centralina LC, ma la dispersione delle misure "corrette" rispetto a quelle certificate resta importante.

Le Tabelle 1 e 2 mettono a confronto i valori delle concentrazioni medie mensili della centralina ARPAL 1, con le corrispondenti misure allineate della centralina LC305 e con le misure "corrette", dopo la calibrazione.

Le Tabelle 1 e 2 confermano che tutte le misure della LC305, mese per mese, siano caratterizzate da una sistematica sottostima del valore "certificato" ARPAL 1, compresa tra -69% e -36% per il  $PM_{10}$  e il -70% e -19 % per il  $PM_{2,5}$ .

Z7 - PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )				
	305 misure	305 "corretti"	ARPAL	
2019	SETTEMBRE	8,3	20,1	21,7
	OTTOBRE	13,3	25	24,6
	NOVEMBRE	7,9	19,7	16
	DICEMBRE	11,3	23,1	20,5
	GENNAIO	18,8	30,5	29,5
2020	FEBBRAIO	14,1	25,8	28,6
	MARZO	12,5	24,3	23,7
	APRILE	10,2	21,9	21
	MAGGIO	8,4	20,2	20,9
	GIUGNO	7,5	19,2	23,2
	LUGLIO	5,9	17,7	18,8
	AGOSTO	6,8	18,6	16,8
Medie totali		10,4	22,2	22,1

Differenze %				
	305 "mis"	305 "corr"		
	$(305 \text{ "mis"} - ARP1/ARP)} * 100$	$(305 \text{ "corr"} - ARP1/ARP)} * 100$		
	-62	-7		
	-46	+2		
	-51	+23		
	-45	+13		
	-36	+3		
	-51	-10		
	-47	+3		
	-51	+4		
	-60	-3		
	-68	-17		
	-69	-6		
	-60	+11		

Z12 - PM2,5				
	305 "misure"	305 "corretti"	ARPAL	
2019	SETTEMBRE	4,9	10,1	11,2
	OTTOBRE	8,2	12,6	11
	NOVEMBRE	3,8	9,2	7,7
	DICEMBRE	7	11,8	11,6
	GENNAIO	14	16,8	17,2
2020	FEBBRAIO	6,7	11,5	11,4
	MARZO	8	12,5	11,7
	APRILE	6,6	11,4	11,5
	MAGGIO	3,4	8,9	9,5
	GIUGNO	2,8	8,5	9,2
	LUGLIO	3,5	9	10,3
	AGOSTO	3,8	9,2	9,5
Medie totali		6,1	11,0	11

Differenze %				
	305 "mis"	305 "corr"		
	$(305 \text{ "mis"} - ARP1/ARP)} * 100$	$(305 \text{ "corr"} - ARP1/ARP)} * 100$		
	-56	-10		
	-25	+15		
	-51	+19		
	-40	+2		
	-19	-2		
	-41	+1		
	-32	+7		
	-43	-1		
	-64	-6		
	-70	-8		
	-66	-13		
	-60	-3		

TABELLA 1. CONCENTRAZIONI MEDIE MENSILI DI PM10 MISURATE DALLA CENTRALINA ARPAL 1 E DALLA CENTRALINA LC305 E MISURE DELLA LC305 "CORRETTE" IN BASE ALL' EQ. 9).

TABELLA 2. CONCENTRAZIONI MEDIE MENSILI DI PM2,5 MISURATE DALLA STAZIONE ARPAL 1 E DALLA CENTRALINA LC305 E MISURE DELLA LC305 "CORRETTE", IN BASE ALL' EQ. 10)

Si può notare che, per entrambe le classi granulometriche delle polveri, la minore differenza, tra le misure della LC305 e le misure ARPAL 1, si è registrata nel mese di gennaio, ( $PM_{10}$  : - 36%;  $PM_{2,5}$ : - 19%) mentre le differenze maggiori (- 68%, -70%) si sono registrate nel mese di giugno e luglio.

Questi riscontri fanno ritenere che la dispersione dei dati, rispetto alle rette di regressione lineare, possa dipendere da fattori stagionali.

In ogni caso, la correzione delle concentrazioni stimate dalla LC305, grazie alle curve di calibrazione, fornisce misure “corrette” che si discostano molto meno dalle misure ARPAL 1, con differenze percentuali comprese tra 1% e 23% e con una abbastanza equilibrata ripartizione tra valori maggiori e minori, rispetto al valore “certificato” ARPAL 1.

#### **Calibrazione misure $PM_{10}$ e $PM_{2,5}$ delle LC vs ARPAL, con umidità media giornaliera $\leq$ 70%**

Alla luce dei risultati riportati nel precedente paragrafo, si è voluto indagare quanto alti livelli di umidità dell’aria influenzassero negativamente sulla accuratezza delle centraline LC403 e LC305.

#### **ARPAL 1 vs LC403**

Come abbiamo visto, le correlazioni lineari trovate dal 16/7 al 30/9/2020, tra tutte le misure giornaliere della LC403 e la stazione mobile ARPAL 1 di lungomare Canepa sono le seguenti:

$$PM_{10} \text{ ARPAL 1} = 0,80 X_{403} + 9,4 \quad R^2 = 0,57 \quad (n= 75) \quad \text{eq. 3}$$

$$PM_{2,5} \text{ ARPAL 1} = 0,97 X_{403} + 5,5 \quad R^2 = 0,67 \quad (n= 75) \quad \text{eq. 4}$$

Nello stesso periodo, i giorni con umidità media giornaliera  $\leq$  al 70%, sono risultati essere 25, su 75.

Le correlazioni lineari delle 25 misure, effettuate in giorni con umidità  $\leq$  al 70%, di ARPAL 1 vs LC403, diventano:

$$PM_{10} \text{ ARPAL 1} = 1,21 X_{403} + 6,8 \quad R^2 = 0,79 \quad (n= 25) \quad \text{eq. 13}$$

$$PM_{2,5} \text{ ARPAL 1} = 1,16 X_{403} + 5,2 \quad R^2 = 0,72 \quad (n= 25) \quad \text{eq. 14}$$

#### **ARPAL 2 vs LC403**

Dal 14/01/2021 al 10/04/2021, le misure giornaliere della LC403 sono state messe a confronto con quelle di ARPAL 2 (Belvedere Don Ga). Si sono utilizzati 58 giorni con umidità relativa  $\leq$  al 70% su complessivi 85 giorni.

Le correlazioni lineari delle 58 misure, effettuate in giorni con umidità  $\leq$  al 70%, di ARPAL 2 vs LC403, sono:

$$PM_{10} \text{ ARPAL 2} = 0,62 X_{403} + 5,9 \quad R^2 = 0,70 \quad (n= 58) \quad \text{eq. 15}$$

$$PM_{2,5} \text{ ARPAL 2} = 0,71 X_{403} + 4,1 \quad R^2 = 0,82 \quad (n= 27) \quad \text{eq. 16}$$

### **ARPAL 1 vs LC305**

Dal 07/09/2019 al 06/09/2020, le misure giornaliere della LC305 sono state messe a confronto con quelle di ARPAL 1 (Lungomare Canepa). Si sono utilizzati 145 giorni con umidità relativa  $\leq$  al 70% su complessivi 338 giorni.

Le correlazioni lineari delle 145 misure, effettuate in giorni con umidità  $\leq$  al 70%, di ARPAL 1 vs LC305, sono:

$$PM_{10} \text{ ARPAL 1} = 1,02 X_{305} + 12,1 \quad R^2 = 0,70 \quad (n= 145) \quad \text{eq. 17}$$

$$PM_{2,5} \text{ ARPAL 1} = 0,79 X_{305} + 7,2 \quad R^2 = 0,77 \quad (n= 145) \quad \text{eq. 18}$$

Interessante notare come, utilizzando solo le misure effettuate in condizioni di bassa umidità ( $\leq 70\%$ ) per determinare i parametri della correlazione lineare, pur con una drastica riduzione del numero di campioni messi a confronto, i coefficienti di correlazione lineare ( $R^2$ ) migliorano sensibilmente e, in tutti i casi esaminati, gli  $R^2$  risultano  $\geq 0,7$ .

## **DISCUSSIONE**

Le misure di  $PM_{2,5}$  e  $PM_{10}$  effettuate a Genova con due diverse centraline LC, con campionamenti che si sono protratti per 12 mesi, hanno dimostrato, in entrambi i casi, una importante e sistematica sottostima delle concentrazioni medie giornaliere, rispetto alle contemporanee misure ARPAL, utilizzate come misure di riferimento certificate. Gli errori, in assoluto e in percentuale, sono stati nettamente superiori alle specifiche del sensore SDS011.

Poiché le due centraline LC, testate sul campo, pur con diverse ore di esercizio a carico, hanno confermato di essere precise, questo fenomeno merita di essere chiarito.

### **Ipotesi sulle cause della bassa accuratezza delle centraline LC allineate**

Le specifiche del sensore SDS011 riportano, per le misure di concentrazione delle polveri, un errore relativo massimo pari al 15 % e, in assoluto, pari a  $\pm 10\mu\text{g}/\text{m}^3$ , per misure effettuate con umidità relativa al 50% e temperatura di 25 °C. Le stesse specifiche segnalano che le condizioni ambientali per il buon funzionamento del sensore sono: temperatura tra -10 e 50 °C e umidità massima  $\leq 70\%$ .

Come riportato nelle Tabelle 1 e 2 per i campionamenti di durata mensile della LC305 e di 75 giorni della LC 403, le differenze tra le misure giornaliere ARPAL e le centraline LC allineate, sono spesso superiori al 15 %, con sottostime sistematiche da parte delle centraline LC, mediamente intorno a -50%.

Le principali variabili che probabilmente producono una bassa accuratezza delle centraline LC sono:

- Elevata umidità dell'aria
- Temperatura del sensore superiore alle specifiche
- Specifiche caratteristiche "ottiche" del particolato locale, diverse da quelle ipotizzate per la taratura del sensore
- Campionamenti discontinui delle centraline LC

Nei paragrafi successivi esamineremo queste variabili, i loro possibili effetti e le modalità per ridurne gli effetti sulla accuratezza.

### **Umidità dell'aria**

Il produttore del sensore, nelle specifiche, riporta l'avviso che misure effettuate con umidità relativa superiore al 70% sono inaffidabili.

L'inaffidabilità deriva dal fatto che, con elevata umidità, si possono formare in atmosfera micro-gocce liquide (nebbia-caligo) che il sensore ottico, erroneamente, riconosce e misura come micro-polveri solide.

Questo fenomeno, sperimentalmente evidenziato da diversi autori (Budde, 2018; Cavaliere, 2018) comporta una sovrastima anche importante, delle misure rispetto ai valori di riferimento derivanti da strumenti che "pesano" la massa delle micro-polveri, come quelli utilizzati da ARPAL.

Nelle esperienze genovesi, dove la formazione di nebbie è un fenomeno raro, le centraline LC, come abbiamo visto, tendono sempre a sottostimare il valore di riferimento (ARPAL), anche in periodi caratterizzati da elevata umidità, come quelli durante i quali sono state effettuate le misure in precedenza riportate.

Questo fa ritenere che, nella realtà genovese, l'umidità dell'aria non sia la principale causa della bassa accuratezza delle misure.

### **Temperatura del sensore**

Un'altra variabile da considerare, per tenere sotto controllo l'accuratezza delle misure delle mini-centraline, è la temperatura del sensore, in particolare durante il periodo estivo.

Come già segnalato, le specifiche del sensore riportano una temperatura massima d'esercizio pari a 50 °C.

Poiché il sensore è all'interno di una scatola a chiusura quasi ermetica, non si può escludere che durante il periodo estivo, se la centralina LC fosse esposta al sole, la temperatura giornaliera all'interno della scatola possa superare i 50 gradi centigradi.

A riguardo, bisogna anche tener conto che il processore utilizzato nella mini-centralina produce calore e raggiunge temperature superiori a 60° C.

Per ridurre la probabilità di surriscaldamento le centraline LC testate a Genova sono state protette dal sole con un pannellino allettato fissato sul lato superiore e posti in luoghi ben ventilati.

È un aspetto dell'accuratezza delle misure che bisogna approfondire.

### **Specificità ottiche delle polveri genovesi**

Un possibile spiegazione della sottostima delle misure con centraline LC potrebbe dipendere dal fatto che le polveri di Genova, siano caratterizzate da una concentrazione di residui carboniosi incombusti (black carbon), con caratteristiche tali da modificare in modo rilevante l'intensità della luce diffusa, a causa di un elevato assorbimento delle radiazioni laser da parte delle particelle carboniose.

In effetti, campagne di misure effettuate in ambiti portuali (Brewer, 2020; Gobbi, 2020) hanno evidenziato importanti concentrazioni di "black carbon" attribuibili alle emissioni navali.

I combustibili navali sono distillati pesanti di petrolio la cui combustione comporta importanti emissioni di polveri ad alto contenuto di carbonio (*soot, black carbon*), particelle di colore scuro alle quali il tipo di sensore laser usato dalle centraline LC è particolarmente insensibile.

Studi controllati (Budde, 2018) effettuati su sensori SDS011, come quello delle nostre centraline LC hanno dimostrato che inserendo nella camera di esposizione fumi (soot) prodotti da un fornello a propano senza immissione di aria, non è possibile effettuare misure su questo tipo di particelle a causa del loro elevato assorbimento nei confronti della luce laser e al conseguente basso “scattering” di questa luce. Gli autori precisano che questa è una situazione estrema: nell’aria ambiente la fuligine è ricoperta con altri composti organici e inorganici (solfati) e quindi possiede una certa riflettività.

Mediamente, da 20 a 30 navi commerciali e passeggeri, anche di elevato tonnellaggio, ogni giorno sono attraccate ai moli del porto di Genova, posti lungo la costa, da Genova Prà a Ponte dei Mille.

Nei mesi estivi sono anche più frequenti gli arrivi e gli stazionamenti di grandi navi passeggeri e traghetti. Questi ultimi, in particolare, spesso nelle fasi di attracco e di partenza, emettono a lungo fumi “neri” proprio nelle ore con brezza di mare.

A Genova, il periodo estivo è caratterizzato da un regime di brezza, con una maggiore frequenza di venti provenienti dal quadrante sud. In queste condizioni tutta la città è esposta alle ricadute delle emissioni portuali, in particolare i due siti di campionamento utilizzati in questo studio.

Invece, nel periodo invernale, la città di Genova è caratterizzata da venti prevalenti dal quadrante Nord che trasportano verso il mare le emissioni portuali.

In queste condizioni le centraline si trovano prevalentemente sottovento alle emissioni urbane, principalmente prodotte dal traffico e dagli impianti di riscaldamento.

È molto probabile che durante il periodo invernale, il contenuto di particelle carboniose (*soot, black carbon*) nelle polveri sottili genovesi sia molto minore, anche grazie al fatto che il gas naturale, con ridotta emissione di particolato fine, sia il principale combustibile usato per il riscaldamento domestico genovese.

Pertanto, il nostro studio evidenzia la possibilità che in città portuali come Genova, le centraline LC tendano a sottostimare la concentrazione “vera” delle polveri, a causa dei fumi “neri” di fonte navale.

E noto (Buffaloe, 2014; Lack, 2012; Bann-Weiss, 2009) come le emissioni di motori diesel (veicolari e navali) siano caratterizzate da un’elevata concentrazione di polveri ultra-finì ( $PM_{2,5}$ -  $PM_1$ ), prevalentemente formati da residui di combustione, con una elevata presenza di carbonio organico (*organic carbon, black carbon*).

Questa caratteristica potrebbe spiegare l’importante sottostima delle mini-centraline, fenomeno che si registra in particolare nei periodi estivi, durante i quali le brezze di mare, prevalenti in questa stagione, portano verso la città le emissioni portuali.

Diversi studi (Cuccia, 2013; Sandrini, 2014), tra cui alcuni condotti a Genova, nello stesso sito di corso Firenze dove abbiamo calibrato la centralina LC403, segnalano come, nelle aree portuali, le  $PM_{2,5}$  siano formate prevalentemente da residui carboniosi che, dal punto di vista ottico assorbono la luce in tutte le componenti dello spettro visibile.

Pertanto siamo arrivati alla conclusione che la specifica composizione delle polveri presenti nelle vicinanze del porto di Genova, composte prevalentemente da *black carbon*, possa essere la principale causa della sottostima e quindi della bassa accuratezza delle misure delle mini-centraline LC.

Bassa accuratezza che può essere corretta con procedure di calibrazioni sul campo, simili a quelle adottate in questo studio.

### Campionamenti discontinui delle LC

La scelta di prolungare la vita utile delle LC, con campionamenti che prevedono regolari periodi di interruzione, potrebbe diminuire l'accuratezza delle loro misure, rispetto a misure continue, come quelle che si effettuano da parte delle stazioni ARPAL. Il motivo potrebbe essere l'elevata variabilità, anche su tempi brevi, delle concentrazioni di polveri sottili.

Un confronto tra due centraline LC, di cui una con campionamento continuo e la seconda con l'attuale campionamento discontinuo, potrebbe quantificare l'errore indotto da questi due diversi sistemi di campionamento.

### Ricalibrazione delle centraline LC

Nella sperimentazione genovese è emersa l'opportunità di una ricalibrazione delle centraline LC allineate, in base al confronto con misure ARPAL per poter correggere la loro sistematica sottostima delle concentrazioni di polveri.

Gli effetti negativi, sull'accuratezza delle misure delle mini-centraline, indotti da condizioni di umidità  $\geq$  al 70%, hanno suggerito l'opportunità che le curve di correlazioni ARPAL vs centraline LC siano stimate solo mettendo a confronto misure effettuate con umidità media giornaliera  $\leq$  a 70%.

Con questo accorgimento si evita di inserire una fonte di errore nella stima della curva di calibrazione.

Le curve di calibrazione effettuate adottando questo accorgimento hanno dimostrato un miglioramento della accuratezza delle "misure calibrate".

La nostra esperienza suggerisce che la calibrazione avvenga in base a campionamenti mensili effettuati durante ciascun periodo stagionale ad esempio: dicembre, marzo, giugno, settembre.

In questo modo si ottiene una accettabile correzione delle misure su tutto il periodo annuale anche in presenza di concentrazioni variabili di *black carbon*.

Dalla fine del 2020, ad oggi (Novembre 2023), con la procedura illustrata, sono state calibrate le seguenti centraline LC, presenti sulla Rete di Monitoraggio Popolare Genovese (ReMoPopGe):

- Argine Polcevera 16
- Porro
- Corso Firenze
- Quarto Arpal

Ed è proprio la calibrazione, il motivo del fatto che, spesso, le concentrazioni misurate da queste quattro centraline LC sono superiori alle misure contemporaneamente effettuate dalle altre centraline della Rete Popolare, al momento, solo allineate.

## CONCLUSIONI

Lo studio fin qui condotto, potendosi avvalere di un confronto diretto con misure di qualità, quali quelli forniti da strumentazione certificata ARPAL, ha evidenziato pregi e limiti delle mini-centraline, confermando quanto già evidenziato dagli studi citati.

Un pregio è certamente la buona precisione dei sensori dopo il loro allineamento. Questo permette un corretto confronto tra le misure effettuate, contemporaneamente, in siti diversi o in diversi periodi.

Un altro pregio è l'indiscussa elevata sensibilità e la velocità di risposta che permettono di registrare eventi rapidi e di elevata intensità che normalmente sfuggono ai metodi di misura ufficiali, basati su stima di medie giornaliere o al massimo orarie.

Queste caratteristiche, insieme alla loro flessibilità d'uso, candidano le centraline LC alla funzione di "sentinelle della qualità dell'aria", utili per individuare specifiche fonti inquinanti, la loro localizzazione, l'intensità dell'inquinamento prodotto in corrispondenza delle abitazioni.

L'esperienza genovese, grazie alla Rete di Monitoraggio Popolare (ReMoPop), realizzata con il contributo di Associazioni e Comitati cittadini, ha evidenziato l'opportunità che, specialmente in città portuali o con elevata presenza di attività industriali, le centraline LC, dopo l'allineamento "fiorentino", siano calibrate sul campo con metodi simili a quelli adottati in questo studio, con il confronto diretto con stazioni ARPA posizionate nelle immediate vicinanze, in modo da minimizzare la sistematica sottostima delle misure delle centraline LC, che si presume possa essere attribuita alla elevata concentrazione di *black carbon* presente nell'aria delle città portuali.

### *Ringraziamenti*

*Gli autori ringraziano la dirigenza e il personale tecnico ARPAL per la disponibilità ad ospitare le nostre centraline LC e a collaborare al loro montaggio.*

*Un ringraziamento è dovuto anche a Giorgio Antonelli, Salvatore Moretti e Davide Pagliai per l'assistenza e la manutenzione alla Rete di Monitoraggio Popolare di Genova.*

## BIBLIOGRAFIA

- Ban-Weiss, G. A., Lunden, M. M., Kirchstetter, T. W., & Harley, R. A. (2009). *Measurement of black carbon and particle number emission factors from individual heavy-duty trucks*. Environmental science & technology, 43(5), 1419-1424
- Budde, M., Schwarz, A. D., Müller, T., Laquai, B., Streibl, N., Schindler, G., ... & Beigl, M. (2018). *Potential and limitations of the low-cost SDS011 particle sensor for monitoring urban air quality*. ProScience, 5(6), 12.
- Buffaloe, G. M., Lack, D. A., Williams, E. J., Coffman, D., Hayden, K. L., Lerner, B. M., ... & Cappa, C. D. (2014). *Black carbon emissions from in-use ships: a California regional assessment*. Atmospheric Chemistry and Physics, 14(4), 1881-1896.
- Cavaliere, A., Carotenuto, F., Di Gennaro, F., Gioli, B., Gualtieri, G., Martelli, F., ... & Zaldei, A. (2018). *Development of low-cost air quality stations for next generation monitoring networks: Calibration and validation of PM2.5 and PM10 sensors*. Sensors, 18(9), 2843.
- Cuccia, E., Massabò, D., Ariola, V., Bove, M. C., Fermò, P., Piazzalunga, A., & Prati, P. (2013). *Size-resolved comprehensive characterization of airborne particulate matter*. Atmospheric Environment, 67, 14-26.
- Lack, D. A., & Corbett, J. J. (2012). *Black carbon from ships: a review of the effects of ship speed, fuel quality and exhaust gas scrubbing*. Atmospheric Chemistry and Physics, 12(9), 3985-4000.
- Laquai 2017  
[https://www.researchgate.net/publication/322628807\\_Development\\_of\\_a\\_Calibration\\_Methodology\\_for\\_the\\_SDS011\\_Low-Cost\\_PM-Sensor\\_with\\_respect\\_to\\_Professional\\_Reference\\_Instrumentation](https://www.researchgate.net/publication/322628807_Development_of_a_Calibration_Methodology_for_the_SDS011_Low-Cost_PM-Sensor_with_respect_to_Professional_Reference_Instrumentation)
- Liu, H. Y., Schneider, P., Haugen, R., & Vogt, M. (2019). *Performance assessment of a low-cost PM2.5 sensor for a near four-month period in Oslo, Norway*. Atmosphere, 10(2), 41.
- Roy, S., Bose, R., & Sarddar, D. (2017). *Smart and healthy city protecting from carcinogenic pollutants*. Int. J. Appl. Environ. Sci, 12, 1661-1692.
- Sandrinini, S., Fuzzi, S., Piazzalunga, A., Prati, P., Bonasoni, P., Cavalli, F., ... & Gilardoni, S. (2014). *Spatial and seasonal variability of carbonaceous aerosol across Italy*. Atmospheric environment, 99, 587-598.
- Valerio, F. (2019). *Citizen Science per monitorare la demolizione del Ponte Morandi*. Epidemiol Prev. 43 (4) 221-222.
- Zagolin, L., Marson, G., & De Bortoli, A. (2020). *Potenzialità e limiti nell'utilizzo di sensori low-cost per la misura del particolato atmosferico PM10 in aria ambiente*.
- Gobbi, G. P., Di Liberto, L., & Barnaba, F. (2020). *Impact of port emissions on EU-regulated and non-regulated air quality indicators: The case of Civitavecchia (Italy)*. Science of the Total Environment, 719, 134984.

## SITOGRAFIA

1. <https://www.esperimentanda.com/la-differenza-fra-accuratezza-e-precisione-in-misure-strumenti-esperimenti/>
2. <http://www.cheariatira.it/rete-centraline-di-monitoraggio-provincia-di-genova/>
3. <https://cdn-reichelt.de/documents/datenblatt/X200/SDS011-DATASHEET.pdf>
4. [https://www.researchgate.net/publication/322628807\\_Development\\_of\\_a\\_Calibration\\_Methodology\\_for\\_the\\_SDS011\\_Low-Cost\\_PM-Sensor\\_with\\_respect\\_to\\_Professional\\_Reference\\_Instrumentation](https://www.researchgate.net/publication/322628807_Development_of_a_Calibration_Methodology_for_the_SDS011_Low-Cost_PM-Sensor_with_respect_to_Professional_Reference_Instrumentation)
5. [http://www.cheariatira.it/wp-content/uploads/2019/05/Allineamento\\_misuratori\\_PM\\_CheAriaTira.pdf](http://www.cheariatira.it/wp-content/uploads/2019/05/Allineamento_misuratori_PM_CheAriaTira.pdf)
6. <http://www.qbit-optronics.com/it/index.php/sistema-misura-pm-portatile-lct-14/>
7. <http://www.cheariatira.it/centraline/genova-provincia/genova/centralina-monitoraggio-qualita-aria-castelletto/#>



# Come stimare e migliorare l'accuratezza delle concentrazioni giornaliere di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> misurate dalle centraline Low-Cost (LC) della Rete di Monitoraggio Popolare di Genova. *Possibile ruolo di fattori meteo stagionali.*

**Annalisa Marcone  
Salvatore Moretti  
Alessandro Tomaselli  
Federico Valerio**

## Riassunto

Le misure giornaliere di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> di due centraline Low Cost (LC) con sensore “scattering” SDS011, in funzione su balconi e terrazzi di palazzi genovesi, con vista sulla Stazione Marittima, sono state messe a confronto con le misure contemporanee di una stazione ARPAL, attiva nello stesso quartiere, a circa 190 e 950 metri di distanza dalle due centraline LC. Lo studio ha evidenziato come un’umidità relativa superiore al 70% comporti una riduzione dell’accuratezza. Si sono riscontrate anche variazioni stagionali, con sistematiche sottostime delle misure LC rispetto a quelle ARPAL, specialmente nella stagione estiva.

È stato ipotizzato che questo effetto possa essere attribuito alla maggiore concentrazione di “black carbon”, residui carboniosi prodotti dalle emissioni navali (diesel alimentati con olio pesante), più frequenti nel periodo estivo, caratterizzato anche da una maggiore frequenza e durata di brezze di mare che portano sulle colline cittadine le emissioni portuali.

Correlazioni lineari, ottenute mettendo a confronto un numero adeguato di misure giornaliere registrate, nell’arco dell’anno, dalle due centraline LC e dalla stazione ARPAL attiva nelle loro vicinanze, hanno permesso di introdurre fattori correttivi nel software delle centraline Low Cost, che rendono accettabili l’accuratezza delle loro misure, con un errore medio pari a ± 22%.

## Parole chiave

Centraline low cost | Monitoraggio polveri sottili | Accuratezza delle misure | Citizen Science | Variabili meteo

## 1. INTRODUZIONE

Nell'articolo a firma di Valerio e Gheresi, pubblicato sul Quaderno di Ecoistituto REGE n° 5 (Valerio, 2023) sono stati descritti metodi e risultati per stimare la precisione e l'accuratezza delle centraline *Low Cost* (LC) progettate e costruite dalla Associazione "CheAriaTira".

Questa stima è stata realizzata posizionando le centraline LC sopra il tetto di due stazioni ARPAL attive a Genova, scelta resa possibile dalla collaborazione con dirigenti e operatori ARPAL, ma non sempre possibili in altre Regioni che già ospitano centraline LC (Toscana, Veneto, Lombardia...) e in altre che, nel prossimo futuro potrebbero ospitarne di nuove, per avere informazioni sulla qualità dell'aria in specifiche e particolari situazioni.

Nel presente articolo, l'accuratezza di due centraline LC, attive a Genova nella Rete di Monitoraggio Popolare (ReMoPop), realizzata da Ecoistituto REGE, in collaborazione con cittadini e Comitati, per il controllo delle emissioni portuali (Figura 1), è stata stimata e migliorata, confrontando le loro misure giornaliere con quelle di una stazione ARPAL posta nello stesso Quartiere, a diversa distanza dalle centraline LC.

Nel corso di questa calibrazione a distanza, si è valutato il ruolo delle condizioni meteo sulla accuratezza delle misure, in particolare umidità dell'aria e direzione del vento.

## 2. MATERIALI E METODI

### 2.1 La Rete di Monitoraggio Popolare di Genova

La Rete di Monitoraggio Popolare di Genova (ReMoPop Genova) è stata realizzata da Ecoistituto ReGe, in collaborazione di Comitati Civici, Associazioni e singoli cittadini.

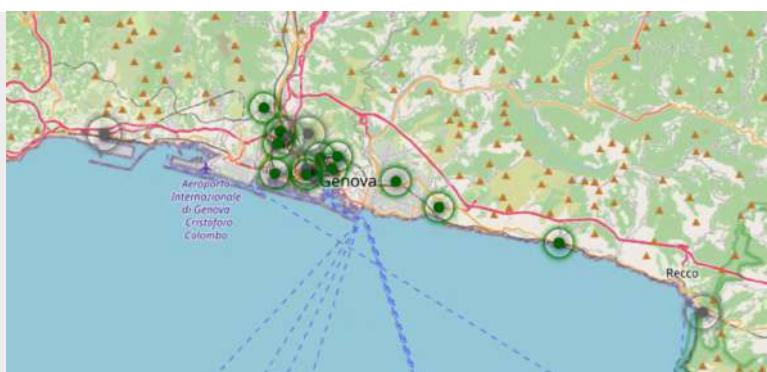


FIGURA 1.  
LOCALIZZAZIONE DELLE QUATTORDICI CENTRALINE LC DELLA REMOPOP, PRESENTI A GENOVA AL DICEMBRE 2023.  
IN GRIGIO, QUELLI CHE, AL MOMENTO, PER MOTIVI TECNICI, NON TRASMETTONO DATI.

A novembre 2023, la ReMoPop Genova era formata da 14 centraline LC, messe a disposizione dal Comitato Onlus “Mamme No Inceneritore” di Firenze, associazione che ha anche curato lo sviluppo del software per la gestione e l’elaborazione delle misure acquisite con la Rete.

Le 14 centraline LC (Figura 1) sono posizionate lungo la costa del mar Ligure, ospitate su balconi e terrazzi, da Genova Pra, a sinistra nella Figura 1, fino a Camogli.

La Rete Popolare si pone l’obiettivo di monitorare in continuo le concentrazioni di polveri sottili ( $PM_{10}$ ) e ultrasottili ( $PM_{2,5}$ ), con particolare riferimento a quelle provenienti dalle emissioni portuali genovesi: dal porto commerciale di Genova Pra, lungo i Terminali di Sampierdarena e i moli della Stazione Marittima, a cui attraccano navi da crociera e traghetti, fino ai bacini di carenaggio delle Riparazioni Navali, di Genova Carignano.

La Tabella 1 riporta l’indirizzo di ciascuna centralina LC, il loro codice identificativo, il piano dell’abitazione a cui si trovano, la loro classificazione in base alla fonte inquinante prevalente presente nel sito dove sono collocate, l’avvenuta calibrazione.

La calibrazione è una procedura adottata per migliorare l’accuratezza delle misure delle centraline LC, descritta, in maggior dettaglio, nell’articolo di Valerio (2013).

Attualmente, a Genova, cinque centraline LC sono state calibrate:

- > Via Porro
- > Argine Polcevera
- > Via Ristori
- > Belvedere don Ga
- > Quarto-largo Cattanei

Le prime tre centraline LC (via Porro, Argine Polcevera, via Ristori), poste in val Polcevera, a poca distanza dal viadotto Genova-San Giorgio (autostrada E25) e dall’autostrada E80, sono state calibrate utilizzando la curva di correlazione ottenuta confrontando le misure di una centralina LC (la LC 305), con le misure della stazione mobile ARPAL che la ospitava, classificata come “urbana-traffico”. Entrambi i sistemi di misura (ARPAL e LC) si trovavano a poca distanza da lungomare Canepa, una strada a quattro corsie usata per l’attraversamento della città, che scorre alla foce del torrente Polcevera (Valerio, 2023).

La centralina LC di Belvedere don Ga è stata calibrata tramite confronti delle sue misure giornaliere con quelle della stazione ARPAL di “fondo urbano” che la ospita sul suo tetto (Valerio, 2023).

La centralina LC di Quarto-largo Cattaneo è stata ricalibrata in base al confronto con la nuova stazione ARPAL ospitante, anch’essa in largo Cattaneo e classificata “fondo urbano”.

TABELLA 1. INDIRIZZI E SPECIFICHE DELLE CENTRALINE LC DELLA RETE DI MONITORAGGIO POPOLARE (REMOPOP) DI GENOVA  
AGGIORNAMENTO A DICEMBRE 2023.

<b>Indirizzo</b>	<b>Cod.</b>	<b>Piano</b>	<b>Classificazione</b>	<b>Cal.</b>
v. Taggia 9	430		Urbana-porto	
Circolo Fegino v. Borzoli, 123	439	2	Fondo urbano	
Argine Polcevera, 16	306	5	Urbana-traffico	si
v. Porro	334	2	Urbana-traffico	si
v. Ristori	302		Urbana-traffico	si
L. mare Canepa	428	2	Urbana-traffico-porto	si
<b>ARCI Granarolo</b>				
v. B. Bianco, 109	438	0	Fondo urbano	
v. Milano, 61	433	7	Urbana-porto	
v. Dino Col, 26	445	2	Urbana-porto	
v. Pagano Doria, 10	441	4	Fondo urbano-porto	
Nautico S. Giorgio	446	3	Fondo urbano-porto	
Belvedere Don Gà	403	0	Fondo urbano-porto	si
<b>Circolo Zenzero</b>				
v. G. Torti, 35	444	1	Urbano-traffico	
Quarto l.go Cattanei, 3	305	0	Fondo urbano	si
Bogliasco Mazzini 48	431	1	Extra urbano	
Camogli Nautico Colombo	434	3	Extra urbano	

In questo articolo saranno presentate le procedure adottate per la calibrazione a “distanza” delle Centraline LC di Via Dino Col (cod. 445) e di Via Pagano Doria (cod. 441), le cui misure giornaliere sono state confrontate con le misure della stazione mobile Arpal, posta in largo S. Francesco da Paola, denominata Arpal SFP.

La stazione mobile ARPAL SFP, per la misura di polveri sottili utilizza un campionatore Fidas, un contatore di particelle, con tecnologia ottica multicanale, certificata UNI EN 16450 e riconosciuta equivalente, agli strumenti e ai metodi di misura, ai sensi del dlgs 155/2010.

Oltre alle procedure consigliate per la calibrazione delle centraline LC, in questo articolo saranno discussi i possibili motivi alla base della frequente sottostima, a Genova, delle misure delle centraline LC, rispetto alle contemporanee misure ARPAL.

La Figura 2 mostra la posizione della stazione di riferimento Arpal SFP, e delle due centraline LC da calibrare: P. Doria e Dino Col.

## 2.2 Criteri per la scelta della stazione ARPAL di riferimento e delle centraline LC da calibrare a distanza.

Il criterio adottato per scegliere la stazione di monitoraggio ARPAL, usata come riferimento certificato, e le centraline LC da calibrare è stato il seguente:

- > i siti che ospitano l'una e le altre, devono avere la stessa classificazione, in funzione delle fonti inquinanti monitorate e delle modalità di diffusione dei loro inquinanti.

- > Per la classificazione delle centraline LC, abbiamo usato la stessa terminologia utilizzata dalle ARPA regionali per le loro stazioni di monitoraggio. In base al tipo di zona, le classificazioni sono: Urbana, Suburbana, Rurale; in base al tipo di "pressione" ambientale prevalente: Traffico, Industriale, di Fondo.
  - > Per le specificità di Genova e delle altre città portuali, interessate a adottare le stesse procedure scelte a Genova, è stata introdotta anche la "pressione" Porto.

Nel caso di Genova, la stazione ARPAL di riferimento ha la classificazione ufficiale di “fondo urbano”, attribuita alla Stazione Mobile “Nissan Ge”, posizionata in Largo San Francesco da Paola, nel quartiere di San Teodoro, a 100 metri sul livello del mare.<sup>1</sup>

Questa stazione, che denominiamo “Arpal SFP”, dista 450 metri dalla “Sopraelevata Aldo Moro”, viadotto a quattro corsie, utilizzato per l’attraversamento, lato mare, della città, e dista circa 700 metri dai fumaioli della più vicina nave da crociera, attraccata ai moli della Stazione Marittima.

Poiché “Arpal SFD”, con venti dal quadrante sud, si trova in una zona di ricaduta delle emissioni convogliate delle navi, prodotte durante le manovre di ingresso e uscita dal porto e durante la sosta ai moli, la corretta classificazione di questo sito, è “fondo urbano-porto”.

Per le loro caratteristiche, (lontananza da elevati flussi di traffico, poste in zona di ricaduta di emissioni portuali) anche le due centraline LC da calibrare (LC Dino Col, LC Pagano Doria), in Tabella 2, sono classificabili come “fondo urbano-porto”.

La Tabella 2 riporta le distanze delle due centraline LC dalla stazione ARPAL SFP, scelta come riferimento, e dalle principali fonti di inquinamento presenti nelle vicinanze: i fumaioli delle navi più vicine attraccate ai moli della “Stazione Marittima” e la “Sopraelevata Aldo Moro”.

Mentre le distanze delle centraline LC dalle due principali fonti emissive sono simili, la centralina LC Dino Col si trova ad una distanza maggiore dalla Stazione di riferimento ARPAL SFP.



**FIGURA 2.**  
LOCALIZZAZIONE DELLA STAZIONE MOBILE ARPAL,  
IN LARGO SAN FRANCESCO DA PAOLA (ARPAL SFP) E DELLE  
CENTRALINE LC DI VIA PAGANO DORIA E VIA DINO COL-

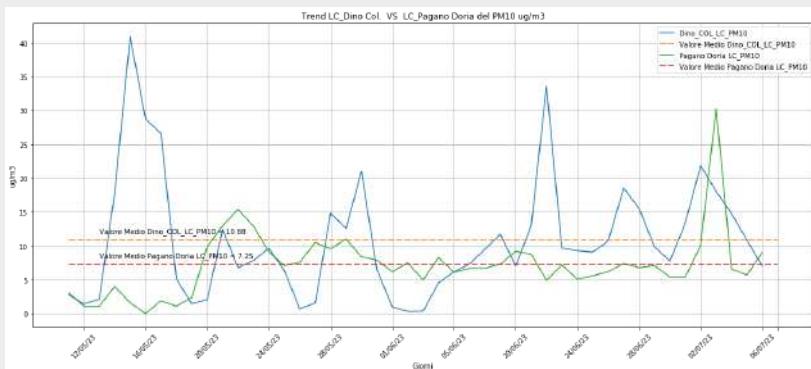


FIGURA 3A. ANDAMENTO DELLE CONCENTRAZIONI GIORNALIERE DI  $\text{PM}_{10}$  MISURATE CONTEMPORANEAMENTE, DAL 11/05/23 AL 07/07/23, DALLE CENTRALINE LC DINO COLE LC PAGANO DORIA, ME CONCENTRAZIONI MEDIE.

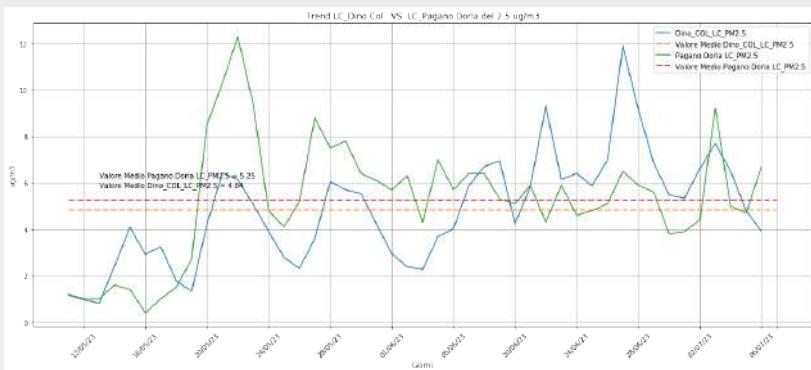


FIGURA 3B. ANDAMENTO DELLE CONCENTRAZIONI GIORNALIERE DI  $\text{PM}_{2.5}$  MISURATE CONTEMPORANEAMENTE, DAL 11/05/23 AL 07/07/23, DALLE CENTRALINE LC DINO COLE LC PAGANO DORIA E CONCENTRAZIONI MEDIE.

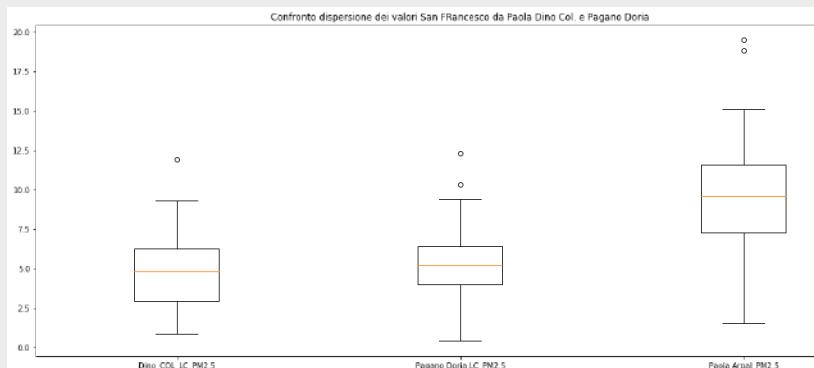


FIGURA 4. CONFRONTO TRA LA DISTRIBUZIONE DELLE MISURE GIORNALIERE DI  $\text{PM}_{2.5}$  REGISTRATE, CONTEMPORANEALEMENTE, DA LC DINO COL. LC PAGANO DORIA E ARPAL SFP (GRAFICO A SCATOLA E BAFFI), LA LINEA ORIZZONTALE ALL'INTERNO DELLA SCATOLA, CORRISPONDE ALLA CONCENTRAZIONE MEDIA: DINO COL LC,  $4.84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; PAGANO DORIA LC,  $5.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; ARPAL SFP,  $9.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

TABELLA 2. CENTRALINE LC DA CALIBRARE: DISTANZA DALLA STAZIONE DI RIFERIMENTO ARPAL SFP, DAI FUMAIOLI DELLE PIÙ VICINE NAVI DA CROCIERE E DEI TRAGHETTI, E DAL FLUSSO DI TRAFFICO DELLA "SOPRAELEVATA".

Centralina LC	Distanza da Arpal SFP	Distanza da fumaioli	Distanza da "Sopraelevata"
metri			
Via Dino Col n° 26	950	450	190
Via Pagano Doria n° 10	190	450	280

Le Figure 3a e 3b mostrano l'andamento delle misure contemporanee di  $PM_{10}$  e  $PM_{2,5}$  effettuate dalle due centraline LC.

Si può notare (Figura 4a) come le concentrazioni di  $PM_{10}$ , trovate in via Dino Col, siano tendenzialmente maggiori di quelle misurate, contemporaneamente, in via Pagano Doria.

Le rispettive concentrazioni medie, sull'intero periodo esaminato, sono 10,88 e 7,25  $\mu g/m^3$ .

Per quanto riguarda l'andamento delle concentrazioni giornaliere di  $PM_{2,5}$  (Figura 4b) i risultati ottenuti dalle due centraline sono molto più simili e le concentrazioni medie sono 5,25  $\mu g/m^3$  in via Pagano Doria e 4,84  $\mu g/m^3$  in via Dino Col.

Queste differenze possono essere attribuite alla minore accuratezza delle misure di  $PM_{10}$  da parte del sensore SDS011, ma anche dalla possibilità che la maggiore vicinanza di via Dino Col ai fumaioli delle navi, possa indurre una localizzata maggiore concentrazione di polveri "pesanti".

La Figura 4 riporta la distribuzione delle concentrazioni giornaliere trovate contemporaneamente nei siti LC di via Dino Col e Pagano Doria e nella stazione ARPAL SFP.

La rappresentazione grafica è quella detta "scatola e baffi" in cui, nella "scatola", si trova il 50% delle misure e la concentrazione media (linea orizzontale) e le estremità dei "baffi" individuano i valori minimi e massimi. I valori esterni ai "baffi" sono misure "anomale".

Da questo confronto risulta che le misure delle due centraline LC sono statisticamente simili, ma statisticamente diverse da quelle effettuate dalla stazione ARPAL SFP, il cui valore medio è pari a 9,35  $\mu g/m^3$ .

Questi risultati confermano la sistematica sottostima delle centraline LC e la necessità di effettuare una calibrazione a "distanza", la cui procedura è illustrata nel paragrafo seguente.

## 2.3 Calibrazione concentrazione media giornaliera $PM_{10}$ e $PM_{2,5}$ di Arpal SFP vs centraline LC

Le concentrazioni medie giornaliere di  $PM_{10}$  e  $PM_{2,5}$  misurate dalla stazione Arpal SFP, sono state confrontate con le contemporanee misure medie giornaliere delle centraline LC, in funzione presso abitazioni di via Dino Col 26 e via Pagano Doria 10.

Il periodo monitorato per la calibrazione dei dati acquisiti dalla Centralina LC di via Dino Col è andato dal 11/08/2021 al 31/03/2022, per complessivi 233 giorni monitorati.

I due periodi monitorati per la calibrazione dei dati acquisiti dalla centralina LC di via Pagano Doria sono stati:

- > dal 03/02/2022 al 30/03/2022
- > dal 17/04/2022 al 10/05/2022,

per complessivi 78 giorni.

## 2.4 Umidità dell'aria durante i campionamenti e suo ruolo nelle calibrazioni

Per il calcolo delle correlazioni lineari tra le due serie di misure (Arpal SFP vs le due centraline LC) e per entrambe le classi granulometriche ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ ), si sono utilizzate:

- 1) tutte le misure giornaliere
- 2) le misure giornaliere, con umidità relativa  $\leq 75\%$
- 3) le misure giornaliere, con umidità relativa  $\leq 70\%$

L'umidità media giornaliera a Genova, durante i campionamenti è stata desunta dall'Archivio Meteo Genova di ILMETEO.it<sup>2</sup>

Il confronto delle correlazioni lineari di campionamenti, effettuati con diversi livelli di umidità relativa dell'aria, è stato fatto per confermare le possibili interferenze di elevate umidità durante il campionamento, come segnalato dalle specifiche del sensore SDS011.

Questa limitazione è dovuta alla possibilità che un'elevata umidità dell'aria possa indurre la formazione di microgocce di vapor acqueo condensato (nebbia, caligine) che, il sensore a diffusione laser, "conta", erroneamente come particelle solide.

TABELLA 3. CORRELAZIONE TRA MISURE GIORNALIERE DI  $PM_{10}$  E  $PM_{2,5}$  PRESSO STAZIONE ARPAL SFP VS CENTRALINA LC DINO COL

Selezione misure	N	$PM_{10}$		$PM_{2,5}$	
Tutte le misure	273	$Y = 1,10 X - 2,2$	$R^2 = 0,67$	$Y = 1,10 X - 2,5$	$R^2 = 0,84$
Misure con UR $\leq 75\%$	165	$Y = 0,61 X + 7,4$	$R^2 = 0,74$	$Y = 1,14 X - 2,8$	$R^2 = 0,85$
Misure con UR $\leq 70\%$	128	$Y = 0,63 X + 6,6$	$R^2 = 0,81$	$Y = 0,70X + 3,6$	$R^2 = 0,86$

N = numero di campioni giornalieri utilizzati

Y = concentrazione media giornaliera di  $PM_{10}$  e  $PM_{2,5}$  misurati da ARPAL SFC

X = concentrazione media giornaliera di  $PM_{10}$  e  $PM_{2,5}$  misurati da LC Dino Col

TABELLA 4. CORRELAZIONE TRA MISURE GIORNALIERE DI PM<sub>10</sub> E PM<sub>2,5</sub> PRESSO STAZIONE ARPAL SFP VS CENTRALINA LC PAGANO DORIA

Selezione misure	N	PM <sub>10</sub>		PM <sub>2,5</sub>	
Tutte le misure	96	Y= 0,85 X +1,4	R <sup>2</sup> = 0,69	Y = 0,90 X - 3,7	R <sup>2</sup> = 0,79
Misure con UR<= 75%	61	Y= 0,84 X + 5,2	R <sup>2</sup> = 0,74	Y = 0,86 X + 7,4	R <sup>2</sup> = 0,80
Misure con UR<= 70%	50	Y= 0,79X + 8,5	R <sup>2</sup> = 0,80	Y = 0,86 X + 7,4	R <sup>2</sup> = 0,81

N = numero di campioni giornalieri utilizzati

Y = concentrazione media giornaliera di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> misurati da ARPAL SFC

X = concentrazione media giornaliera di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> misurati da LC PaganoDoria

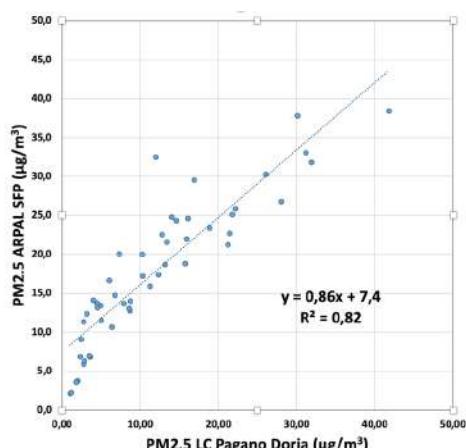
Le Tabelle 3 e 4, mostrano che, in entrambi i siti che ospitano le centraline LC, mettendo a confronto le misure della stazione di riferimento ARPAL SFP con quelle delle centraline LC, gli R<sup>2</sup> delle correlazioni lineari di misure di polverosità effettuate con bassa umidità relativa (<= 70%), aumentano, rispetto a correlazioni lineari effettuate tra campioni prelevati in condizioni di maggiore umidità dell'aria.

Pertanto, con umidità relativa <= al 70%, le misure di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> registrate dalla stazione di riferimento ARPAL SFP sono, a livello statistico accettabile, linearmente correlate con le contemporanee misure effettuate da entrambe le Centraline LC.

La Figura 3 mostra, come esempio, la correlazione lineare trovata tra le misure giornaliere di PM<sub>2,5</sub> effettuate presso il sito della LC via Pagano Doria e quello della stazione ARPAL SFP, nelle giornate con UR <= 70%.

Tuttavia, nonostante l'esclusione delle misure effettuate con elevata umidità relativa, entrambe le centraline LC, sistematicamente, sottostimano le contemporanee misure di ARPAL SFC, con le stesse modalità evidenziate dalle precedenti calibrazioni effettuate a Genova (Valerio, 2023).

FIGURA 5.  
CORRELAZIONE LINEARE TRA LE CONCENTRAZIONI  
GIORNALIERE DI PM<sub>2,5</sub> REGISTRATE DALLA STAZIONE  
ARPAL SFP VS CENTRALINA LC PAGANO DORIA.  
QUARANTOTTO MISURE, EFFETTUATE DAL 07/02/2022  
AL 10/05/2022, CON UR <= 70%.



Le equazioni lineari in grassetto, riportate nelle Tabelle 3 e 4, applicate alle misure medie giornaliere fornite dalla Centraline LC, permettono, di ridurre l'errore e di migliorare l'accuratezza delle misure delle centraline LC.

La procedura da adottare, per calcolare la concentrazione corretta di polveri è quella di sostituire la X delle equazioni lineari in grassetto, con le concentrazioni giornaliere di  $PM_{10}$  e  $PM_{2,5}$ , stimate dalle rispettive centraline LC.

In questo modo, il valore di Y trovato, corrisponde a quello della concentrazione corretta, tramite calibrazione.

## 2.5 Accuratezza della LC Pagano Doria e direzione del vento massimo giornaliero

Per individuare una possibile spiegazione della sistematica sottostima delle misure delle centraline LC, rispetto a quelle ARPAL di riferimento, si è voluto indagare sul ruolo della direzione prevalente del vento durante i campionamenti e, quindi sulle caratteristiche delle fonti emissive sopravento alle stazioni ARPAL e alle centraline LC.

Genova, come tutte le città portuali, specialmente nel periodo estivo, è caratterizzata da un locale regime di brezze: venti di debole intensità che, durante il giorno (brezza di mare), provengono dal mare e vanno verso l'entroterra, e durante la notte (brezza di terra), provengono dall'entroterra e vanno verso il mare aperto.

Nel periodo invernale, come mostra la Figura 5, sono prevalenti venti "sinottici", originati da fenomeni meteo su area vasta, che provengono dal quadrante nord, in particolare da Nord-Nord-Est (NNE), caratterizzati da lunga durata ed elevata intensità (tramontana).

La Figura 6 mostra la "Rosa dei Venti", la distribuzione annuale della direzione di provenienza dei venti a Genova, in corrispondenza della sua area portuale.

La lunghezza di ogni triangolo è proporzionale alla durata dell'evento, al numero di ore che il vento ha soffiato da ognuno dei settori riportati in figura, corrispondenti alle direzioni prevalenti.

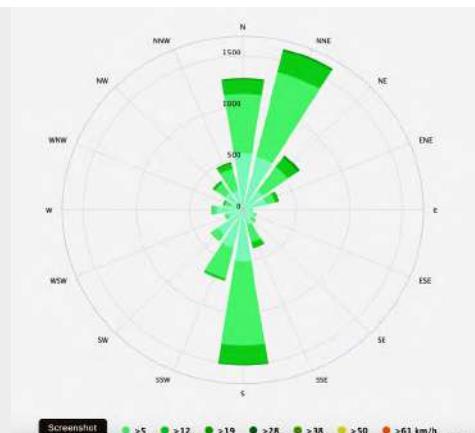


FIGURA 6.  
"ROSA DEI VENTI" A GENOVA. DISTRIBUZIONE ANNUALE DELLA DIREZIONE DI PROVENIENZA DEI VENTI E LORO INTENSITÀ.

Pertanto, a Genova, nell'arco dell'anno, la prevalente direzione di provenienza dei venti è dal quadrante Nord: da Nord Ovest (NW) a Nord Est (NE).

Seguono i venti dal quadrante Sud: da Sud Ovest (SW) a Sud Est (SE).

A causa dell'orientamento dell'area urbana genovese (Figura 1 e 2), sono i venti provenienti dal quadrante Sud, presenti annualmente per circa il 60% del tempo, a trasportare le emissioni navali verso la terraferma e i quartieri costruiti lungo la costa e sulle colline.

Come accennato, sia come venti "sinottici", che come brezze marine locali, i venti provenienti dal quadrante Sud, dal Porto, sono più frequenti d'estate, proprio quando, ai moli della Stazione Marittima, attraccano, in maggior numero, navi da crociera e traghetti.

Poiché è noto che le emissioni navali hanno caratteristiche chimiche (Chianese, 2021) diverse da quelle urbane e da traffico (Wiacek, 2018; Alföldy, 2013) (Gregoris, 2021), abbiamo avviato uno studio preliminare per verificare se l'accuratezza delle Centraline LC possa dipendere dalla direzione del vento e di conseguenza dalle fonti prevalenti delle polveri fini: fonte urbana con venti da Nord, fonte portuale con venti da Sud.

## 2.6 Classificazione dei campioni giornalieri in base alla direzione dei venti di "massima intensità".

Per una preliminare selezione delle direzioni prevalenti del vento, durante i giorni di campionamento delle polveri, si sono utilizzate le informazioni meteo di ARPAL.<sup>3</sup>

In particolare, è stata usata la direzione dei venti di massima intensità, registrata nelle 24 ore, presso la stazione meteorologica del Porto Antico.

Questa direzione è stata utilizzata come variabile "proxi", indicativa della direzione prevalente del vento durante ogni campionamento giornaliero di polveri sottili e ultrasottili, effettuato da ARPAL SFP e dalle due centraline LC da calibrare, dal 12 maggio al 6 luglio 2023, per complessivi 56 giorni.

Le direzioni dei venti di massima intensità, sono state raggruppate in quattro quadranti, come da Tabella 5.

Nella Tabella 5 e 6 sono anche riportate le equazioni lineari trovate mettendo a confronto le misure ARPAL e LC, registrate nelle giornate con diverse direzione dei venti di massima intensità e i corrispondenti R<sup>2</sup>.

TABELLA 5. CORRELAZIONE TRA MISURE GIORNALIERE DI PM<sub>2,5</sub> PRESSO STAZIONE ARPAL SFP VS CENTRALINA LC PAGANO DORIA, IN BASE ALLA DIREZIONE DEI VENTI DI MASSIMA INTENSITÀ

Quadrante	Limiti quadranti	Correlazione	N	R <sup>2</sup>
Nord	da NO a NE	Y = 1,3 X + 3,2	6	0,86
Est	da NE a SE	Y = 1,6 X + 1,2	21	0,87
Sud	da SE a SW	Y = 0,6 X + 6,0	13	0,21
Ovest	da SO a NW	Y = 1,3 X + 2,1	11	0,85

N = numero di campioni giornalieri utilizzati

Y = concentrazione media giornaliera di PM<sub>2,5</sub> misurati da ARPAL SFC

X = concentrazione media giornaliera di PM<sub>2,5</sub> misurati da LC Pagano Doria

TABELLA 6. CORRELAZIONE TRA MISURE GIORNALIERE DI PM<sub>10</sub> PRESSO STAZIONE ARPAL SFP VS CENTRALINA LC PAGANO DORIA, IN BASE ALLA DIREZIONE DEI VENTI DI MASSIMA INTENSITÀ

<b>Quadrante</b>	<b>Limiti quadranti</b>	<b>Correlazione lineare</b>	<b>N</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
Nord	da NO a NE	Y = 1,4 X + 5,5	7	0,83
Est	da NE a SE	Y = 1,1 X + 6,3	21	0,89
Sud	da SE a SO	Y = 0,4 X + 11,5	14	0,39
Ovest	da SO a NO	Y = 1,3 X + 2,1	11	0,85

N = numero di campioni giornalieri utilizzati

Y = concentrazione media giornaliera di PM<sub>10</sub> misurati da ARPAL SFC

X = concentrazione media giornaliera di PM<sub>10</sub> misurati da LC PaganoDoria

Le Tabelle 5 e 6 mostrano che, con venti di massima intensità giornaliera provenienti dal quadrante Sud, le misure ARPAL e LC non sono linearmente correlate, mentre una accettabile correlazione lineare si trova con venti “dominanti” provenienti da altre direzioni.

Questo risultato, che sarà opportuno valutare con una più precisa descrizione delle caratteristiche dei venti dominanti e per un periodo stagionale più rappresentativo delle caratteristiche meteo annuali, segnala come la direzione del vento possa avere un ruolo sulla accuratezza delle misure delle centraline LC.

Con venti “veloci”, provenienti da Sud, e quindi dall’area portuale, nel sito che ospita la centralina LC Pagano Doria, quella a maggiore distanza dai moli, si registra una bassa correlazione con le contemporanee misure della Stazione ARPAL SFP, con valori delle intercette, particolarmente alti: con basse concentrazioni di polveri fini e ultrafini, la centralina LC Pagano Doria, sottostima la concentrazione “vera”, da 6 a 12 µg/m<sup>3</sup>.

È un valore dell’intercetta, doppia rispetto a quello trovato, con venti dominanti da Nord.

Degno di attenzione anche il fatto che, con venti provenienti da quadranti diversi da quello Sud, anche se si sono trovate correlazioni lineari significative, si continua a registrare una costante sottostima delle concentrazioni misurate dalle centraline LC.

Questi risultati, potrebbero trovare una spiegazione dall’effetto interferente esercitato dalle “polveri nere” (*black carbon*) sul sistema di misura laser scattering, utilizzato dal sensore SDS011.

Polveri di black carbon sono certamente presenti in ambito portuale ed è possibile che, con venti da Sud, a seconda della loro intensità, le concentrazioni di black carbon, siano molto elevate e in quantità molto variabile a seconda dell’area di impatto dei fumi convogliati, emessi dalle navi.

### 3. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

L’esperienza genovese ha confermato l’opportunità che l’accuratezza delle centraline LC, sia verificata anche con il confronto con stazioni di riferimento certificate (ARPA o Centri di Ricerca) anche poste a distanza, ma con simile classificazione, per quanto riguarda le caratteristiche del sito e della fonte d’inquinamento prevalente, oggetto di monitoraggio (porto, traffico...).



FIGURA 7. CENTRALINA LC, ESPOSTA SU UN BALCONE, CON COPERTURA ALETTATA IN ALLUMINIO PER DISPERDERE IL CALORE E PROTEGGERE DALLA PIOGGIA LA "PRESA" D'ARIA.



FIGURA 7A. SCREEN SHOT DALLA PAGINA FB, SENTINELLE DELL'ARIA, CHE DOCUMENTA UNA ANOMALIA EMISSIONE DI FUMI DI UN TRAGHETTO NEL PORTO DI GENOVA, AVVENUTA IL 2 OTTOBRE 2023, INTORNO ALLE ORE 19. LA RIPRESA È STATA EFFETTUATA DA UN'ABITAZIONE IN LARGO SAN FRANCESCO DA PAOLA

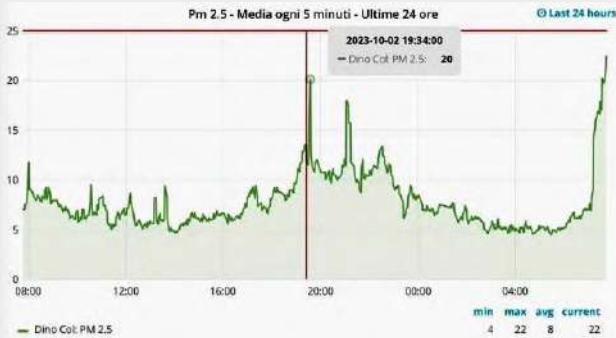


FIGURA 8B.  
MISURE IN CONTINUO DI PM<sub>2,5</sub> DELLA CENTRALINA LC DINÒ COL DALLE ORE 8 DEL 2 OTTOBRE 2023 ALLE 8 DEL 3 OTTOBRE. IN CORRISPONDENZA DELLE ORE IN CUI È STATA RIPRESA LA "FUMATA" LA CENTRALINA LC DINÒ COL DI FRONTE AL TRAGHETTO, REGISTRA UN RAPIDO RADDOPPIO DELLE CONCENTRAZIONI DI PM<sub>2,5</sub>.

In aree pianeggianti, la distanza tra stazione di riferimento e centralina LC non dovrebbe essere una variabile importante. Invece, in zone collinari è importante che i due sistemi di misura si trovino in un ambito geografico simile: all'interno della stessa valle, ad altezze simili, rispetto al livello del mare.

È opportuno che questo confronto sia effettuato in diversi periodi stagionali, almeno un mese di misure continue in estate e in inverno, al fine di valutare l'effetto, sulla accuratezza delle misure, delle principali variabili stagionali, quali umidità dell'aria, temperatura dell'aria e il riscaldamento, indotto sull'elettronica, dall'esposizione a radiazioni solari.

Come è stato fatto in questo studio, l'idoneità della stazione di misura di riferimento può essere decisa anche in base alla linearità delle misure messe a confronto.

Come è stato dimostrato, qualora si ritenga opportuno effettuare una calibrazione delle centraline LC, per stabilire l'equazione lineare da utilizzare per la calibrazione, bisogna ricorrere alle misure effettuate in giorni con umidità relativa <= al 70%.

Ovviamente, misure "calibrate", ottenute in giorni caratterizzati da elevata umidità relativa (< 70%) e in particolare con nebbia e "caligo", devono essere interpretate con cautela, in quanto, probabilmente sovrastimano il valore "vero".

Con centraline posizionate vicino al mare, durante forti mareggiate, le centraline LC possono registrare, specialmente nelle PM<sub>10</sub>, il contributo dell'aerosol marino, una interferenza che gli strumenti ufficiali minimizzano, con opportuni accorgimenti.

Gli effetti sull'accuratezza della variabile temperatura (dell'aria e all'interno dello strumento) deve essere minimizzata, posizionando la centralina LC in una zona che sia in ombra nel periodo estivo o, in alternativa, coprendo il contenitore della centralina con un "parasole", meglio se metallico, che potrebbe anche avere la funzione di riparare dalla pioggia il tubo di campionamento (Figura 7).

La nostra esperienza ha dimostrato che, senza calibrazione, le centraline LC hanno uno scostamento medio pari al 47- 48% rispetto alle misure effettuate da strumentazione certificata. Con la "calibrazione" a distanza, effettuato con il metodo illustrato in questo articolo, lo scostamento medio si riduce al 22%, un valore da ritenere accettabile per gli obiettivi che si pone una rete come la ReMoPop di Genova.

Uno di questi obiettivi è ben illustrato dalle Figure 8a e 8b, che riportano la segnalazione fotografica di una anomala emissione di fumo da parte di un traghetto ormeggiato davanti alla via Dino Col, a cui corrisponde un contemporaneo aumento delle concentrazioni di PM<sub>2,5</sub> registrate dalla centralina LC Dino Col, non ancora calibrata.

## BIBLIOGRAFIA

- Alföldy, B., Lööv, J. B., Lagler, F., Mellqvist, J., Berg, N., Beecken, J., ... & Hjorth, J. (2013). *Measurements of air pollution emission factors for marine transportation in SECA*. Atmospheric Measurement Techniques, 6(7), 1777-1791.
- Chianese, E., Tirimberio, G., Appolloni, L., Dinoi, A., Contini, D., Di Gilio, A., ... & Riccio, A. (2021). *Chemical characterisation of PM 10 from ship emissions: A study on samples from hydrofoil exhaust stacks*. Environmental Science and Pollution Research, 1-14.
- Gregoris, E., Morabito, E., Barbaro, E., Feltracco, M., Toscano, G., Merico, E., ... & Gambaro, A. (2021). *Chemical characterization and source apportionment of size-segregated aerosol in the port-city of Venice (Italy)*. Atmospheric Pollution Research, 12(2), 261-271.
- Wiacek, A., Li, L., Tobin, K., & Mitchell, M. (2018). *Characterization of trace gas emissions at an intermediate port*. Atmospheric Chemistry and Physics, 18(19), 13787-13812.
- Valerio, F., Gherzi, F. (2023). *Accuratezza e precisione delle misure di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> effettuate in ambito urbano, con mini-centraline dotate di sensore SDS011*. Quaderno N° 5, Dicembre 2023. Esperienze di Citizen Science "Conoscenze e strumenti per "sentinelle dell'aria"" (pp. 85-102).

## SITOGRAFIA

1. [https://opas-liguria.arpal.liguria.it/str\\_dataview\\_station/1373](https://opas-liguria.arpal.liguria.it/str_dataview_station/1373).
2. [https://www.ilmeteo.it/portale/archivio-meteo/Genova/2021/Novembre?refresh\\_ce](https://www.ilmeteo.it/portale/archivio-meteo/Genova/2021/Novembre?refresh_ce)
3. <https://ambientepub.regione.liguria.it/SiraQualMeteo/script/PubAccessoDatiMeteo.asp>



# Inquinamento atmosferico da particelle ultrafini prodotte dalle attività navali nei porti italiani

**Kare Press-Kristensen**

Consulente senior per la qualità dell'aria e il clima

Green Transition Denmark

## Riassunto

*Misurazioni preliminari dell'inquinamento atmosferico da polveri ultrasottili ( $PM_{0,1}$ ) emesse da navi da crociera e traghetti, sono state effettuate in quattro città portuali italiane: Genova, Livorno, Piombino, Civitavecchia. Scopo di questo studio è stato quello creare attenzione e consapevolezza sull'inquinamento atmosferico causato, in Italia, dal trasporto marittimo.*

*Lo studio ha rilevato che le emissioni di polveri ultrasottili delle grandi navi possono causare, nelle città portuali italiane, lo stesso intenso inquinamento atmosferico osservato in altre città portuali. La soluzione a questo problema e ai suoi possibili effetti sulla salute della popolazione esposta, è costruire sistemi di alimentazione elettrica da terra per evitare che traghetti e navi da crociera attraccati ai moli, debbano tenere in funzione i loro generatori. Inoltre, andrebbero incentivati i traghetti completamente elettrici (alimentati a batteria). In mare, l'inquinamento provocato dalle navi sarà significativamente ridotto introducendo un'area di controllo completo delle emissioni nel Mar Mediterraneo (ECA) per lo zolfo (già deciso, ma non implementato) e per gli Ossidi di Azoto (non ancora deciso), come le ECA di successo, realizzate nel Nord Europa e negli Stati Uniti.*

## Parole chiave

Inquinamento atmosferico | Emissioni portuali | Polveri ultrasottili | Area di controllo delle emissioni

## 1. INTRODUZIONE

Le misurazioni riportate in questo articolo sono state effettuate nell'ambito del progetto LIFE dell'UE: LIFE4MEDECA, con lo scopo di istituire un'Area di Controllo delle Emissioni del Mar Mediterraneo (ECA) per ridurre le emissioni di inquinanti atmosferici, provenienti dalle navi, dannosi per la salute e per il clima. Lo scopo del monitoraggio della qualità dell'aria nelle città portuali è quello di mettere la scienza a servizio dei cittadini, documentando gli effetti, sulla qualità dell'aria, dell'inquinamento prodotto dalle navi e creando, in questo modo, consapevolezza

su questo problema e coinvolgendo il pubblico nel dibattito in corso sulle soluzioni da adottare per ottenere aria pulita.

Secondo l'Agenzia Europea dell'Ambiente, l'inquinamento atmosferico causa, in Italia, circa 65.000 morti ogni anno<sup>1</sup>.

L'inquinamento atmosferico, con ossidi di zolfo ( $\text{SO}_x$ ), ossidi azoto ( $\text{NO}_x$ ) e particolato, proveniente dalla attività di navigazione nel Mar Mediterraneo è una importante causa di peggioramento della qualità dell'aria, che contribuisce significativamente all'aumento di morbilità e di mortalità e alla formazione di piogge acide che danneggiano il patrimonio culturale, le coltivazioni e la natura nel Mediterraneo (Viana, 2014).

Inoltre, la  $\text{CO}_2$  e la fuligine (*black carbon*), provenienti dalle navi, contribuiscono significativamente al cambiamento climatico (Eyring, 2010).

L'approvazione di un'Area per il Controllo delle Emissioni (Emission Control Area: ECA) per  $\text{SO}_x$  e  $\text{NO}_x$  nel Mar Mediterraneo<sup>2</sup> potrebbe minimizzare l'inquinamento atmosferico regionale causato dalle navi. Ciò porterebbe benefici a tutte le società mediterranee e potrebbe proteggere le popolazioni del Mediterraneo dall'inquinamento delle navi, come avviene nell'Area dell'Europa settentrionale con il Controllo delle Emissioni (Emission Control Area: ECA), dove un'ECA dello zolfo è stata attuata nel 2007, seguita da un'ECA per gli ossidi di azoto, nel 2021<sup>3</sup>.

I monitoraggi della qualità dell'aria, effettuati in alcune città portuali italiane, nell'ambito di questo progetto, si sono concentrati principalmente sulle emissioni di polveri ultrasottili da parte di navi da crociera e di traghetti.

Le navi da crociera sono grandi hotel galleggianti, con un consumo energetico molto elevato anche quando sono ormeggiate alle banchine e pertanto, tenendo continuamente in funzione i loro generatori, emettono  $\text{NO}_x$  e particolato in quantità equivalente a quello emesso da migliaia di automobili.

I traghetti influenzano significativamente la qualità dell'aria locale, a causa dei loro frequenti arrivi/partenze e dei loro pernottamenti in sosta nei porti, con i motori sempre tenuti al minimo.

La maggior parte delle navi da crociera e dei traghetti attraccati ai moli bruciano olio combustibile, contenente cento volte più zolfo del gasolio stradale e spesso si trovano attraccati vicino a centri urbani densamente popolati.

Pertanto, nelle città portuali, le brezze di mare espongono intere comunità a un pesante inquinamento atmosferico, a causa delle emissioni convogliate provenienti da traghetti e navi da crociera.

Le particelle aeriformi emesse dai fumaioli delle navi consistono, principalmente, in particelle ultrafini ( $\text{PM}_{0,1}$ ), con un diametro inferiore a 0,1 micrometro (100 nanometri). A causa delle loro ridotte dimensioni, queste particelle possono penetrare in profondità negli alveoli polmonari e da qui passare direttamente nel flusso sanguigno. Le particelle ultrafini sono in prevalenza composti da residui carboniosi che, una volta emessi in atmosfera, a causa della loro elevata superficie specifica, assorbono grandi quantità di composti organici volatili e persistenti, sottoprodotto di combustioni incomplete, quali gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA)<sup>4</sup>, composti classificati come cancerogeni di livello 1, dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (Straif, 2005).

L'inquinamento da particolato ultrafine aumenta il rischio di cancro, induce la formazione di coaguli del sangue, emorragie cerebrali, malattie cardiovascolari, bronchiti, asma (Schraufnagel 2020).

Le particelle ultrafini ( $PM_{0,1}$ ) emesse dalle navi in mare aperto, prima di raggiungere la terra, si aggregano (Huien, 2021) in particelle fini di dimensioni maggiori ( $PM_{2,5}$ ) che, a causa della loro elevata tossicità, dovrebbero essere monitorate, insieme a  $SO_2$  e  $NO_x$ .

## 2. CRITERI E METODI ADOTTATI PER MISURARE L'IMPATTO PRODOTTO DALLE EMISSIONI NAVALI

Il particolato ultrafine è stato misurato con il contatore di particelle portatile P-Trak, modello 8525, della TSI5. Questo strumento misura, ogni secondo, il numero di particelle ultrafini ( $PM_{0,1}$ ) presenti in centimetro cubo d'aria.

Per ridurre le fluttuazioni e le concentrazioni di picco, nella Tabella 1 e nelle Figure 2 e 3, si sono usate le misure mediate su un minuto di campionamento continuo.

Complessivamente, in ciascun sito scelto per il monitoraggio, il campionamento di polveri ultrafini si è protratto per circa un'ora.

Come previsto dalle procedure, il contatore di particelle è stato calibrato prima e dopo ogni misura, a conferma della loro accuratezza.

La velocità/direzione del vento locale, l'umidità e la temperatura, durante i campionamenti sono state misurate con un WindMate 350. Queste misure sono state confrontate con le previsioni meteorologiche locali ufficiali.

Il particolato ultrafine emesso dalle navi da crociera e traghetti è stato misurato, nel 2021, nelle seguenti città portuali italiane:

- Civitavecchia, 30 settembre, 1° ottobre, 6 ottobre.
- Genova, 4 ottobre.
- Livorno, 5 ottobre.
- Piombino, 6 ottobre.

Come confronto, si sono misurate anche concentrazioni di polveri ultrasottili in prossimità di flussi di traffico, nel centro di Roma (Esquilino), durante un'ora di punta (intorno alle 16.00 di giovedì, 7 ottobre).

### 2.1 Modalità di dispersione delle emissioni convogliate in uscita dalle navi

L'inquinamento atmosferico derivante dalle navi da crociera e dai traghetti è causato dalle emissioni di fumi, convogliati dai loro fumaioli, la cui bocca di uscita fumi è posta a molti metri sopra il livello del mare. I fumi in uscita dal fumaiolo sono molto caldi e per questo motivo si innalzano verso l'alto finché non si raffreddano, raggiungendo la temperatura dell'aria circostante.

La Figura 1 mostra, schematicamente, come si disperdoni i fumi emessi da un fumaiolo, in base alla velocità del vento e alla distanza dal punto di emissione:

- > In condizioni di calma di vento, i fumi si diffondono in tutte le direzioni, per dispersione.

- > In presenza di vento, il pennacchio di fumo si muove nella direzione del vento e si espande perpendicolarmente alla direzione del vento.
  - L'espansione del pennacchio avviene rapidamente, a velocità del vento elevate ( $> 7 \text{ m/s}$ , a causa dell'elevata turbolenza), e la parte inferiore del pennacchio di fumo, quella in cui il fumo è più diluito, raggiunge il suolo a poche centinaia di metri dalla nave.
  - A basse velocità del vento (velocità del vento  $< 4 \text{ m/s}$ ) l'espansione del pennacchio avviene lentamente e il pennacchio, con fumi più concentrati, raggiunge il livello del suolo a diversi chilometri dalla nave. Quindi, con queste condizioni meteo, le navi sono in grado di inquinare le aree centrali delle città, anche a notevole distanza dalla loro ubicazione nel porto.

In città portuali, con aree collinari vicine al porto, come a Genova, l'impatto delle emissioni navali sulle aree abitate può avvenire a breve distanza e quindi con pennacchi di fumi più concentrati.

## 2.2 Criteri per la scelta dei punti di campionamento di polveri ultrafini

Poiché è molto difficile localizzare e quantificare l'impatto al suolo di emissioni navali a diversi chilometri di distanza dal porto e nei centri urbani, dove sono presenti molte altre fonti di inquinamento, come traffico veicolare e riscaldamento domestico, come mostra la Figura 1, **le migliori condizioni meteo per misurare l'impatto dell'inquinamento navale sono quelle con alte velocità del vento sulla terraferma**.

In questo caso, le ricadute al suolo dei fumi navali avvengono a poche centinaia di metri di distanza, spesso in ambito portuale, non influenzato da altre fonti di inquinamento.

Le Figure 2 e 3 mostrano la dispersione dei fumi di navi nel porto di Genova, in assenza di vento (Figura 2) e con vento di bassa velocità (Figura 3).

Se possibile, le misurazioni delle polveri devono essere effettuate sia sopravvento alla nave (dove la qualità dell'aria non è influenzata dalle emissioni inquinanti della nave), sia sottovento alla nave (con l'aria inquinata dalle emissioni della nave).

Misurazioni senza la presenza di navi in porto, possono sostituire le misurazioni sopravento. Le misurazioni delle ricadute di emissioni navali, con venti provenienti da terra, richiedono l'uso una barca, per posizionare il campionatore sotto vento alla nave e ai suoi fumi.

## 2.3 Linee guida dell'OMS per esposizione a particelle ultrafini

L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) indica le seguenti linee guida per esposizione a particelle ultrafini: 1.000 particelle per  $\text{cm}^3$  è considerato un livello di esposizione basso, mentre livelli superiori a 20.000 particelle per  $\text{cm}^3$  (media oraria) e 10.000 particelle per  $\text{cm}^3$  (media giornaliera) sono livelli di esposizione elevati e dovrebbero essere evitati<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Air quality guidelines 2021, pg. 151, <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>

FIGURA 1.  
DISPERSONE TEORICA  
DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO  
DA UNA NAVE, IN BASE ALLE  
VELOCITÀ DEL VENTO. SOTTOVENTO  
AI FUMAIOLI, CON VELOCITÀ DEL  
VENTO MAGGIORE DI 7 METRI AL  
SECONDO, GLI INQUINANTI EMESSI  
RICADONO AL SUOLO A BREVE  
DISTANZA DAI MOLI.

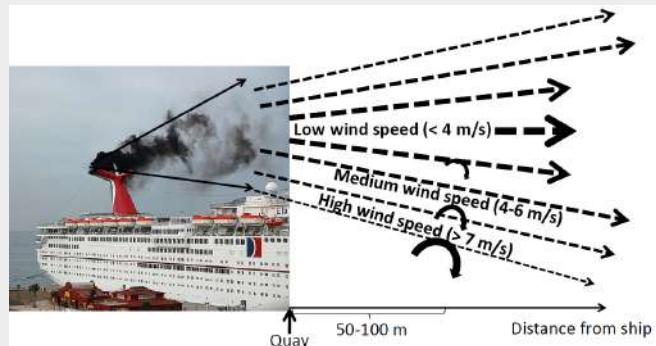


FIGURA 2.  
IN ASSENZA DI VENTO,  
L'INQUINAMENTO PRODOTTO  
DALLE NAVI SI DISPERDE IN  
TUTTE LE DIREZIONI, INQUINANDO  
PREVALENTEMENTE L'AREA  
PORTUALE. PORTO DI GENOVA, 2016.



FIGURA 3.  
CON VENTI A BASSA VELOCITÀ, IL  
PENNACCHIO DI FUMO CHE ESCE  
DAI FUMAIOLI RIMANE COMPATTO  
E L'INQUINAMENTO, AD ALTA  
CONCENTRAZIONE, PUÒ RICADERE  
AL SUOLO A DIVERSI CHILOMETRI DI  
DISTANZA DALLA NAVE. PORTO DI  
GENOVA, 2016.



## 2.4 Risultati delle misure

L'umidità e la temperatura, durante i campionamenti di polveri ultrafini sono sempre stati nell'intervallo di validità dell'apparecchiatura di misurazione.

Purtroppo, le condizioni del vento, non idonee al metodo di campionamento delle emissioni navali, hanno reso impossibile la misurazione dell'inquinamento a Civitavecchia il 30 settembre e, come previsto, a Savona.

La velocità del vento molto variabile ha anche reso difficili le misure a Genova, costringendo a ridurre la durata del cambiamento.

A Civitavecchia (6 ottobre), a Livorno e Piombino, le condizioni meteo hanno permesso di effettuare con successo le previste misure preliminari della qualità dell'aria, derivante dalla presenza di polveri ultrasottili prevalentemente derivanti da emissioni navali.

I risultati delle misurazioni sono riassunti nella Tabella 1 e sono disponibili brevi filmati delle misure fatte con il contatore di particelle a Piombino e nel centro di Roma<sup>a</sup>.

TABELLA 1 CONCENTRAZIONE DI POLVERI ULTRASOTTILI (NUMERO DI PARTICELLE PM<sub>0,1</sub>/ CM<sup>3</sup>) IN QUATTRO CITTÀ PORTUALI ITALIANE E NEL CENTRO DI ROMA, MISURATE DURANTE IL MESE DI OTTOBRE DEL 2021.

		Data Misura	Fonte emissione	Numero medio di particelle/cm <sup>3</sup>	Direzione: velocità del vento
Civitavecchia	Fondo urbano	01/10	..	1.600	Ovest: 1-2 m/s
	Con fumi nave	06/10	traghetto	<b>71.650</b>	Ovest: 8-9 m/s
Civitavecchia	Fondo urbano	01/10	..	2.250	Ovest: 1-2 m/s
	Con fumi nave	06/10	nave crociera	<b>60.550</b>	Ovest: 8-9 m/s
Genova	Fondo mare	04/10	..	2.350	Est: 6-10 m/s
	Con fumi nave	04/10	nave crociera	<b>82.400*</b>	
Livorno	Fondo mare	05/10	..	1.250	Sud-Ovest 9-12 m/s
	Con fumi nave	05/10	traghetto	50.650	
Piombino	Fondo mare	06/10	..	2.150	Ovest: 6-8 m/s
	Con fumi nave	06/10	traghetto	<b>45.550</b>	
<b>Roma centro urbano</b>	<b>Traffico veicolare intenso</b>	07/10	autoveicoli	<b>7.100</b>	Variabile: 4-5 m/s

.. LE MISURE DELL'INQUINAMENTO DI FONDO, EFFETTUATE A TERRA E IN MARE, SI RIFERISCONO A PUNTI IN CUI NESSUNA NAVE PROVOCAVA INQUINAMENTO IN CORRISPONDENZA DEL PUNTO DI CAMPIONAMENTO.

\* NUMERO LIMITATO DI MISURE (240 MISURE), A CAUSA DI ELEVATA VARIABILITÀ DI DIREZIONE E VELOCITÀ DEL VENTO.

La Tabella 1 mostra che, in ambito urbano e sul mare, in punti non influenzati da fonti di inquinamento locale, l'aria delle città portuali italiane contiene in media circa 1.250-2.250 particelle per cm<sup>3</sup>. Sono livelli di polverosità che possono essere considerati bassi.

In confronto, sottovoento alle emissioni inquinanti di navi da crociera e di traghetti, l'aria contiene in media 45.000-80.000 particelle per cm<sup>3</sup>, con venti piuttosto forti e il pennacchio di inquinamento proveniente dalle navi, alquanto diluito, a causa della dispersione in aria.

La Figura 4 mostra i grafici degli andamenti delle misurazioni di polveri ultrasottili effettuate il 1 e il 6 ottobre a Civitavecchia; la Figura 5 mostra una simile misura effettuata il 5 ottobre a Livorno.

Le fluttuazioni delle concentrazioni di polveri ultrasottili misurate sottovento alle navi sono dovute a turbolenze e a raffiche di vento. Per confronto, in entrambi i casi, sono mostrate le misurazioni di polveri ultrasottili effettuate nei pressi del traffico romano.

Le Figure 4 e 5 mostrano chiaramente l'influenza del vento sulla diffusione dei pennacchi inquinanti provenienti dalle navi.

Le maggiori concentrazioni di polveri sono state misurate durante periodi con velocità del vento più elevate, venti che trasportavano la parte del pennacchio dei fumi emessi dai traghetti, con la maggiore concentrazione di polveri, fino al punto di misurazione, a livello del suolo (come spiegato nella Figura 1).

Livelli estremamente elevati di inquinamento derivanti dai traghetti, diventano evidenti se confrontati con i livelli di qualità dell'aria di fondo (non influenzati dall'inquinamento locale delle navi) e con le fonti di traffico nel centro di Roma.

FIGURA 4.  
ANDAMENTO DELLE  
CONCENTRAZIONI DI POLVERI  
ULTRASOTTILI A CIVITAVECCHIA,  
DAL 1 AL 6 OTTOBRE, MISURATE  
SOTTOVENTO ALLE EMISSIONI  
DI TRAGHETTI E IN UN SITO CON  
CARATTERISTICHE DI FONDO  
URBANO. QUESTE MISURE SONO  
MESSE A CONFRONTO CON MISURE,  
DI PARI DURATA, DI POLVERI  
ULTRAFINI CAMPIONATE NEI PRESSI  
DI UNA STRADA TRAFFICATA, NEL  
CENTRO DI ROMA.

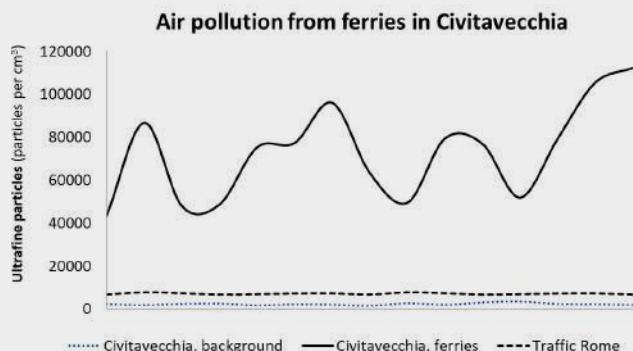
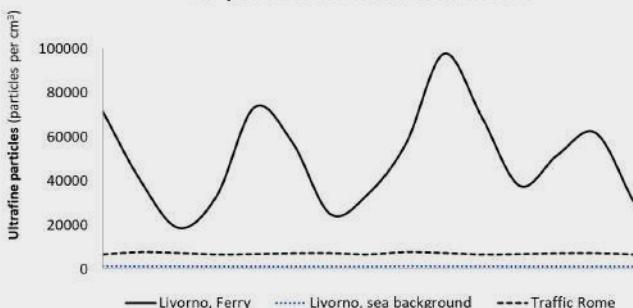


FIGURA 5.  
ANDAMENTO DELLE  
CONCENTRAZIONI DI POLVERI  
ULTRASOTTILI A LIVORNO IL 5  
OTTOBRE, MISURATE SOTTOVENTO  
ALLE EMISSIONI DI TRAGHETTI E IN  
MARE, SENZA RICADUTA PORTUALI.  
QUESTE MISURE SONO MESSE A  
CONFRONTO CON MISURE, DI PARI  
DURATA, DI POLVERI ULTRAFINI  
CAMPIONATE NEI PRESSI DI UNA  
STRADA TRAFFICATA, NEL CENTRO  
DI ROMA.



### **3. CONCLUSIONI**

Questo studio, pur con i suoi limiti, suggerisce che le emissioni di polveri ultra-sottili delle grandi navi presenti nelle città portuali italiane causano lo stesso inquinamento atmosferico osservato in altre città portuali (Viana, 2014).

Questo inquinamento aumenta certamente il rischio di morbilità e di mortalità, nelle città portuali italiane.

La soluzione a questa situazione è quella di realizzare, al più presto, sistemi di alimentazione elettrica da terra, a servizio di traghetti e di navi da crociera, per azzerare le loro emissioni durante l'attracco ai moli.

Dovrebbero anche essere incentivata la costruzione e l'uso di traghetti completamente elettrici (alimentati a batterie).

Nel Mediterraneo, l'inquinamento atmosferico, provocato dalle navi in navigazione, potrà essere significativamente ridotto introducendo un'Area di Controllo completo delle Emissioni nel Mar Mediterraneo (ECA) per lo zolfo (già deciso ma non implementato) e NO<sub>x</sub> (non ancora deciso), come le ECA di successo nel Nord Europa e negli Stati Uniti.

#### **3.1 Raccomandazioni**

In base a questi primi risultati si raccomanda all'Italia:

- > Costruire subito sistemi di alimentazione da terra per tutti i traghetti, le navi da crociera e le navi mercantili.
- > Iniziare a investire in traghetti e battelli turistici completamente elettrici come nel Nord Europa.
- > Sostegno alla designazione, presso l'IMO di un'intera area di controllo delle emissioni, nel Mar Mediterraneo.
- > Divieto dell'uso di olio combustibile pesante e di sistemi di lavaggio nelle acque territoriali, inclusi i porti.
- > Installare stazioni di monitoraggio dell'aria vicino alle case poste in prossimità alle navi da crociera e ai traghetti all'ormeggio.
- > Interrompere tutti gli investimenti nel Gas Naturale Liquefatto, poiché è un combustibile molto dannoso per il clima e senza futuro.

Oltre a migliorare la salute pubblica nelle città portuali italiane, queste azioni migliorerebbero la salute pubblica nell'intera regione del Mediterraneo, ridurrebbero il riscaldamento globale e ridurrebbero il rischio di gravi danni ambientali nel Mar Mediterraneo, dovuti allo scarico delle acque di lavaggio e dell'olio combustibile pesante<sup>7</sup>.

## BIBLIOGRAFIA

- Eyring, V., Isaksen, I.S., Berntsen, T., Collins, W.J., Corbett, J.J., Endresen, O., ... & Stevenson, D.S. (2010). *Transport impacts on atmosphere and climate: Shipping*. Atmospheric Environment, 44(37), 4735-4771.
- Huyen, T.T., Yamaguchi, R., Kurotsuchi, Y., Sekiguchi, K., Dung, N.T., Thuy, N.T.T., & Thuy, L.B. (2021). *Characteristics of chemical components in fine particles ( $PM_{2.5}$ ) and ultrafine particles ( $PM_{0.1}$ ) in Hanoi, Vietnam: a case study in two seasons with different humidity*. Water, Air, & Soil Pollution, 232(5), 183.
- Schraufnagel, Dean E. *The health effects of ultrafine particles*. Experimental & molecular medicine 52.3 (2020): 311-317.
- Straif, K., Baan, R., Grosse, Y., Secretan, B., El Ghissassi, F., & Cogliano, V. (2005). *Carcinogenicity of polycyclic aromatic hydrocarbons*. The lancet oncology, 6(12), 931-932.
- Viana, M., Hammingh, P., Colette, A., Querol, X., Degraeuwe, B., de Vlieger, I., & Van Aardenne, J. (2014). *Impact of maritime transport emissions on coastal air quality in Europe*. Atmospheric Environment, 90, 96-105.

## SITOGRAFIA

1. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/health-impacts-of-air-pollution>
2. [https://www.cittadiniperlaria.org/wpcontent/uploads/2021/05/GreenWeek\\_2021\\_Briefing\\_Italiano.pdf](https://www.cittadiniperlaria.org/wpcontent/uploads/2021/05/GreenWeek_2021_Briefing_Italiano.pdf)
3. <https://www.sustainable-ships.org/rules-regulations/eca>
4. <https://cancer-code-europe.iarc.fr/index.php/it/12-modi/inquinanti/307-inquinanti-riquadro/778-riquadro-4-idrocarburi-polliciclici-aromatici-ipa>
5. <https://tsi.com/products/indoor-air-quality-meters-instruments/indoor-air-quality-meters/p-trak-ultrafine-particle-counter-8525/>
6. Piombino, misure di fondo sul mare: [https://www.dropbox.com/s/d7iaovj8z0r293v/IMG\\_2654.MOV?dl=0](https://www.dropbox.com/s/d7iaovj8z0r293v/IMG_2654.MOV?dl=0)  
Piombino, inquinamento traghetti: [https://www.dropbox.com/s/fybsan466ptxb8m/IMG\\_2634.MOV?dl=0](https://www.dropbox.com/s/fybsan466ptxb8m/IMG_2634.MOV?dl=0)  
Traffico nel centro di Roma: [https://www.dropbox.com/s/7eexh2thsly5drd/IMG\\_2871.MOV?dl=0](https://www.dropbox.com/s/7eexh2thsly5drd/IMG_2871.MOV?dl=0)
7. Trasporto navale più pulito: [https://rgo.dk/wp-content/uploads/GTD\\_Cleaner\\_shipping\\_2021\\_Final-2.pdf](https://rgo.dk/wp-content/uploads/GTD_Cleaner_shipping_2021_Final-2.pdf)

L'ICU è una Fondazione che ha come scopo fornire alle Associazioni Consumericistiche (Federconsumatori, da cui ha avuto origine, e tutte le altre attive su scala nazionale e locale) strumenti culturali per difendere meglio diritti e interessi di consumatori e utenti.

L'ICU ha curato la pubblicazione del libro "La nuova disciplina dei diritti dei consumatori e degli utenti", commentario alla legge-quadro dei consumatori n.281 del 1998; ha sostenuto, assieme a Federconsumatori, la nascita del sito [www.avvocatideiconsumatori.it](http://www.avvocatideiconsumatori.it); ha organizzato un primo Corso di informazione e aggiornamento per dirigenti locali di associazioni dei consumatori; promuove dal 2004 il Premio ICU-Conti per tesi di laurea sul "Consumo sostenibile".

I quaderni ICU sono usciti dal 1998 al 2005. Dal 2006 pubblica la collana dei Libri dei Consumatori, di cui questo è il numero 16. Anche il prossimo, a cura di Marinella Correggia, relativo all'alimentazione, esce nel 2024.

La Fondazione è retta da un Consiglio d'Amministrazione composto da Michele Boato Presidente, Anna Ciaperoni, Giulio Labbro Francia, Paolo Stevanato e Marinella Correggia. La Fondazione ICU sostiene ricerche su vari temi, i cui risultati vengono presentati in convegni o conferenze stampa e pubblicati nei Quaderni ICU e nei Libri dei Consumatori.

## QUADERNI ICU

- 1 Ugo Ruffolo - BIOTECNOLOGIE. STRUMENTI DI TUTELA DEL CONSUMATORE, 1998
- 2 Antonio Casella, Rodolfo Tosetti - RISORSE IDRICHE. INTERESSI DEI CONSUMATORI, 1999
- 3 Pietro Maria Putti - R.C. AUTO, CLAUSSOLE ABUSIVE, 1999
- 4 Rosaria Garozzo, Ugo Ruffolo - PUBBLICITÀ INGANNEVOLE. COME DIFENDERSI, 2000
- 5 Paolo Stevanato - PUBBLICITÀ INGANNEVOLE. IL GARANTE DELLA CONCORRENZA, 2001
- 6 Anna Ciaperoni - GUIDA AL CONSUMO CONSAPEVOLE, 2002
- 7 Giovanna Falco - ACQUE MINERALI POTABILI. TRA QUALITÀ E BUSINESS, 2003
- 8 Aldo Carra - INFLAZIONE. COME CAMBIA PER FAMIGLIE POVERE E RICCHE, 2003
- 9 Aldo Carra - MODELLI DI CONSUMO. IMPATTO DELL'INFLAZIONE SUI REDDITI, 2004
- 10 Aldo Carra - TUTTI ALLE BANCARELLE? PREZZI, SPESA E REDDITI, 2005
- 11 Susanna Lando - TRASPARENZA BANCARIA, 2005

## LIBRI DEI CONSUMATORI

- 1 Marco Marini, Domenico Romito - NUOVA DISCIPLINA DI DIRITTI DEI CONSUMATORI, 2002
- 2 Anna Ciaperoni, Vincenza Di Malta - BIOLOGICO SICURO, 2006
- 3 Simone Biliato - ACQUISTI VERDI. Pubbliche amministrazioni per l'ambiente, 2006
- 4 Francesco Ridolfi, Antonio Segre - CIBO SOLIDALE. Mercato dell'ultimo minuto, 2007
- 5 Michele Boato, Pietro Pistone, Silvana Pucci - CLASS ACTION nel mondo. Legge italiana, 2008
- 6 Mara Lorenzini - CONSUMO CRITICO - Biologico, locale, etico, sobrio, in gruppo d'acquisto, 2009
- 7 Valeria Bugni - FARMERS' MARKETS - Mercati contadini. La filiera corta e consumatori, 2010
- 8 Rita Adornati - TUTELA DEL CONSUMATORE NELL'ERA DIGITALE - eCommerce, eBanking, Firma digitale, 2011
- 9 Emanuele Gosamo - BIOLOGICO A KM ZERO. Filiera corta, contesti solidali locali, 2012
- 10 Meri Papalia - SMART CITIES E PRIVACY. Opportunità, rischi e prevenzione, 2014
- 11 Michele Boato - DALLA PARTE DEI CONSUMATORI. Storia del movimento consumerista in Italia, 2015
- 12 Marco Ciot - CONSUMARE CARNE - Problematiche ambientali, sociali, salutistiche, 2016
- 13 Michele Boato - MADRE TERRA Manuale di difesa dei beni comuni, 2017
- 14 Lino De Benetti - HOMO ECO-OECONOMICUS. La democrazia ha bisogno dell'economia ecologica, 2018
- 15 Marinella Correggia - COVID E LE SAGGEZZE NASCOSTE, 2021
- 16 Ecoistituto ReGe - ESPERIENZE DI CITIZEN SCIENCE - Conoscenze e strumenti per "Sentinelle dell'aria", 2023

Quaderni ICU e Libri dei Consumatori si possono richiedere gratuitamente alla Fondazione ICU di Mestre [www.fondazioneicu.org](http://www.fondazioneicu.org) [info@fondazioneicu.org](mailto:info@fondazioneicu.org) [micheleboato14@gmail.com](mailto:micheleboato14@gmail.com) segheteria: Via Dante 9/A, 30171 Mestre VE - Tel e Fax 041.935666 ore 17-18 feriali



**Ecoistituto Reggio-Emilia e Genova Centro di Diritto Ambientale** è un'Associazione di Promozione Sociale che si prefigge di impegnarsi per la tutela dell'Ambiente e della Salute con tutte le iniziative e le modalità che potranno risultare fattibili ed opportune allo scopo: in particolare predilige l'intervento nel campo della formazione ambientale a tutto campo, riservandosi anche di fornire consulenze gratuite a cittadini ed istituzioni.

Ma è importante aggiungere che la cifra che contraddistingue questa attività è la competenza scientifica e professionale: a questo scopo l'Associazione si è dotata di un **Comitato Scientifico** di cui fanno parte esperti di diverse branche delle scienze, anche umanistiche.

**Il paradigma che caratterizza l'Associazione è l'approccio olistico e multidisciplinare finalizzato all'azione pratica.** EcoistitutoReGe non persegue scorciatoie di tipo tecnicistico, ma, al contrario, è convinto che per risolvere i gravi problemi ambientali della nostra società sia indispensabile prima di tutto un profondo cambiamento di tipo culturale che si inserisca nella piena consapevolezza della teoria della complessità. In quest'ottica va superata l'attuale economia lineare, per un'economia circolare tesa al benessere sociale: quest'ultimo può essere perseguito soltanto sviluppando sistemi innovativi e partecipativi che coinvolgano in maniera integrata i temi dei Rifiuti, dell'Energia, della Qualità dell'Aria, dell'Alimentazione e della Mobilità.



**L'ICU è una Fondazione che ha come scopo fornire alle Associazioni Consumeristiche strumenti culturali per difendere meglio diritti e interessi di consumatori e utenti.**

L'ICU ha curato la pubblicazione del libro “La nuova disciplina dei diritti dei consumatori e degli utenti”, commentario alla legge-quadro dei consumatori n.281 del 1998; ha sostenuto, assieme a Federconsumatori, la nascita del sito [www.avvocatideiconsumentatori.it](http://www.avvocatideiconsumentatori.it); ha organizzato un primo Corso di informazione e aggiornamento per dirigenti locali di associazioni dei consumatori; promuove dal 2004 il **Premio ICU-Conti per tesi di laurea sul “Consumo sostenibile”**.

I **quaderni ICU** sono usciti dal 1998 al 2005. Dal 2006 pubblica la collana dei **Libri dei Consumatori**, di cui questo è il numero 16, il prossimo, a cura di Marinella Correggia, relativo all'alimentazione, esce nel 2024.

La Fondazione è retta da un Consiglio d'Amministrazione composto da Michele Boato Presidente, Anna Ciaperoni, Giulio Labbro Francia, Paolo Stevanato e Marinella Correggia. La Fondazione ICU sostiene ricerche su vari temi, i cui risultati vengono presentati in convegni o conferenze stampa e pubblicati nei Quaderni ICU e nei Libri dei Consumatori.