



Lockdown e concentrazioni di inquinanti in aria: cosa dicono le reti di monitoraggio

Gianluca Leone (ISPRA)

per il gdl dell'obiettivo 1 del progetto Pulvirus

Progetto Pulvirus | Presentazione dei risultati – Roma 24 ottobre 2022





Obiettivi

- Analizzare in modo sistematico e omogeneo sul territorio l'andamento della qualità dell'aria in Italia durante il periodo di lockdown sulla base dei dati delle reti di monitoraggio regionali
- Stimare quantitativamente l'effetto delle misure di distanziamento sociale, sulle concentrazioni dei principali inquinanti
- Ridurre l'incertezza associata alla stima degli effetti dovuta al confondimento determinato dalla variabilità delle condizioni meteorologiche.



Piano di lavoro

1

- Ricognizione delle analisi preliminari già condotte dall'SNPA

2

- Ricognizione della letteratura scientifica

3

- Raccolta ed elaborazione dati qualità dell'aria e meteo

4

- Analisi dei dati



Qualità dell'aria - fonti

- I dati 2020 sono stati raccolti con la collaborazione delle strutture ARPA/APPA attivate tramite la RRTEM II/02 dell'SNPA e con il contributo dei colleghi ARPA che partecipano all'obiettivo 1.
- I dati delle Regioni che partecipano al progetto PREPAIR sono stati raccolti grazie alla collaborazione con i colleghi delle ARPA/APPA per evitare richieste multiple di dati già raccolti nell'ambito del progetto stesso.
- I dati pregressi (2013 – 2019) sono stati estratti dal DB Infoaria



Dati meteorologici - fonti

- ERA-land (terraferma)
 - risoluzione temporale oraria (UTC)
 - risoluzione orizzontale (latitudine x longitudine) pari a $0.1^\circ \times 0.1^\circ$.
 - (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-land?tab=overview>).
- Solo per il planetary boundary layer (PBL): ERA5 single-levels
 - risoluzione temporale oraria (UTC)
 - risoluzione orizzontale (latitudine x longitudine) pari a $0.1^\circ \times 0.1^\circ$.
 - (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=form>)



Normalizzazione meteorologica per la stima del contributo del lockdown alle concentrazioni dei principali inquinanti atmosferici

- Ridurre l'incertezza associata alla stima delle variazioni dovute al lockdown aggiustando per la variabilità delle condizioni meteorologiche
 - Modelli additivi generalizzati (GAM)
 - Algoritmi di machine learning (RF - GBM)
 - Modelli Bayesiani e approccio INLA-SPDE



Metodi statistici di intervention analysis: algoritmi di intelligenza artificiale



- Sperimentare l'uso di modelli di Machine learning (ML), ed in particolare della tecnica "Random Forest" (RF).
- Confronto tra i valori stimati da modelli RF in condizioni "business-as-usual", 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.

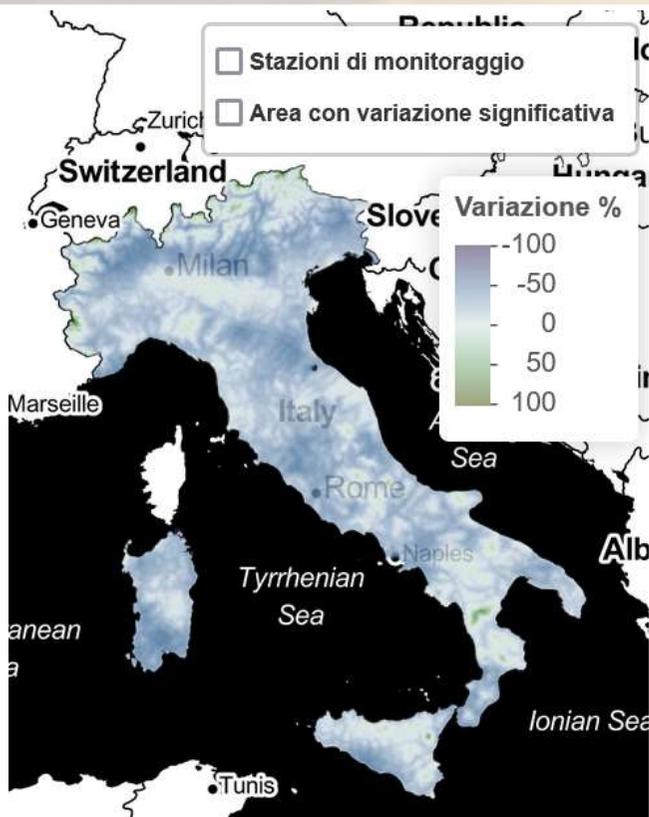


Modelli bayesiani e approccio INLA-SPDE

- Sviluppare 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)



Stima della variazione spaziale 2020 vs 2019 con approccio Bayesiano (INLA – SPDE)



- La variabilità spazio-temporale delle concentrazioni di NO_2 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
- Concentrazione media settimanale corretta per la meteorologia
- <http://pulvirus.inla.isprambiente.it/>



Modello Additivo Generalizzato (GAM)

- Valutazione dell'effetto delle misure restrittive attuate durante il periodo di lockdown, sui livelli di concentrazione di alcuni inquinanti (NO_2 , PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, O_3 , CO) rilevati nelle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria
- Il GAM consente di normalizzare, a livello meteorologico, le serie storiche pluriennali delle concentrazioni degli inquinanti in atmosfera e di valutare il contributo di specifiche variabili esplicative di tipo numerico o categoriale
- L'implementazione del modello realizzata principalmente attraverso il pacchetto mgcv di R
- I risultati sono visualizzabili nella dashboard interattiva alla pagina: <https://www.pulvirus.it/dashboard/>



GAM - dati di qualità dell'aria

Regione	PM ₁₀	PM _{2,5}	CO	NO ₂	O ₃
ABRUZZO	3	4	2	0	2
BASILICATA	5	4	5	5	10
CALABRIA	12	9	6	10	9
CAMPANIA	0	0	2	4	0
EMILIA - ROMAGNA	42	23	5	36	31
FRIULI VENEZIA GIULIA	15	1	2	11	8
LAZIO	38	14	12	40	19
LIGURIA	11	6	10	27	7
LOMBARDIA	57	21	20	51	40
MARCHE	7	3	3	3	2
MOLISE	0	0	1	1	1
PA BOLZANO	5	2	1	5	4
PA TRENTO	6	3	1	5	5
PIEMONTE	16	9	1	16	1
PUGLIA	27	11	8	21	6
SARDEGNA	29	7	14	27	21
SICILIA	5	0	3	9	3
TOSCANA	32	15	6	34	6
UMBRIA	15	13	4	17	6
VALLE_AOSTA	3	2	1	4	4
VENETO	27	10	8	31	22
Totale	355	157	115	357	207

- In totale più di 1000 serie di dati valide, divise per inquinante e distribuite nelle varie regioni; la maggior disponibilità ha riguardato il nord.
- Periodo di osservazione che va dal 01/01/2013 al 31/12/2020
- Criteri di validazione delle serie dati
 - Un mese valido se contiene almeno il 75% di dati validi
 - Anno valido se contiene tutte le stagioni valide (almeno due mesi validi per stagione)
 - Serie devono avere tutti i mesi validi nel 2020
 - Serie valida se lunga almeno 5 anni



GAM - dati meteorologici

Variabile	Descrizione
t2m, tmin2m, tmax2m	temperatura media, minima e massima dell'aria
rh	umidità relativa percentuale dell'aria sulla superficie terrestre
tp	precipitazione cumulata sulla superficie terrestre
u10m, v10m	componente orizzontale verso Est e verso Nord del vento a 10 metri d'altezza sulla superficie terrestre
sp	pressione dell'aria sulla superficie terrestre
nirradiance	irradianza solare netta che raggiunge un piano orizzontale sulla superficie terrestre
pbl00	altezza dello strato limite planetario alle ore 00
pbl12	altezza dello strato limite planetario alle ore 12
pblmin	altezza minima dello strato limite planetario
pblmax	altezza massima dello strato limite planetario

- Ad ogni stazione appartenente alla rete di monitoraggio della qualità dell'aria in Italia è stato associato il punto della griglia di ERA5 più vicino
- Nel dataset finale utilizzato per l'implementazione del GAM, sono state inserite alcune variabili a *lag -1* (giorno precedente)



Modello Additivo Generalizzato (GAM) - introduzione

- Formula semplificata:

$$\log(C) = s_i(Vt_i) + \dots s_{i+n}(Vt_{i+n}) + s_j(Vt_j) + \dots s_{j+n}(Vt_{j+n}) + \alpha + \epsilon$$

- La variabile risposta (logaritmo della concentrazione dell'inquinante) funzione delle variabili esplicative meteorologiche (Vm) e temporali (Vt) . Osservazioni giornaliere.
- Modello lineare generalizzato con predittore somma di funzioni di smoothing (spline)
- Vt = giorno giuliano, mese per stagionalità residua, giorno della settimana e variabile *Lockdown (L)* categoriale su base mensile
- Contributo su base mensile relativo ai due mesi di lockdown severo (marzo e aprile 2020) e ai due mesi (maggio e giugno) in cui è stato attuato un graduale allentamento delle misure di distanziamento sociale

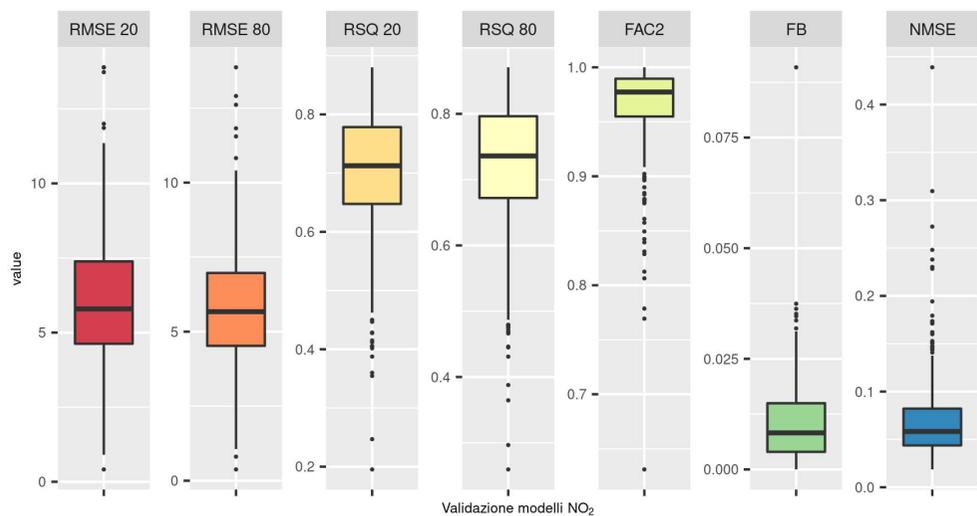


Modello Additivo Generalizzato (GAM) – introduzione 2

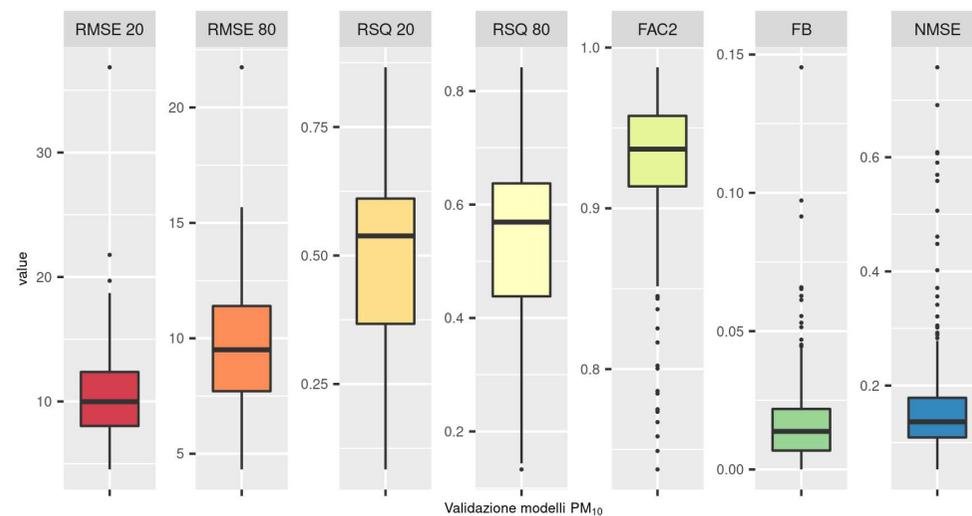
- Le variabili esplicative meteorologiche non sono state imposte a priori ma selezionate in maniera specifica per ogni modello (per ogni stazione di misura e per ogni inquinante)
- La procedura fa entrare nel modello le variabili significative sulla base del Akaike Information Criterion (AIC) ed esclude quelle che hanno un indice di correlazione > 0.7
- Il modello è sviluppato utilizzando l'80% delle osservazioni disponibili (training dataset) scelte in maniera casuale. Il restante 20% del dataset è stato utilizzato per la fase di validazione
- Indici utilizzati: *Coefficiente di determinazione aggiustato* (RSQ o R^2), *Root Mean Square Error* (RMSE), *Factor of 2* (FAC2), *Fractional Bias* (FB), *Normalized Mean Square Error* (NMSE)



Validazione modelli



NO₂



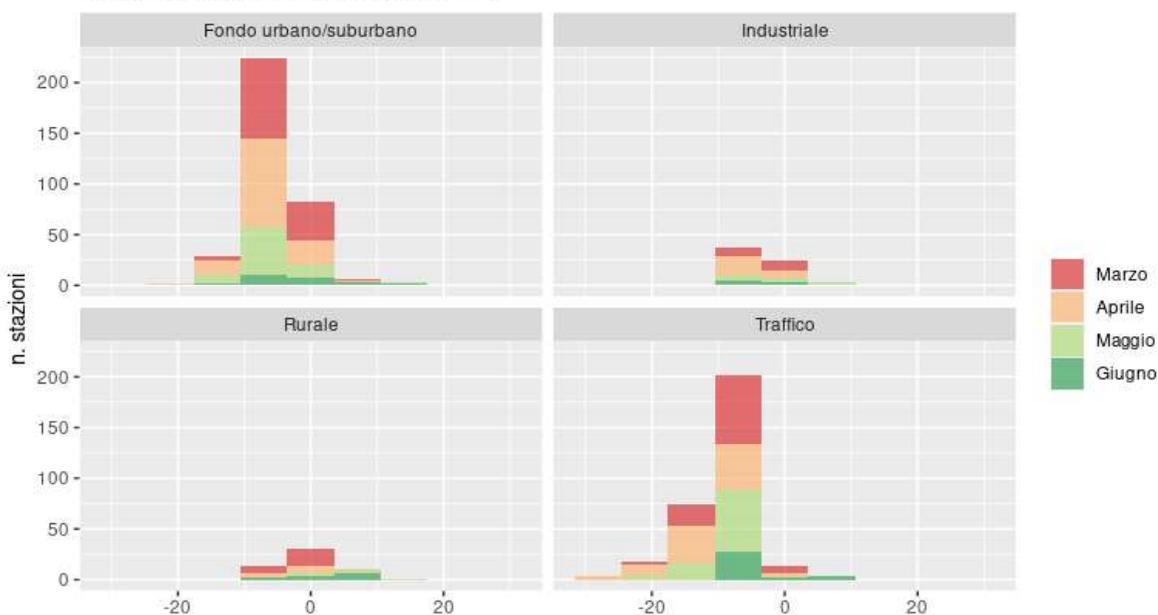
PM₁₀





Risultati – Riduzione della concentrazione di NO₂

Contributo lockdown - concentrazione NO₂



Tipo stazione	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno
Fondo urbano/suburbano	80.5%	83.1%	44.2%	17.5%
Industriale	55.9%	76.5%	35.3%	29.4%
Rurale	52.3%	31.8%	13.6%	27.3%
Traffico	92.5%	95.3%	78.3%	30.2%

Percentuale di stazioni con contributo statisticamente significativo

- Riduzione prevalente nelle stazioni tipo traffico e fondo

Contributo alla riduzione della concentrazione di NO₂ (µg/m³) per tipo stazione e per mese



Risultati – Riduzione della concentrazione di NO₂

Mese	Traffico	Fondo urb/sub	Industriale	Rurale
Marzo	-8.35	-4.62	-3.60	-2.60
Aprile	-12.06	-6.63	-4.83	-1.56
Maggio	-8.89	-5.95	-2.85	4.16
Giugno	-4.98	-1.70	0.10	1.70

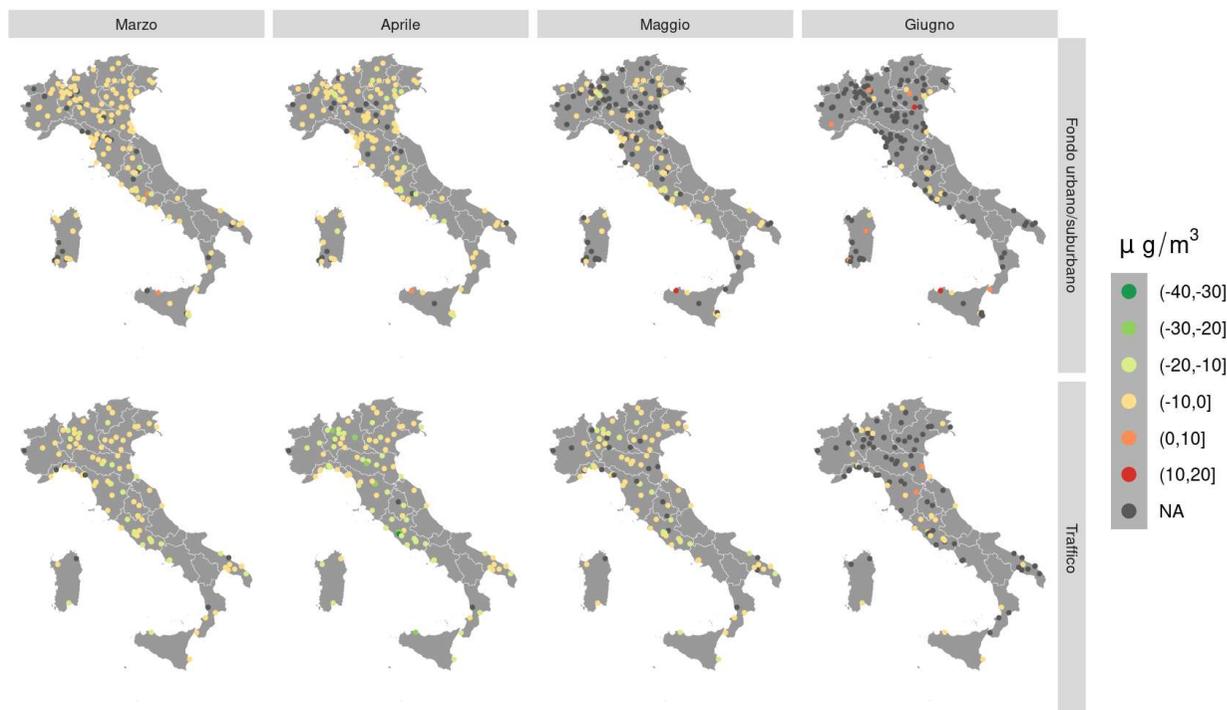
Contribuito alla concentrazione di NO₂ (µg/m³)

- La riduzione della concentrazione attribuibile al *lockdown* varia da un minimo di 1.6 µg/m³ nelle stazioni rurali ad un massimo di 12.1 µg/m³ nelle stazioni di tipo traffico
- A maggio 2020 un contributo negativo, concentrato prevalentemente nelle stazioni di tipo traffico (riduzione media su tutte le stazioni di 8.9 µg/m³) e nelle stazioni di fondo urbane e suburbane (riduzione 5.9 µg/m³)



Risultati – Variazione della concentrazione di NO₂

Contributo lockdown - concentrazione NO₂

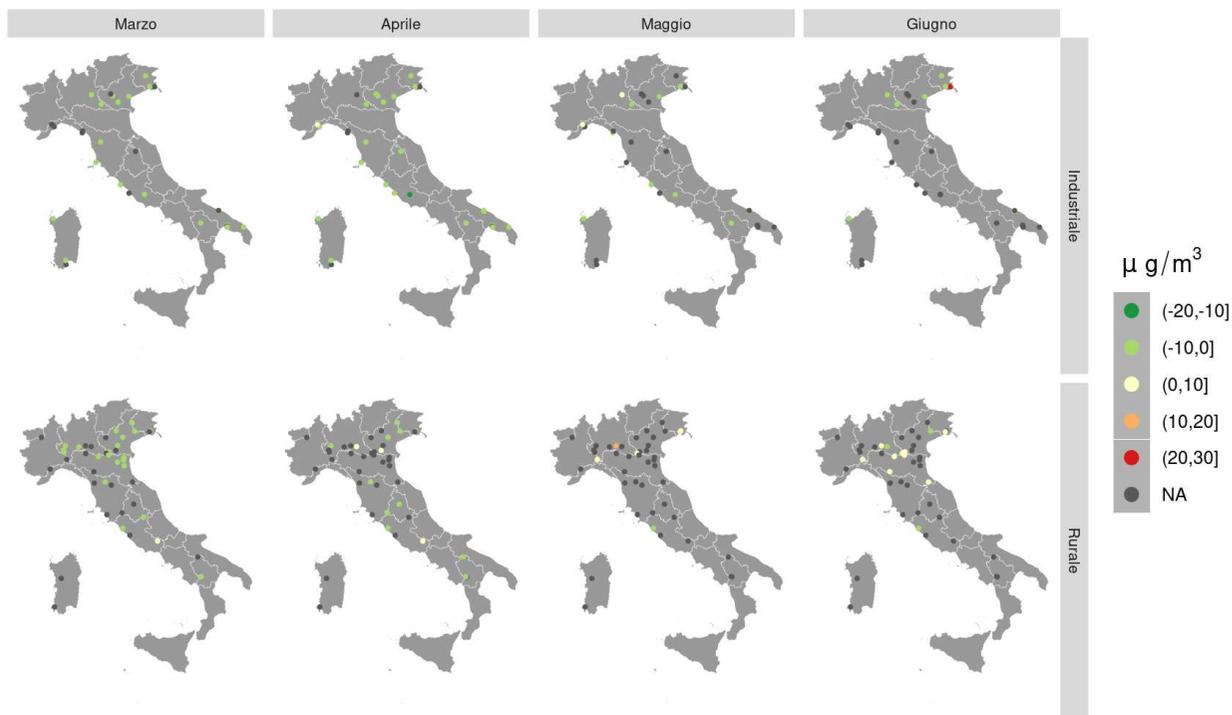


- Significativa diminuzione dei livelli di NO₂ su tutto il Paese come effetto del lockdown nei mesi di marzo e aprile 2020
- Riduzione più marcata nelle stazioni di tipo traffico negli agglomerati urbani



Risultati – Variazione della concentrazione di NO₂

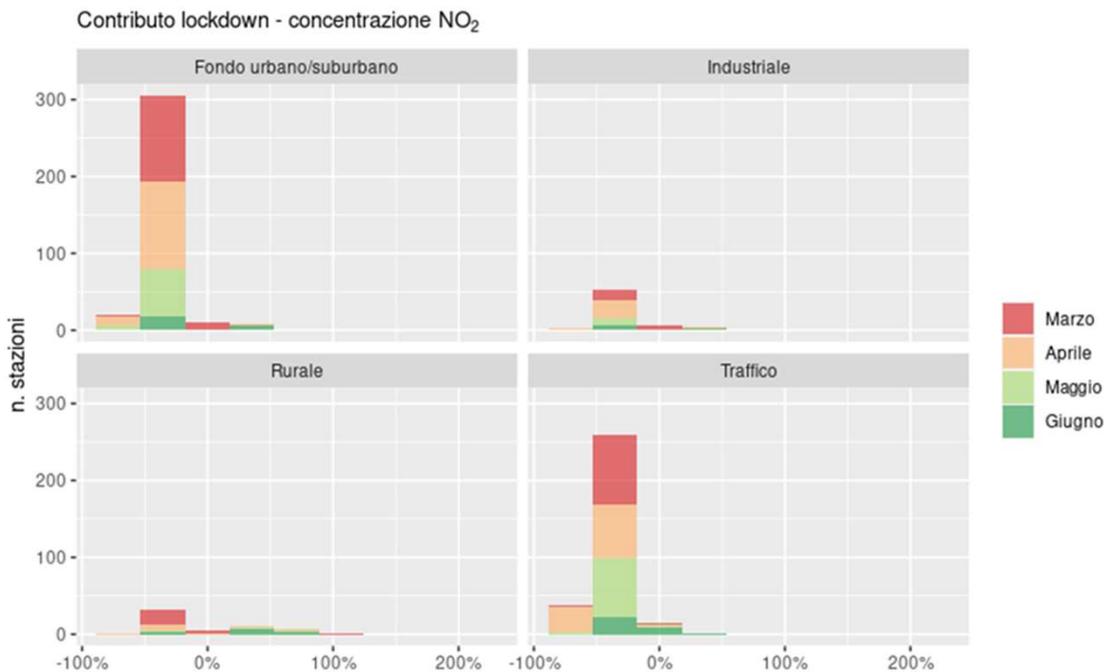
Contributo lockdown - concentrazione NO₂



- Stazioni industriali: situazione variabili in funzione del sito e del mese
- Nel mese di giugno il contributo diventa non significativo per quasi tutti i siti di studio. Si rileva anzi un inizio di inversione di tendenza per le stazioni di tipo rurale nel nord del Paese



Risultati – Riduzione percentuale della concentrazione di NO₂



Mese	Traffico	Fondo urb/sub	Industriale	Rurale
Marzo	-32%	-28%	-26%	-22%
Aprile	-46%	-40%	-34%	-18%
Maggio	-33%	-34%	-20%	32%
Giugno	-20%	-9%	5%	22%

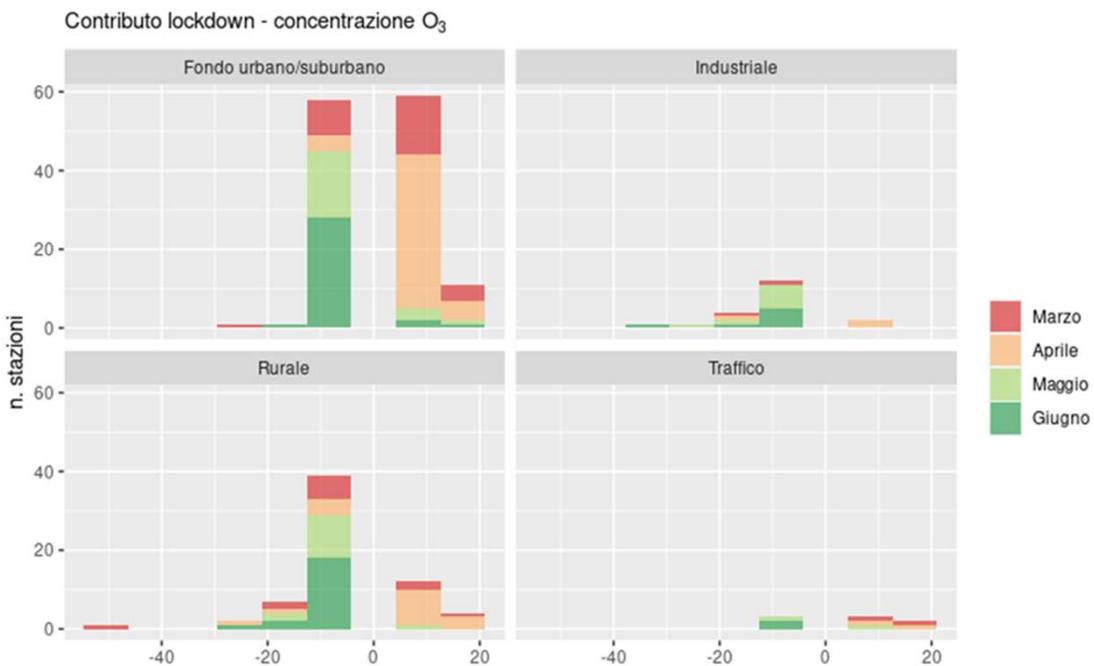
Variazione percentuale media NO₂ per tipo stazione

- Riduzione percentuale della concentrazione di NO₂ molto significativa (marzo – aprile)
- Nelle stazioni di tipo traffico e fondo urb./sub. riduzione anche maggio - giugno

Contributo percentuale alla riduzione della concentrazione di NO₂ per tipo stazione e per mese



Risultati – Variazione della concentrazione di O₃



Contribuito alla riduzione della concentrazione di O₃ (µg/m³) per tipo stazione e per mese

Tipo stazione	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno
Fondo urbano/suburbano	23.0%	38.1%	16.7%	25.4%
Industriale	14.3%	21.4%	57.1%	50.0%
Rurale	20.7%	31.0%	24.1%	36.2%
Traffico	33.3%	33.3%	33.3%	33.3%

Percentuale di stazioni con contributo statisticamente significativo

- Prevalenza di manca di significatività
- Riduzione concentrazioni nei mesi di maggio e giugno
- Aumento significativo ad aprile



Risultati – Variazione della concentrazione di O₃

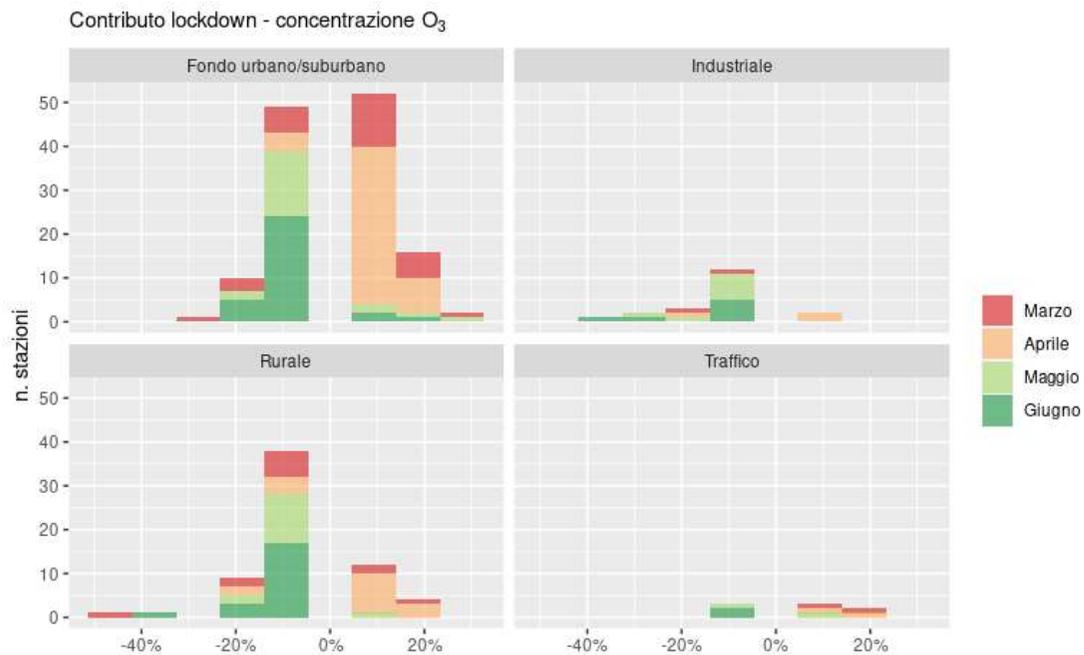
Mese	Traffico	Fondo urb/sub	Industriale	Rurale
Marzo	12.42	3.43	-13.73	-8.20
Aprile	12.30	7.80	2.09	2.65
Maggio	-0.47	-4.02	-10.58	-7.68
Giugno	-6.85	-6.13	-13.43	-9.29

Contribuito alla concentrazione di O₃ (µg/m³)

- Quadro di prevalente mancanza di significatività per la gran parte dei punti di misura
- Aprile 2020: contributo positivo localizzato prevalentemente nell'area settentrionale del Paese che per le stazioni di fondo urbane e suburbane raggiunge un valore medio pari a 7.80 µg/m³



Risultati – Variazione percentuale della concentrazione di O₃



Mese	Traffico	Fondo urb/sub	Industriale	Rurale
Marzo	16%	5%	-16%	-8%
Aprile	16%	11%	2%	4%
Maggio	0%	-5%	-12%	-9%
Giugno	-9%	-8%	-16%	-11%

Variazione percentuale media O₃ per tipo stazione

- In sintesi: quasi un 10 % aumento ad aprile e analoga diminuzione a maggio - giugno

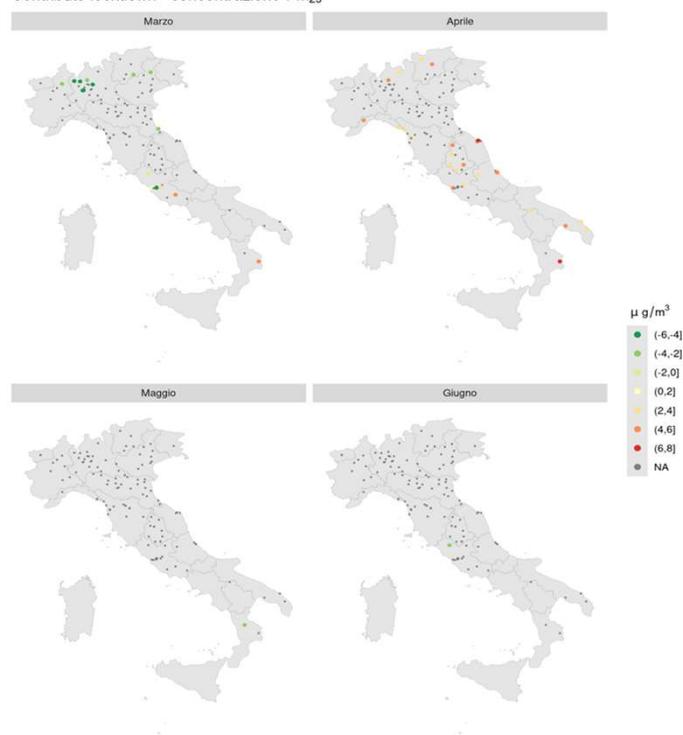
Contributo percentuale alla riduzione della concentrazione di NO₂ per tipo stazione e per mese





Risultati – Variazione della concentrazione di PM_{2.5}

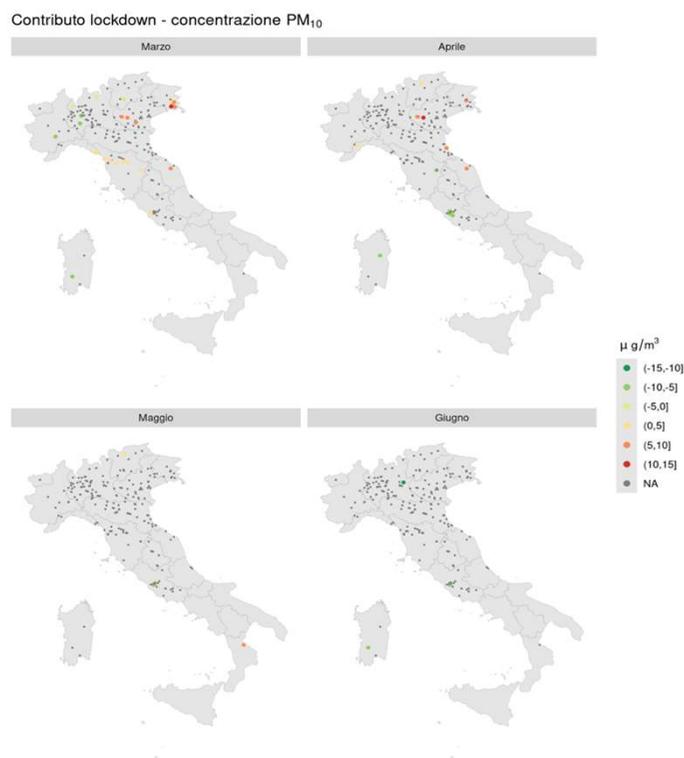
Contributo lockdown - concentrazione PM_{2.5}



- Su tutto il territorio nazionale quadro generale di non significatività statistica dei contributi alle concentrazioni per i quattro mesi considerati
- Mese di marzo: un contributo negativo significativo (- 5 µg/m³) alle concentrazioni di PM_{2.5} nelle aree urbane della Lombardia nord occidentale (Bergamo, Como, Lecco, Milano e Varese)
- Mese di aprile: cluster contributo positivo in Umbria, Puglia meridionale, PA Bolzano, diverse città portuali (La Spezia, Ancona, Civitavecchia, Pescara, Brindisi, Taranto, Crotone)



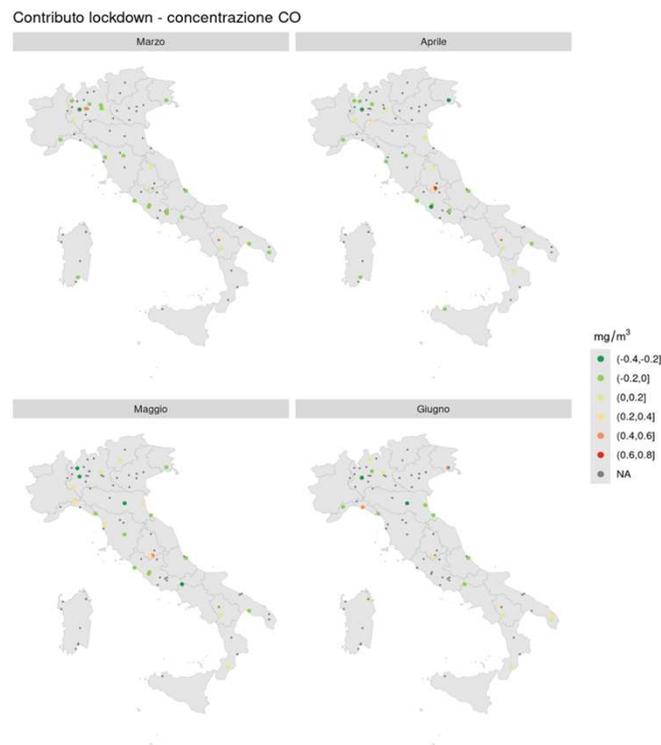
Risultati – Variazione della concentrazione di PM_{10}



- Su tutto il territorio nazionale quadro generale di non significatività statistica dei contributi alle concentrazioni per i quattro mesi considerati
- Mese di marzo: un contributo positivo significativo alle concentrazioni di PM_{10} nelle aree urbane della Veneto sud occidentale e nel sud del Friuli VG
- Mese di aprile: contributo negativo significativo alle concentrazioni di PM_{10} nei siti urbani/traffico dell'area metropolitana di Roma
- Saharan Dust



Risultati – Variazione della concentrazione di CO



- Su tutto il territorio nazionale quadro generale di non significatività statistica dei contributi alle concentrazioni per i quattro mesi considerati
- Limitatamente ad alcune aree geografiche di qualche Regione (Lombardia, Emilia - Romagna, Toscana, Lazio e Puglia) tendenza ad un contributo negativo alle concentrazioni di CO
- Nell'area di Terni aumento del contributo da aprile a giugno



Grazie dell'attenzione!

7 gruppi di lavoro dell'obiettivo 1

Ricognizione analisi preliminari SNPA

coordinamento: Federica Aldighieri (ISPRA)

Eleonora Soggiu (ISS)

Umberto Dal Santo, Guido Lanzani, Anna Di Leo (ARPA Lombardia)

Arianna Trentini (ARPAE Emilia Romagna)

Giorgio Cattani, Francesca Fornasier (ISPRA)

Ricognizione della letteratura scientifica

coordinamento: Gianluca Leone (ISPRA)

Ilaria D'Elia, Maria Gabriella Villani (ENEA)

Andrea Algieri, Umberto Dal Santo (ARPA Lombardia)

Fabiana Scotto (ARPAE Emilia Romagna)

Mariacarmela Cusano (ISPRA)

Data pre-processing

Coordinamento: Raffaele Morelli e Guido Fioravanti (ISPRA)

Arianna Trentini (ARPAE Emilia Romagna)

Anna Di Leo (ARPA Lombardia)

Andrea Bolignano, Silvia Barberini (ARPA Lazio)

Giorgio Cattani, Mariacarmela Cusano, Alessandro Di Menno di Bucchianico, Maria

Francesca Fornasier, Piero Frascchetti, Raffaella Gaddi, Alessandra Galosi, Giuseppe

Gandolfo, Francesca Lena, Walter Perconti, Emanuela Piervitali (ISPRA)

Maria Eleonora Soggiu (ISS)

Metodi di normalizzazione meteorologica delle serie temporali dei dati di qualità dell'aria basati su modelli additivi generalizzati (GAM)

Coordinamento: Gianluca Leone (ISPRA)

Mariacarmela Cusano, Giuseppe Gandolfo, Alessandra Gaeta, Alessandra Galosi, Raffaele Morelli (ISPRA)

Fabiana Scotto (ARPAE Emilia Romagna)

Metodi di normalizzazione meteorologica delle serie temporali dei dati di qualità dell'aria basati su algoritmi di machine learning (RF – GBM)

Coordinamento: Maria Antonietta Reatini (ISPRA)

Andrea Algieri (ARPA LOMBARDIA)

Ilaria D'Elia, Massimo D'Isidoro (ENEA)

Fabiana Scotto (ARPAE Emilia Romagna)

Analisi delle serie temporali di dati di qualità dell'aria con modelli Bayesiani e approccio INLA-SPDE

Coordinamento: Guido Fioravanti (ISPRA)

Michela Cameletti (Dipartimento di Economia, Università di Bergamo, Bergamo, Italy)

Sara Martino (Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway)

Andrea Pisoni (European Commission, Joint Research Centre, Ispra, Italy)

Giorgio Cattani (ISPRA)

Coordinamento generale dell'obiettivo 1: Giorgio Cattani (ISPRA)

