

QUALITÀ DELL'ARIA IN ITALIA, GLI EFFETTI DEL LOCKDOWN

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

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

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

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

approfondimento da parte della comunità scientifica internazionale.

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

Tale interesse non rappresenta una mera curiosità. In realtà l'Italia, come gli altri Stati membri dell'Unione europea, è impegnata nell'intraprendere azioni efficaci per ridurre le emissioni dei principali inquinanti e in particolare quelle del materiale particolato e dei suoi precursori (ammoniaca, composti organici volatili, ossidi di azoto). La valutazione degli effetti delle misure di risanamento della qualità dell'aria attraverso l'analisi degli andamenti delle concentrazioni rilevate nelle stazioni di monitoraggio è complessa in ragione della natura dei meccanismi che regolano la diffusione, il trasporto, la trasformazione, e la deposizione delle sostanze inquinanti e la relazione tra questi, il punto o area di emissione e il punto di osservazione. I fattori determinanti di questa complessità, per un dato inquinante, sono fondamentalmente le condizioni meteorologiche su scala

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

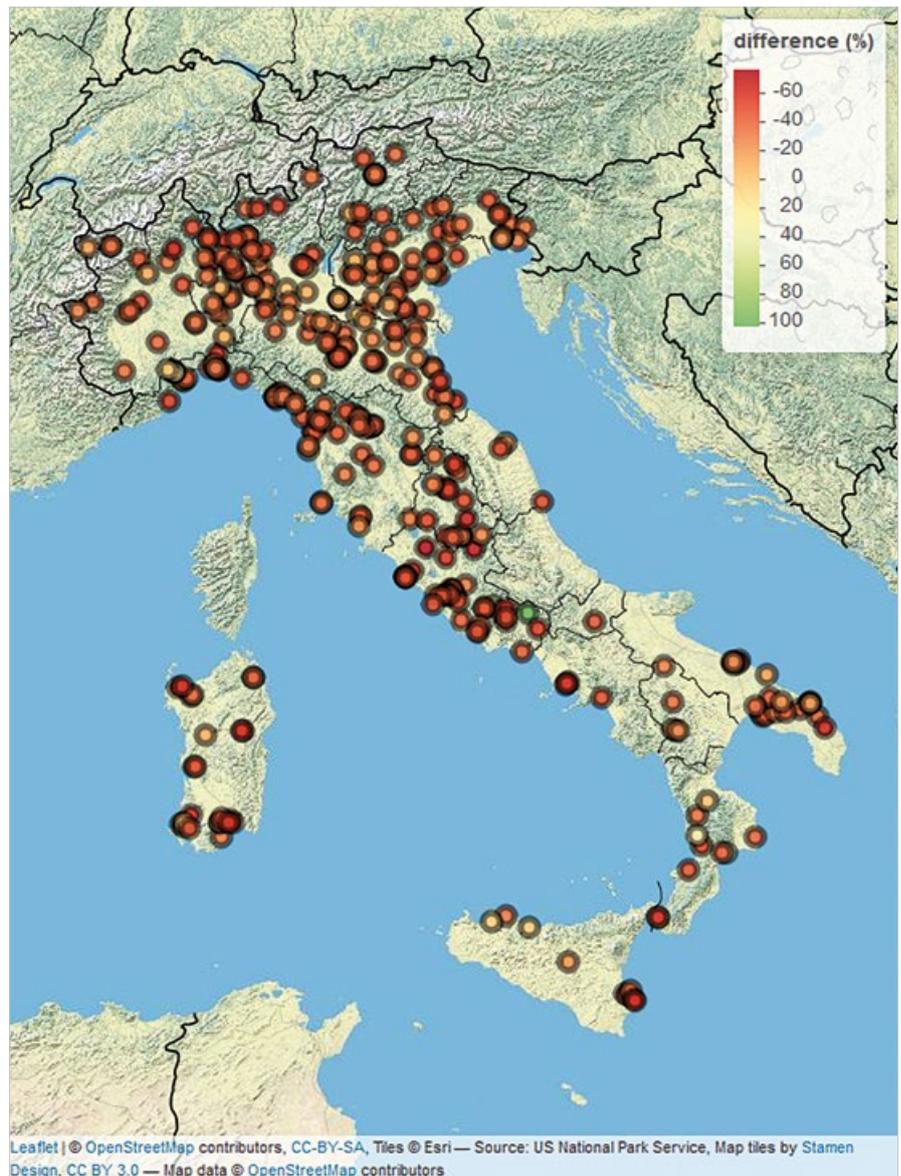


FIG. 1 MAPPA BISSIDO DI AZOTO

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

NOTE

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

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

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

GRUPPO DI LAVORO OBIETTIVO 1 PULVURUS

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

Componenti del Gdl:

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

Hanno contribuito:

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