

# INHALE project Impact of agriculture on air pollution in Lombardy

## Risultati preliminari



*Convegno - Agricoltura e qualità dell'aria. Dai dati alle decisioni*

Milano

---

Lara Aleluia Reis<sup>a</sup>, Francesco Granella<sup>a</sup>, Stefania Renna<sup>a</sup>, Jacopo Lunghi<sup>b</sup>,  
Maurizio Malpede<sup>b</sup>, and Damiano di Simone<sup>c</sup>

14-06-2023

**Bocconi**



**RFF  
CMCC** European Institute  
on Economics  
and the Environment



**LEGAMBIENTE  
LOMBARDIA**

Fondazione  
**CARIPOLO**



- ◇ Nel mondo, 1 morte ogni 9 è dovuta all'inquinamento atmosferico (HIME, 2021).
- ◇ Le emissioni di ossidi di azoto ( $\text{NO}_x$ ) e diossido di zolfo ( $\text{SO}_2$ ) sono diminuite nel tempo, mentre l'ammoniaca ( $\text{NH}_3$ ) e  $\text{PM}_{2.5}$  hanno visto miglioramenti modesti (De Marco et al. 2019).
- ◇ Le emissioni di  $\text{NH}_3$  provengono quasi interamente (97% in Lombardia) dal settore agricolo (INEMAR 2022).

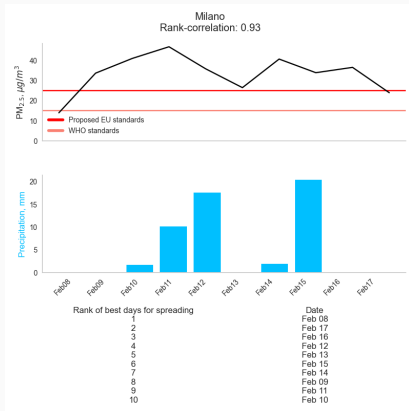
## **INHALE - Impatto sulla salute umana delle emissioni agricole e zootecniche**

Finanziato dalla *Fondazione CARIPLO*.

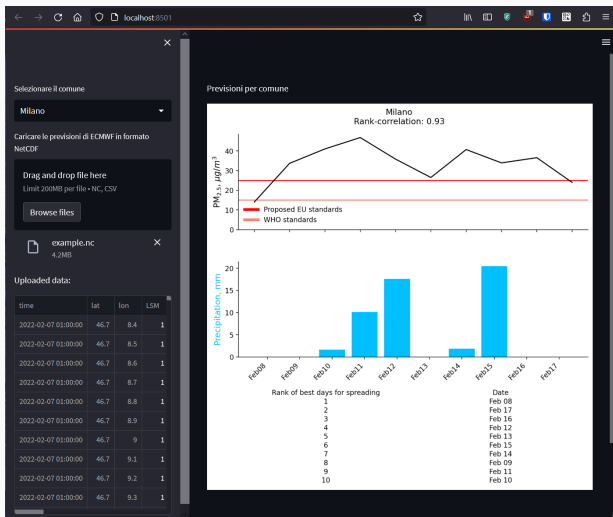
- Basato sui dati
  - Machine learning, inferenza causale
  - Complementare alla modellistica
- Focalizzato sull'agricoltura
- Ammoniaca
- Particolato (PM): fonti e impatti sulla salute
- Focus su Lombardia, orientato alle politiche:
  - Strumento avanzato per la finestra di spandimento del letame

Pacchetto python <https://github.com/francescogranello/spandimentotool>

```
spandimento --input <path-to-weather-file.nc> --output <path-to-out-file.csv> --code <code municipality>
```



## Interfaccia grafica online - presto disponibile

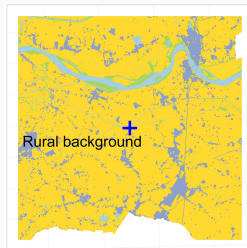
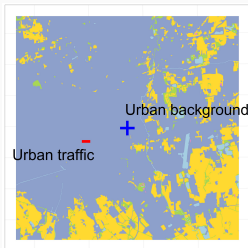
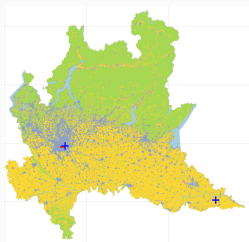


Non esiste una politica basata sull'evidenza senza dati

Non esiste una politica basata sull'evidenza senza dati

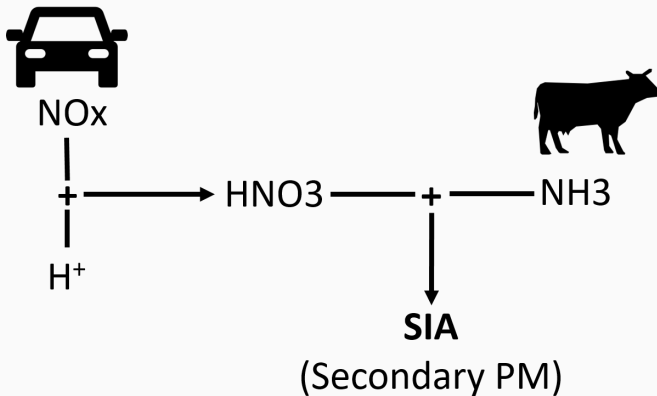
- **Concentrazioni.** PM<sub>10</sub> secondario (nitrati e solfati di ammonio), ammoniaca [NH<sub>3</sub>], ossidi di azoto [NO<sub>x</sub>], PM<sub>2.5</sub> e PM<sub>10</sub> totali (da ARPA Lombardia)

Disponibili in 3 località\*



\*Se solo ce ne fossero di più!

# AEROSOL INORGANICI SECONDARI (ASI) DA ATTIVITÀ UMANE





Stazione	Media annuale dei sali di ammonio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Numero di giorni sopra il limite giornaliero EU in discussione ( $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>2</sup>
Milano, fondo	11,6	6,4
Milano, traffico	11,8	5
Rurale	10,3	4,3

- Gli ASI rappresentano circa il 50% del limite medio annuale di  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  proposto dall'UE
- Da soli sono responsabili di superamenti del limite giornaliero

# IL LOCKDOWN DEL 2020 PUÒ FORNIRE INFORMAZIONI SUL REGIME NH<sub>3</sub>-NOx

Il lockdown del 2020 ha ridotto le emissioni di NOx. Come sono evolute le concentrazioni di ASI?

Non è possibile confrontare il 2020 con gli anni precedenti a causa delle diverse condizioni meteorologiche.

# IL LOCKDOWN DEL 2020 PUÒ FORNIRE INFORMAZIONI SUL REGIME NH<sub>3</sub>-NOx

Il lockdown del 2020 ha ridotto le emissioni di NOx. Come sono evolute le concentrazioni di ASI?

Non è possibile confrontare il 2020 con gli anni precedenti a causa delle diverse condizioni meteorologiche.

# IL LOCKDOWN DEL 2020 PUÒ FORNIRE INFORMAZIONI SUL REGIME NH<sub>3</sub>-NOX

Il lockdown del 2020 ha ridotto le emissioni di NOx. Come sono evolute le concentrazioni di ASI?

Non è possibile confrontare il 2020 con gli anni precedenti a causa delle diverse condizioni meteorologiche.

## Machine learning

- $ASI = f(\text{Stagione}, \text{Condizioni atmosferiche})$
- Algoritmo allenato prima del lockdown (BAU)
- Previsione durante il lockdown

- $ASI_t - \widehat{ASI}_t = \alpha + \beta \cdot 1[\text{Lockdown}]_t + \varepsilon_i$   
*Osservato*      *Predetto*

- XGBoost, LightGBM, RF, MARS, Elastic Net, Blackboost

---

## Algorithm 1

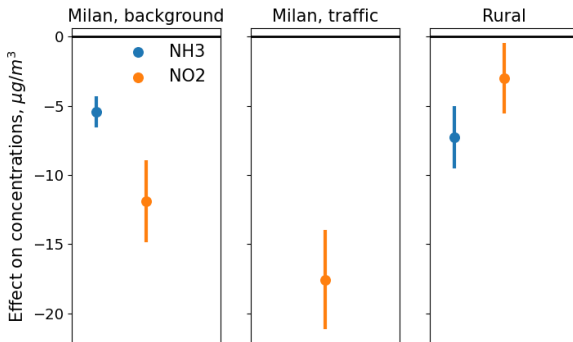
---

```
1: for every monitoring station do
2:   Extract data for January, February, March, April before 2020.
3:   Extract 200 subsamples of 85% with replacement.
4:   for every subsample do
5:     for every model do
6:       Fit the model.
7:       Predict in 2020.
8:       Store performance metrics on pre-lockdown 2020.
9:     end for
10:  end for
11: end for
```

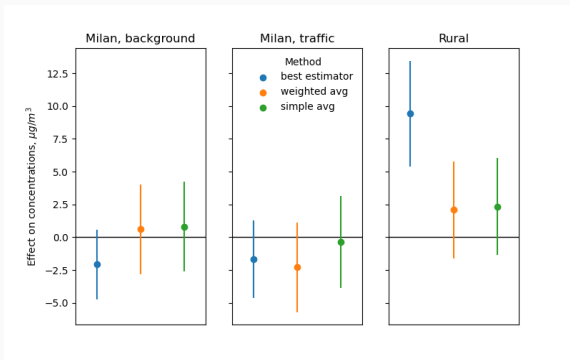
---

# RIDUZIONE GENERALIZZATA DI $\text{NH}_3$ E $\text{NO}_x$

NB: Concentrazioni



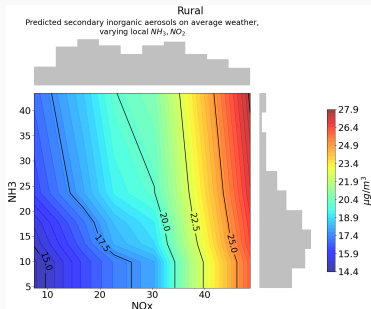
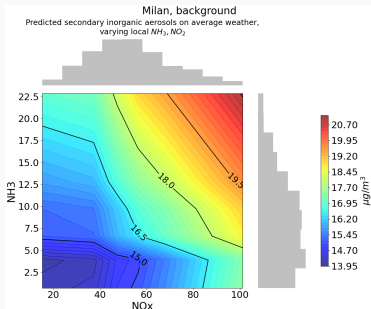
# EFFETTI DEL LOCKDOWN SU ASI



I colori rappresentano diversi metodi di pesatura dei sottoinsiemi/modelli

- Effetto, seppur non significativo, nella stazione del traffico: riduzione aggiuntiva di  $\text{NH}_3$  dal traffico
- Nessun effetto su ASI di fondo urbano, in linea con aumentata capacità ossidativa
- Coerente con Thunis et al. (2021). Prestazioni del modello Isofote

# ISOPLETHS



Stazione	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Milan, fondo	1,97
Milan, traffico	3,36
Rural	3,48

Effetti su ASI di una riduzione simultanea di  $\text{NO}_x$  e  $\text{NH}_3$  del 50% dalla mediana. [Back](#)



- Gli ASI rappresentano una parte significativa di  $PM_{10}$ : >30% durante l'inverno.
- Sebbene non ci siano limiti regolatori per le concentrazioni di  $NH_3$  nell'UE, gli ASI contribuiscono considerevolmente al superamento dei limiti di  $PM_{10}$ .
- Le riduzioni da lockdown di  $NO_x$  e  $NH_3$  non sono state efficaci nel ridurre gli ASI tranne che nelle aree ad alto traffico.
- Attenzione a nonlinearità! (Thunis et al., 2021).

# **Il contributo dell'agricoltura all'inquinamento dell'aria**

---

## Intensità di bestiame

### Gestione dei reflui zootecnici:

- Stabulazione
- Stoccaggio
- Spandimento

**Qual è l'impatto di un capo di bestiame  
*in più* sulla qualità dell'aria?**

# IL MODELLO - IMPATTO DI UN CAPO DI BESTIAME *in più* SULLA QUALITÀ DELL'ARIA

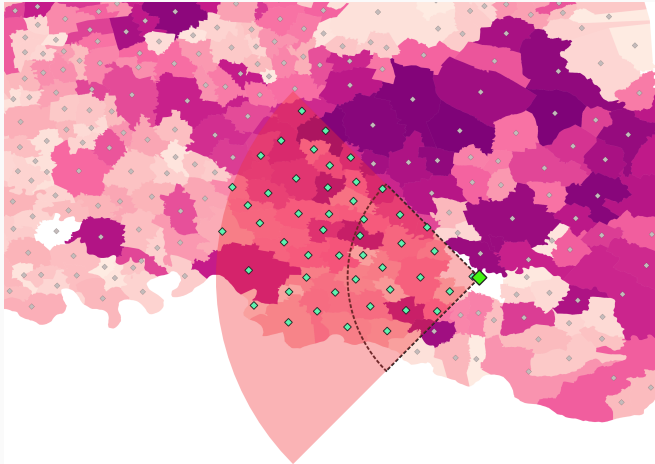
$$[Y]_{i,t} = \beta_0 + \sum_{j \in \mathcal{B} \cap \mathcal{G}} \sum_{a \in \mathcal{A}} \beta_a \Delta L_{a,j,t} \times \Omega + X'_{i,t} \Gamma + \Lambda_{i,t,d}$$

Variabili spiegate: **NH<sub>3</sub>** e **PM<sub>10</sub>**

Variabili esplicative:

- **Variazioni in suini e bovini**
- **Meteo**
- **Effetti fissi (mese, anno, sensore, quadrante)**

# DATI - IMPATTO DI UN CAPO DI BESTIAME IN PIÙ SULLA QUALITÀ DELL'ARIA



# RISULTATI - IMPATTO DI UN CAPO DI BESTIAME *in più* SULLA QUALITÀ DELL'ARIA

## Su NH<sub>3</sub>:

- L'effetto medio di 1000 maiali *in più* è di 0.04 [0.04-0.067]  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (+0.26%).
- L'effetto medio di 1000 bovini *in più* è di 0.332 [0.201-0.975]  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (+1.8%).

## Sul PM:

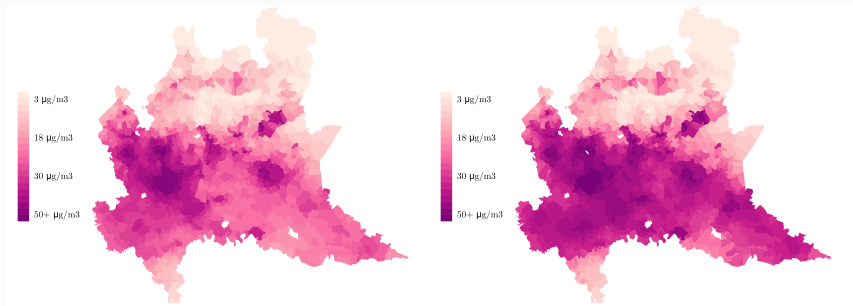
- L'effetto medio di 1000 maiali *in più* è di 0.004 [0.001-0.062]  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (+0.03%).
- L'effetto medio di 1000 bovini *in più* è di 0.247 [0.247-0.83]  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (+0.8%).

1000 $\Delta \approx 1\%$  e 0.3%  $\Delta$  rispetto al numero medio di bovini e suini per quadrante.

**Qual è il legame tra lo spandimento di effluenti e PM e ASI?**



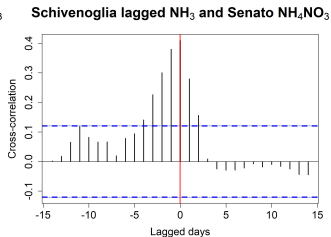
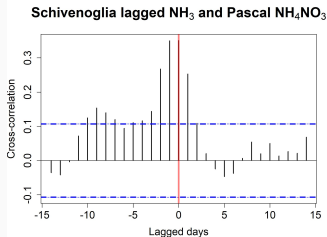
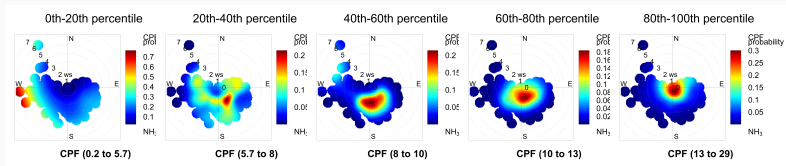
# IMPATTO DELLO SPANDIMENTO SUL $PM_{2.5}$



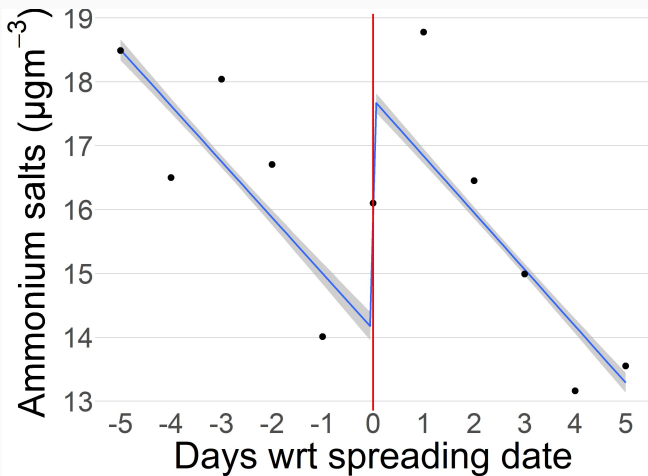
Concentrazioni medie di  $PM_{2.5}$   
prima dello spandimento  
( $t \in W^-$ )

Concentrazioni medie di  $PM_{2.5}$   
dopo lo spandimento  
( $t \in W^+$ )

# CORRELAZIONE — CROSS-CORRELAZIONE



# IMPATTO DELLO SPANDIMENTO DI REFLUI ZOOTECNICI SULL'ASI NELLA STAZIONE DI FONDO DI MILANO



- Un aumento dell'1% nei bovini corrisponde in media a un aumento dell'1.8% nelle concentrazioni di  $\text{NH}_3$  e dello 0.8% nel  $\text{PM}_{10}$ .
- Un aumento dello 0.3% nei suini si traduce in un aumento medio dello 0.26% nelle concentrazioni di  $\text{NH}_3$  e dello 0.03% nel  $\text{PM}_{10}$ .
- Evidenze di trasporto dell' $\text{NH}_3$  nella città di Milano.
- Lo spandimento di letame è correlato con un aumento medio nell'ASI di  $\sim 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a Milano.

# GRAZIE!

---

**Domande?**

**lara.aleluia@eiee.org**

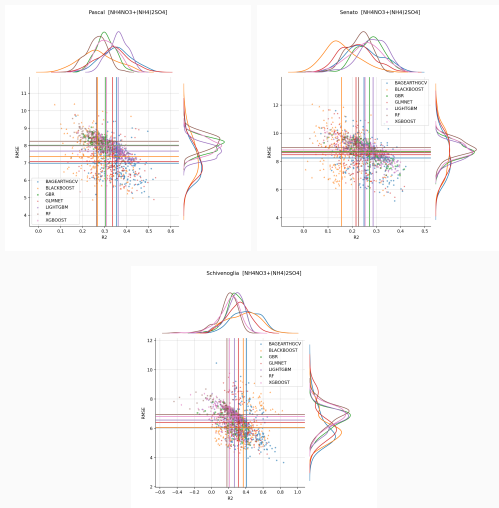
**francesco.granella@eiee.org**

**stefania.renna@eiee.org**

**Extra**

---

# CHOOSING MODELS ON PERFORMANCE

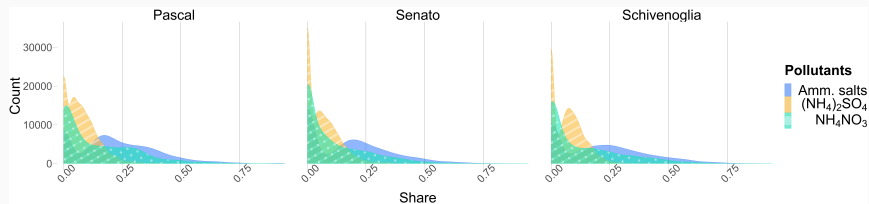


Back

**How relevant are ammonium salts wrt the total PM mass?**



# SIA CHARACTERIZATION — AMMONIUM SALTS SHARES



**Table 1:** Percentiles of ammonium salts share in PM<sub>10</sub> for Pascal, Senato, and Schivenoglia (2013-2020).

	Percentile				
	0th	25th	50th	75th	100th
Pascal	0.03	0.17	0.25	0.36	0.94
Senato	0.02	0.17	0.24	0.34	0.89
Schivenoglia	0.01	0.18	0.27	0.39	0.87

**How often does SIA contribute to overshooting  $PM_{10}$  limits?**

## LEGAL AND RECOMMENDED PM<sub>10</sub> LIMITS

**Table 2:** Ammonium salts annual mean in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , number of days above the daily EU limit, number of days above the daily EU limit under discussion, number of days above the daily WHO recommended value, for the year 2013-2020 at Pascal, Senato, and Schivenoglia.

Station	Ammonium salts annual mean ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	N. days above daily EU limit ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>1</sup>	N. days above daily EU limit under discussion ( $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>2</sup>	N. days above daily WHO value ( $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>3</sup>
Pascal	11.6	4.2	6.4	6.4
Senato	11.8	3.5	5	5
Schivenoglia	10.3	2.9	4.3	4.3

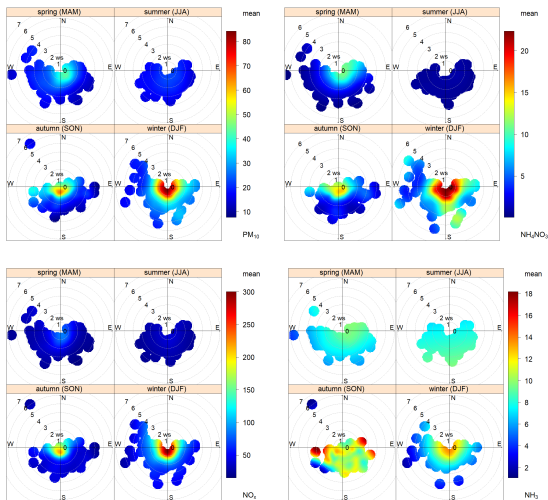
<sup>1</sup> With a maximum of 35 days of exceedance per calendar year.

<sup>2</sup> With a maximum of 18 days of exceedance per calendar year.

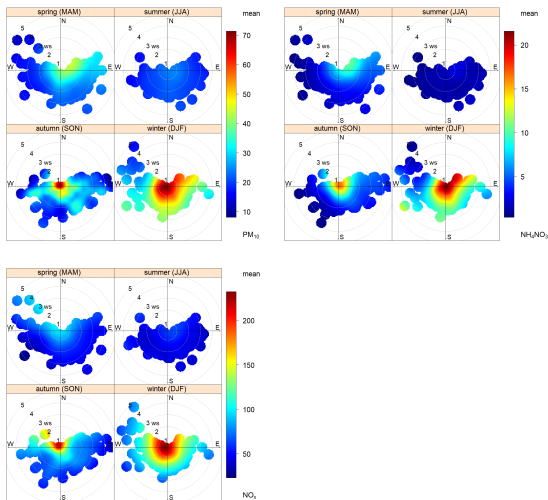
<sup>3</sup> With a maximum of 3-4 days of exceedance per calendar year.

**How does SIA correlate with meteorology  
and its precursors?**

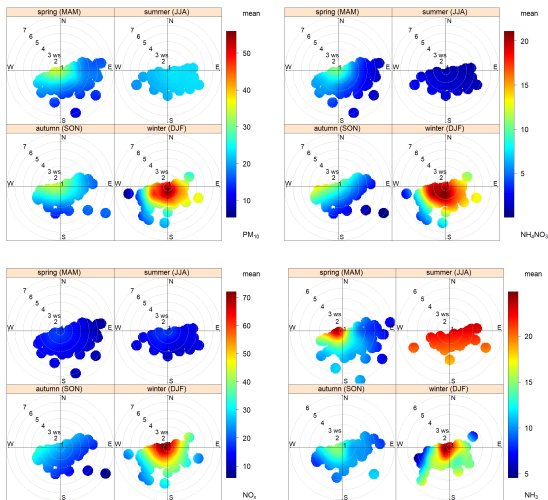
# CORRELATION — SEASONAL POLLUTION WIND ROSES FOR PASCAL



# CORRELATION — SEASONAL POLLUTION WIND ROSES FOR SENATO

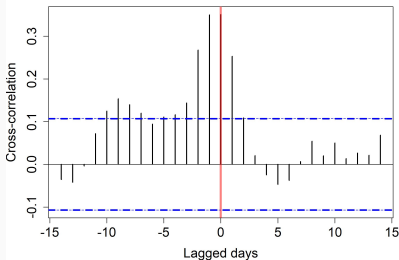


# CORRELATION — SEASONAL POLLUTION WIND ROSES FOR SCHIVENOGLIA

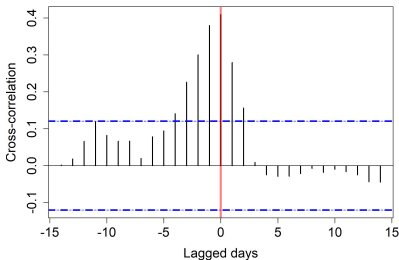


# CORRELATION — CROSS-CORRELATION

Schivenoglia lagged  $\text{NH}_3$  and Pascal  $\text{NH}_4\text{NO}_3$



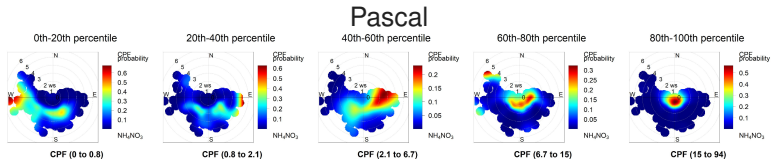
Schivenoglia lagged  $\text{NH}_3$  and Senato  $\text{NH}_4\text{NO}_3$



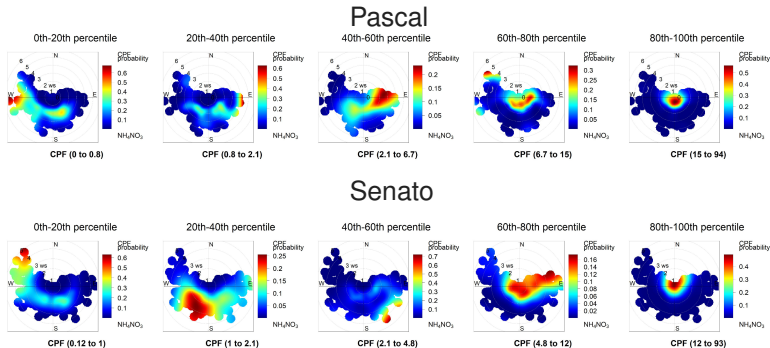
- SIA in Pascal is significantly positively correlated with  $\text{NH}_3$  concentration in Schivenoglia up to 10 previous days.
- SIA in Senato (traffic station) is significantly positively correlated with  $\text{NH}_3$  concentration in Schivenoglia up to 4 previous days.



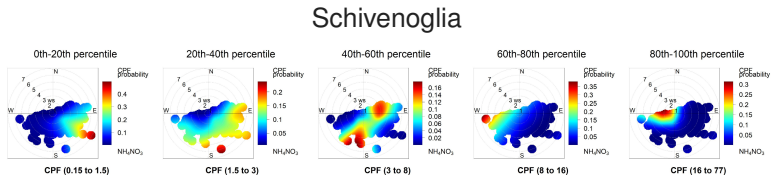
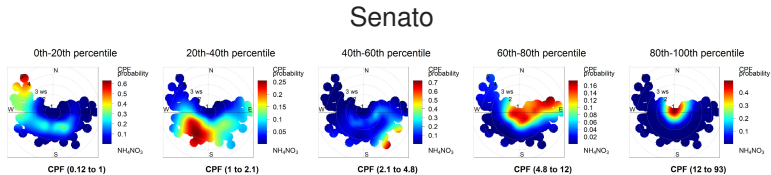
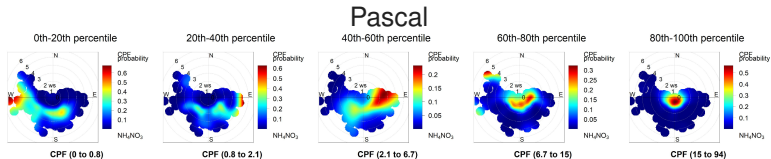
# CORRELATION — AMMONIUM NITRATES CBPF



# CORRELATION — AMMONIUM NITRATES CBPF



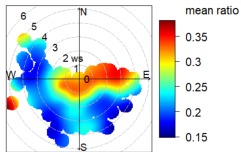
# CORRELATION — AMMONIUM NITRATES CCPF



# CORRELATION — AMMONIUM SALTS / PM RATIO

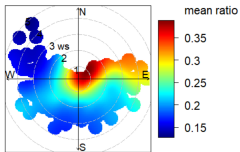
## Pascal

$[\text{NH}_4\text{NO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_2] / \text{PM}_{10}$  ratio



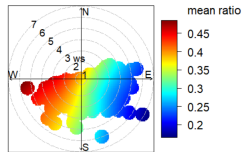
## Senato

$[\text{NH}_4\text{NO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_2] / \text{PM}_{10}$  ratio



## Schivenoglia

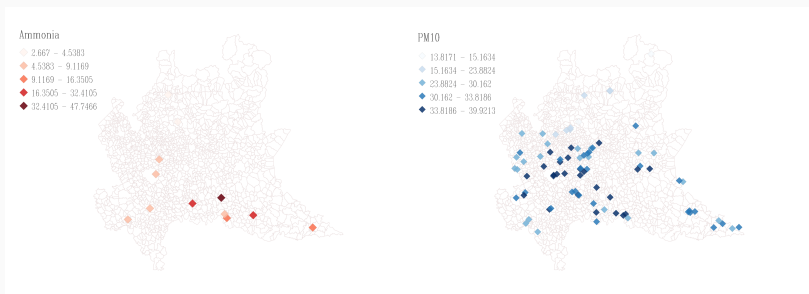
$[\text{NH}_4\text{NO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_2] / \text{PM}_{10}$  ratio



# DATA USED - IMPACT OF AN ANIMAL UNIT ON POLLUTION

NH<sub>3</sub> stations

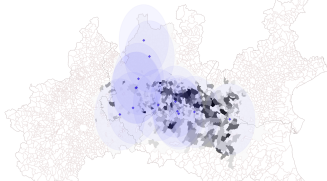
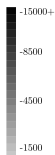
PM<sub>10</sub> stations



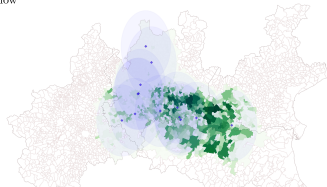
# DATA USED - IMPACT OF AN ANIMAL UNIT ON POLLUTION

## Pigs

Average Outflow

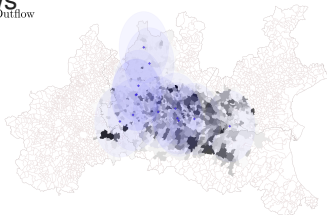
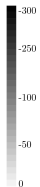


Average Inflow

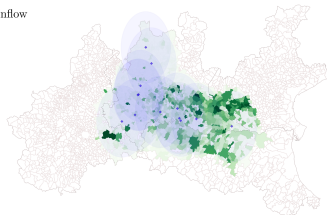


## Cows

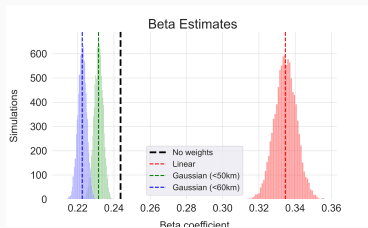
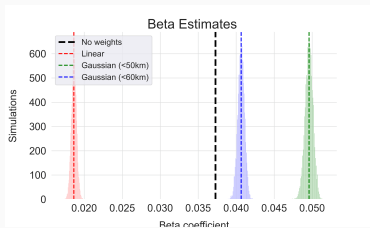
Average Outflow



Average Inflow



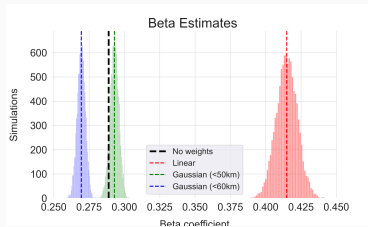
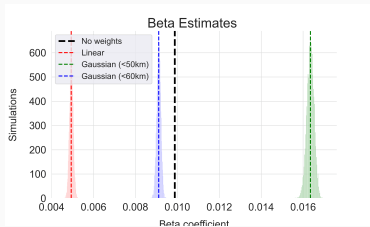
# RESULTS - IMPACT OF AN ANIMAL UNIT ON POLLUTION



## On $\text{NH}_3$ :

- The average **effect of 1000 pigs** is **0.04  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**  (0.26%).
- The average **effect of 1000 cows** is **[0.286-0.332]  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**  (1.8%).
- A 1000  $\Delta \approx 1\%$  and 0.3%  $\Delta$  wrt average cattle and pigs per quadrant.

# RESULTS - IMPACT OF AN ANIMAL UNIT ON POLLUTION



## On PM:

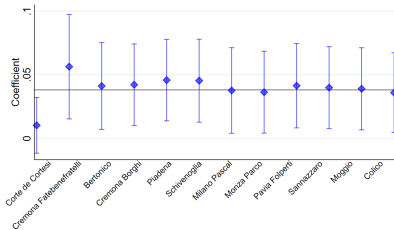
- The average **effect of 1000 pigs is [0.001-0.004]  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**  (0.03%).
- The average **effect of 1000 cows is [0.247-0.289]  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**  (0.8%).
- $1000\Delta \approx 1\%$  and  $0.3\% \Delta$  wrt average cattle and pigs per quadrant.



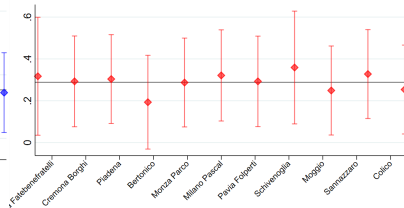
# RESULTS - IMPACT OF AN ANIMAL UNIT ON POLLUTION

## NH<sub>3</sub>

Pigs Variation - Dropping stations

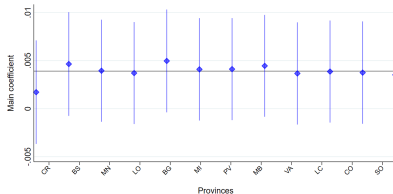


Cows Variation - Dropping stations

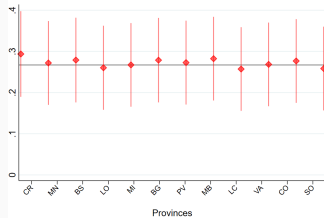


## PM<sub>10</sub>

Swines Variation - Dropping stations



Cows Variation - Dropping stations



# CAUSAL IMPACT OF MANURE SPREADING EVENTS

## December 2017

Mon Tue Wed Thu Fri Sat Sun

01	02	03
----	----	----

04	05	06	07	08	09	10
----	----	----	----	----	----	----

11	12	13	14	15	16	17
----	----	----	----	----	----	----

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5



04dec

08dec

09dec

13dec



## February 2018

Mon Tue Wed Thu Fri Sat Sun

01	02	03	04
----	----	----	----

05	06	07	08	09	10	11
----	----	----	----	----	----	----

12	13	14	15	16	17	18
----	----	----	----	----	----	----

5 4 3 2 1 0 -1 -2 -3 -4

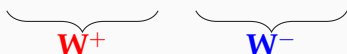


06feb

10feb

11feb

15feb

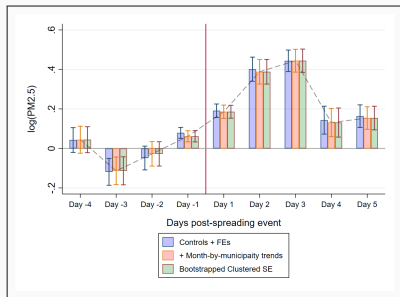


# PRELIMINARY ESTIMATES: MANURE SPREADING AND $PM_{2.5}$

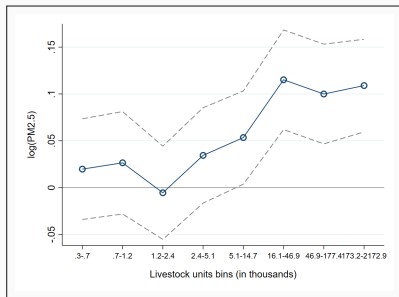
1) 
$$\log(PM2.5)_{mt} = \sum_{k=0}^N \eta_k \mathbb{1}\{K_{mt} = k\} + X_{mt}\Gamma + \Lambda + \varepsilon_{mt}$$

2) 
$$\log(PM2.5)_{mt} = \eta E_{mt} + \sum_{b \in B} \rho_b [E_{mt} \times L_{bmt}] + X_{mt}\Gamma + \Lambda + \varepsilon_{mt}$$

1)



2)



Milan-specific  $\beta$  of 0.0063 (Baccini et al. 2011; Carugno et al. 2017)

$$ADR_y = \frac{\sum_y AD}{N_y} \times 100000 \quad (1)$$

$$YLLR_y = \frac{\sum_y YLL}{N_y} \times 100000 \quad (2)$$

$$AD_{a,g,y} = D_{a,g,y} \times PAF \times N_{a,g,y} \quad (3)$$

$$YLL_y = \sum_{a,y} \sum_{g,y} LE_{a,g} \times AD_{a,g,y} \quad (4)$$

$$PAF = 1 - \frac{1}{RR} \quad (5)$$

$$RR = e^{(\beta \times (C - C_0))} \quad (6)$$

## **Policy tool**

---

**When should manure be spread, considering  
PM concentrations?**