

Progetto INHALE

Impatto sulla salute umana delle emissioni di agricoltura e allevamento



Risultati preliminari

L'inquinamento atmosferico resta la principale minaccia ambientale per la salute in Europa, come di recente ricordato dall'Agenzia Europea dell'Ambiente (AEA). L'Italia è il secondo Paese dell'Unione Europea (UE) per numero di morti premature per l'inquinamento atmosferico, con la più alta concentrazione nella ricca e popolosa pianura Padana. Il periodo di lockdown legato alla pandemia di COVID-19, isolando altre attività economiche normalmente associate all'inquinamento, ha permesso di evidenziare quanto l'agricoltura e l'allevamento contribuiscano al problema. L'agricoltura è la principale fonte di emissioni di ammoniaca (NH_3), associate alla gestione delle deiezioni zootecniche e all'uso di fertilizzanti. Il contributo delle emissioni di NH_3 ai livelli di particolato che registriamo nella pianura Padana è sostanziale: attraverso interazioni con altri inquinanti gassosi – in particolare ossidi di azoto (NO_x) e di zolfo (SO_x) derivanti da traffico, impianti termici e attività industriali – l' NH_3 costituisce infatti il principale precursore della formazione di aerosol secondario inorganico (ASI) contenente sali d'ammonio.

L'impatto delle pratiche agro-zootecniche sul ciclo dell'azoto in Lombardia

La Lombardia è una regione con densità di capi allevati molto elevata: in rapporto al territorio, il numero di unità di bestiame (LU) è circa quadruplo rispetto a quello del resto d'Italia, e più che doppio rispetto a quello delle altre regioni della Pianura Padana. La Lombardia è anche la seconda consumatrice di concimi minerali in Italia dopo l'Emilia Romagna: le due regioni insieme sono responsabili del 40% dei consumi nazionali di azoto fertilizzante. I forti apporti di azoto reattivo, da fertilizzanti e da deiezioni zootecniche, ai suoli della pianura lombarda sono responsabili dei livelli estremamente alti di emissioni di NH_3 di fonte agricola, stimate in $3,8 \text{ ton/km}^2$ all'anno in rapporto all'intero territorio regionale (INEMAR) contro un dato medio per UE27 pari a $0,8 \text{ ton/km}^2$ (AEA). L'adeguamento degli input di azoto ai limiti della capacità di assorbimento delle colture costituisce un indirizzo fortemente auspicabile, da conseguire anche attraverso la differenziazione e la rotazione delle colture e delle produzioni aziendali, la riduzione e la miglior distribuzione dei capi allevati in rapporto al territorio, il miglioramento dell'applicazione dei fertilizzanti. La persistenza di eccessivi input di azoto nel sistema agricolo regionale, sia che derivino da concimi minerali o da effluenti zootecnici, determina il rilascio di sostanze fuggitive dal ciclo

naturale dell'azoto, dannose per l'inquinamento atmosferico (emissioni di NH_3), per la qualità delle acque (nitrati, nitriti) e per il contributo al cambiamento climatico (N_2O). Pratiche rivolte a ridurre le emissioni atmosferiche di NH_3 possono d'altro canto determinare la migrazione di composti problematici dell'azoto verso altri comparti ambientali sensibili (suolo, acqua). Per questo è fondamentale ridurre, complessivamente, gli input di azoto al sistema agricolo e zootecnico della Lombardia, al fine di ripristinare la circolarità dell'azoto, anche a livello di singole aziende e distretti agricoli.

Nel progetto INHALE, abbiamo studiato le condizioni in cui le emissioni derivanti dall'agricoltura concorrono ad elevate concentrazioni di particolato e, di conseguenza, possono determinare un connesso aumento di rischio sanitario per la popolazione della Lombardia. Analizzando i dati riferiti al periodo del lockdown dovuto alla pandemia di COVID-19 abbiamo studiato i regimi di formazione del PM_{10} di sali di ammonio. Infine, abbiamo esaminato il ruolo specifico dell'allevamento intensivo e il suo impatto sull'esposizione all'inquinamento atmosferico della popolazione lombarda.

Risultati e conclusioni

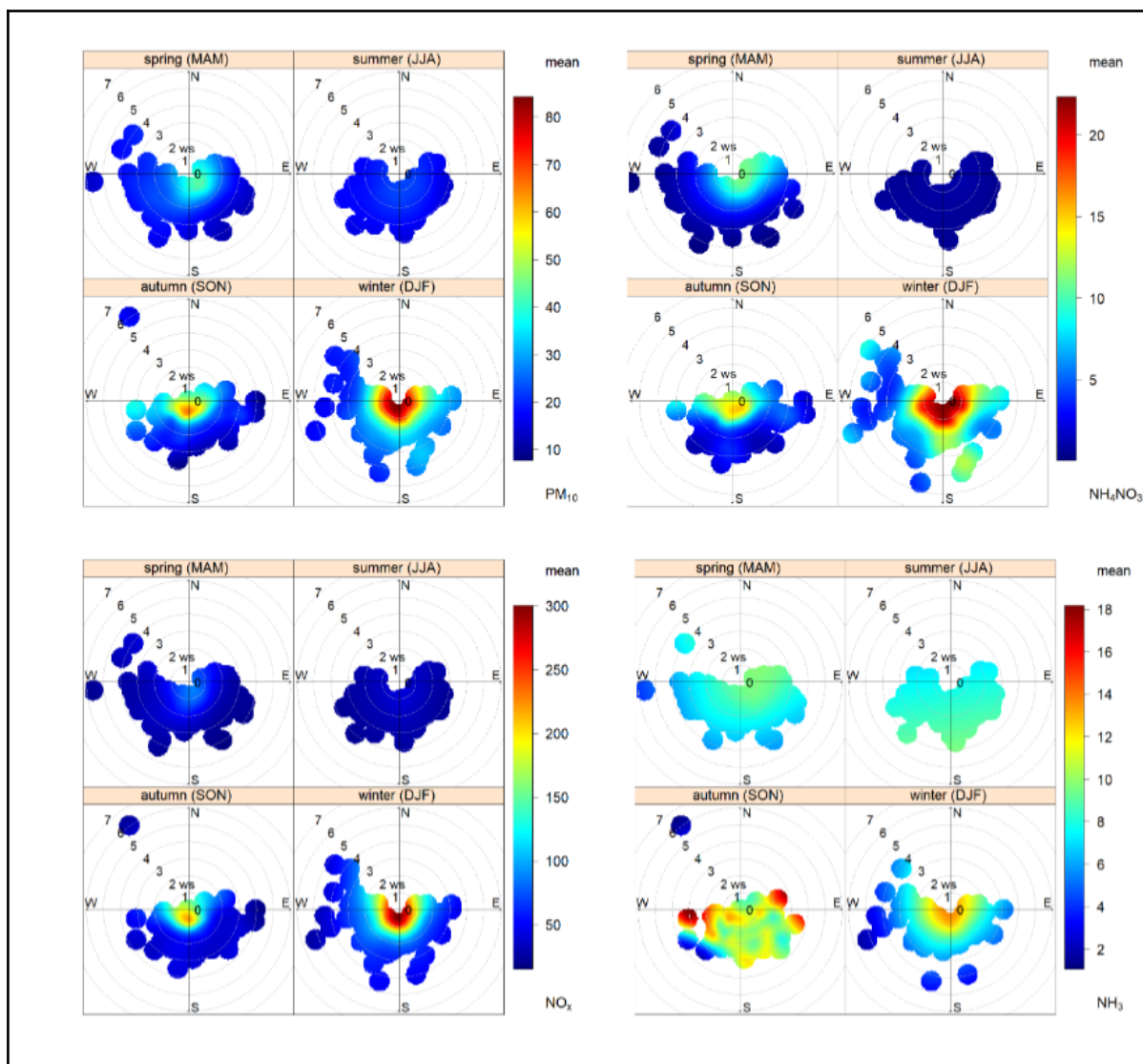
Caratteristiche della formazione del particolato secondario inorganico in Lombardia:

- L'agricoltura in Lombardia costituisce la fonte del 97% delle emissioni di NH_3 (INEMAR, 2019), che, combinata con nitrati e solfati, forma particolato nella forma fisica di ASI. In alcune aree, in particolare nelle regioni agricole e periurbane, il particolato fine (PM) secondario può rappresentare una quota significativa del PM totale. Questo è il caso della Lombardia, inclusa l'area metropolitana di Milano, dove il PM secondario può costituire più del 50% del PM_{10} . (Affidabilità: Molto alta)
- In Lombardia, l'ASI contribuisce in modo rilevante allo sfioramento dei limiti europei annuali e giornalieri di PM_{10} . (Affidabilità: Molto alta)
- In Lombardia, il nitrato di ammonio è la specie chimica prevalente nella composizione dell'ASI. Le politiche regionali dovrebbero dare priorità alla riduzione dei nitrati di ammonio, e quindi alle emissioni dei relativi precursori gassosi, NO_x e NH_3 . (Affidabilità: Molto alta)
- L'ASI è correlato con le concentrazioni di PM_{10} , evidenza che corrobora la tesi dell'importanza dei contributi delle emissioni agricole. (Affidabilità: Molto alta)
- In Lombardia, le concentrazioni più elevate di ASI si riscontrano nelle giornate invernali con assenza di vento e in presenza di inversione termica persistente, dimostrando che il problema è aggravato dalle condizioni meteorologiche della regione, sfavorevoli alla dispersione dell'inquinamento. (Affidabilità: alta)
- Nel centro e nella periferia di Milano abbiamo osservato evidenze di trasporto di NH_3 , proveniente soprattutto dai quadranti est del territorio regionale, dove la densità di allevamenti zootecnici è molto alta. Al contrario, sembra che gli NO_x siano principalmente di origine locale. Ciò suggerisce che agire solo a livello locale

potrebbe non essere sufficiente per ridurre in maniera sostanziale i livelli di PM₁₀. (Affidabilità: Alta)

- D'altra parte, abbiamo riscontrato che nell'area rurale di Schivenoglia situata in provincia di Mantova (MN), alte concentrazioni di NH₃ e NO_x provengono maggiormente da fonti vicine situate ad ovest. I livelli più elevati di ASI si registrano quando il vento soffia da fonti concentrate di NO_x. (Affidabilità: Alta)
- In conclusione, politiche monosettoriali non producono sostanziali riduzioni nell'ASI. Solo agendo su emissioni di NO_x e da agricoltura e allevamento si possono raggiungere riduzioni significative in ASI. (Affidabilità: Alta)

Figura 1. Grafici polari stagionali per concentrazioni giornaliere alla stazione di fondo Milano Pascal.



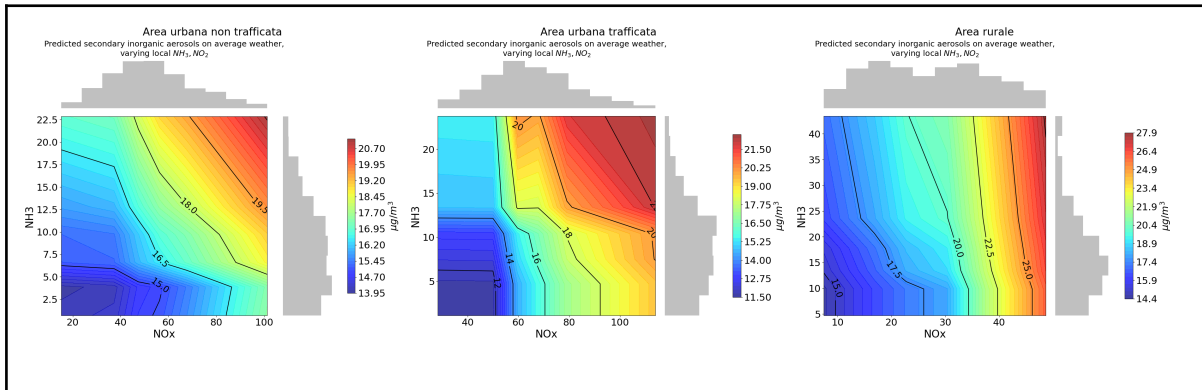
Riduzione degli aerosol secondari inorganici in Lombardia:

- È stato riscontrato che il **lockdown della primavera 2020 non ha portato a una riduzione sostanziale dell'ASI**, nonostante la limitazione delle emissioni dal settore dei trasporti e delle concentrazioni di NO_2 (Granella *et al.* 2020). La quasi eliminazione del trasporto su strada ha ridotto gli aerosol inorganici secondari soltanto in aree caratterizzate da intenso traffico e, dunque, non rappresentative del resto della regione. Tali aree hanno beneficiato di una ulteriore riduzione locale di NH_3 da traffico. Si sottolineano tuttavia le marcate non-linearità nei comportamenti di NH_3 , NO_2 , e ASI. (Affidabilità: Alta)
- In località caratterizzate da intenso traffico, la riduzione di NO_x dall'80esimo al 20esimo percentile (ovvero da 81 a 52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, una riduzione del 35%) riduce il PM_{10} secondario di circa 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sia a basse che ad alte concentrazioni di NH_3 . La riduzione di NH_3 dall'80esimo al 20esimo percentile (ovvero da 13 a 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, una riduzione del 69%) riduce il PM_{10} secondario di circa 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sia a basse che ad alte concentrazioni di NO_x . (Affidabilità: Bassa)
- **Nelle aree urbane di Milano** non caratterizzate da intenso traffico veicolare, la **riduzione di NO_x** dall'80esimo al 20esimo percentile (da 69 a 38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, una riduzione del 45%) **riduce il PM_{10} secondario tra 1 e 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** sia a basse che ad alte concentrazioni di ammoniaca. **Ridurre ulteriormente le concentrazioni di NH_3** dall'80esimo al 20esimo percentile (da 12 a 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ovvero una riduzione di due terzi) **riduce il PM_{10} secondario di circa 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . (Affidabilità: Bassa)
- In aree rurali, riduzioni di NH_3 possono fornire miglioramenti del PM_{10} solo a basse concentrazioni di NO_x ($< \sim 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$). (Affidabilità: Bassa)
- La ricerca sull'efficacia delle politiche di riduzione dell'inquinamento atmosferico può trarre grande beneficio da una migliore copertura spaziale e temporale del monitoraggio della composizione del PM, ottenibile con una rete più capillare delle stazioni di rilevamento di questo parametro.

Tabella 1. Effetto sul PM_{10} della riduzione simultanea di NH_3 e NO_x del 50% a partire dal valore mediano.

Milano, zona non-traffico	1,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Milano, zona traffico	3,36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Schivenoglia, area rurale	3,48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Figura 2. Evoluzione prevista delle concentrazioni di ASI al variare di NH_3 e NO_x .



L'impatto dell'intensità dell'allevamento sull'esposizione umana all'inquinamento atmosferico:

Abbiamo usato un approccio econometrico spaziale per stimare l'impatto causale dell'allevamento rispettivamente di bovini e suini sulle concentrazioni di NH_3 e PM_{10} in Lombardia. Questo approccio differisce da quello descritto dalla letteratura esistente, in cui l'impatto è usualmente stimato a livello di emissioni.

L'impatto è stato valutato sulla base dei dati di variazione della popolazione zootecnica registrati nelle municipalità di Lombardia e regioni confinanti da quadranti definiti dalla direzione di origine dei venti dominanti vicino al sensore (~ 50 km) dalla stazione di misura, integrando anche i dati meteorologici per compensare la variabilità dei dati di concentrazione degli inquinanti atmosferici.

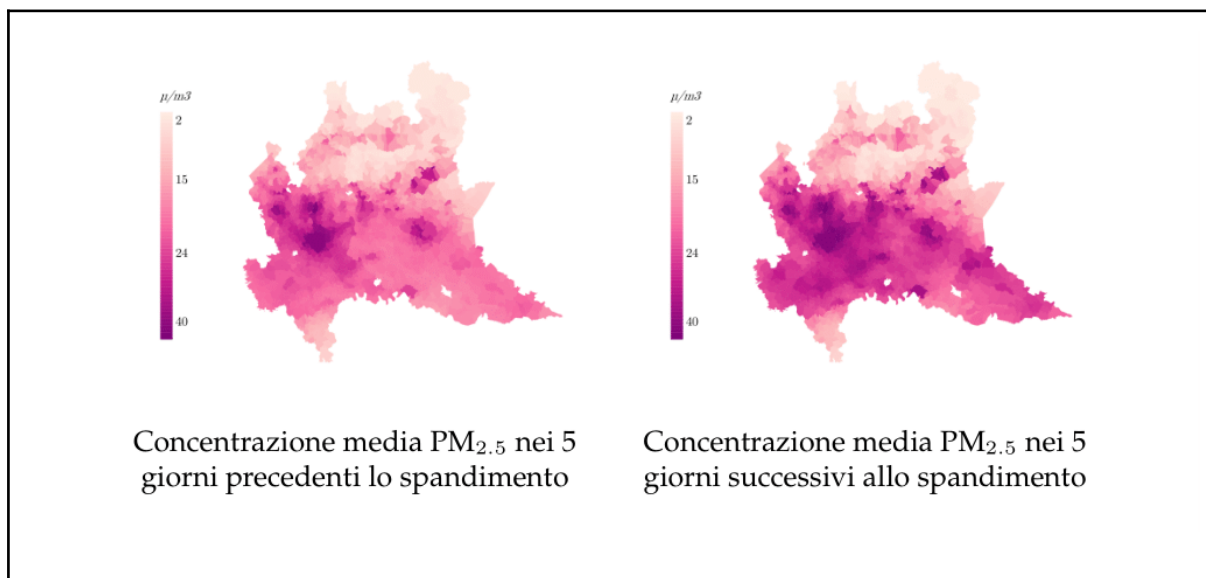
- I risultati hanno mostrato che un ipotetico aumento di 1000 unità di bovini (pari a ca. 1% della media del numero di capi per quadrante) aumenta i livelli di ammoniaca in media di $0,332 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (circa l'1,8% di variazione rispetto alle concentrazioni medie) e i livelli di PM_{10} di $0,289 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in media. Ciò significa che senza investimenti in misure di controllo dell'inquinamento atmosferico per l'agricoltura, ci si aspetta un aumento medio di $0,289 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM_{10} per ogni aumento di 1000 unità di bovini nel quadrante sopravvento. La stessa grandezza si applica a una riduzione di 1000 unità di bovini. (Confidenza: Alta)
- Per quanto riguarda i suini, un aumento di 1000 unità (0,3%) aumenta i livelli di NH_3 di $0,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (circa lo 0,26% rispetto alle concentrazioni medie) e i livelli di PM_{10} di $0,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dal confronto sulla base del numero di capi emerge un minore impatto per unità dei suini rispetto a quello dei bovini. (Confidenza: Alta)
- Ai fini della riduzione dell'inquinamento atmosferico, il contenimento o la riduzione del numero di capi allevati può determinare una riduzione delle emissioni inquinanti, se affiancata da sistemi di abbattimento delle emissioni basati sulla ottimizzazione della alimentazione degli animali per ridurre l'escrezione di composti dell'azoto, sulla raccolta e confinamento delle deiezioni animali, sul loro trattamento attraverso digestione anaerobica con estrazione di biometano e solfato d'ammonio, su tecniche

di applicazione di liquami e digestati al suolo che ne limitino l'esposizione all'aria, sull'appropriato utilizzo in campo secondo piani di fertilizzazione che aumentino l'efficienza di utilizzo dell'azoto e consentano la riduzione di impiego di input fertilizzanti minerali. (confidenza: Alta)

Strumenti a supporto delle politiche

Una delle attività agro-zootecniche maggiormente responsabili per gli ASI è lo spandimento di liquami animali. Come mostra la Figura 3, le concentrazioni medie di $PM_{2.5}$ sono maggiori dopo i periodi in cui è ammesso lo spandimento.

Figura 3. Concentrazioni medie di $PM_{2.5}$ prima (sinistra) rispetto a durante e dopo (destra) le giornate in cui è ammesso lo spandimento di liquami.



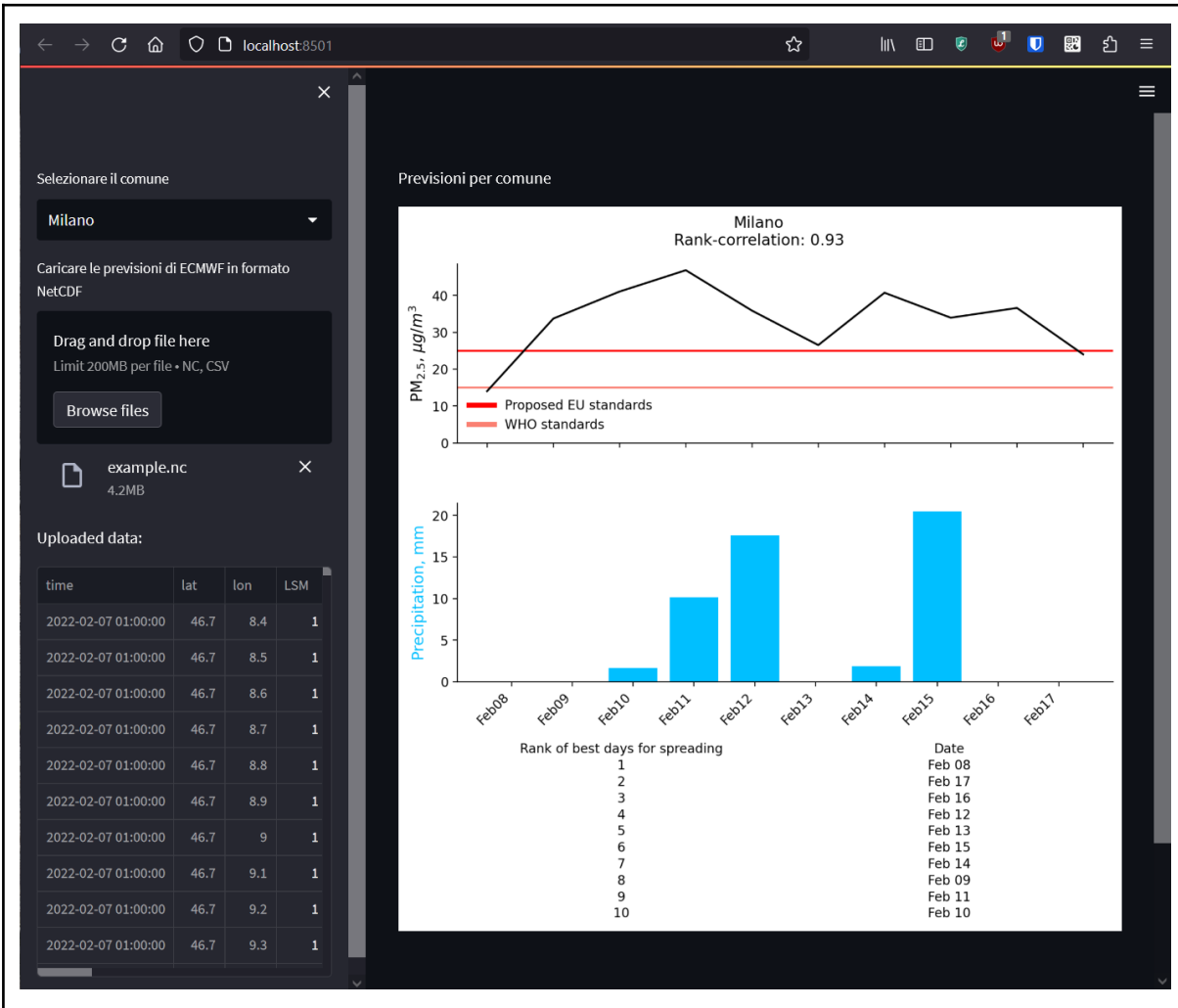
Il progetto INHALE ha sviluppato a livello di prototipo uno strumento open-source (<https://github.com/francescogranello/spandimentotool>) che persegue la riduzione dell'impatto delle emissioni derivanti dallo spandimento di liquami zootecnici sull'esposizione umana. Lo fa programmando lo spandimento nei giorni meteorologicamente meno favorevoli all'accumulo di inquinamento. Il tool mostra con 10 giorni di anticipo i periodi in cui si prevede che le condizioni meteorologiche determinino condizioni favorevoli alla dispersione degli inquinanti, per aiutare gli agricoltori a programmare le attività di spandimento nei giorni meno problematici. Questo strumento può essere ulteriormente sviluppato e utilizzato come supporto complementare per la pianificazione delle attività agricole.

Figura 4. Esempio di utilizzo del prototipo *spandimentotool* attraverso la linea di comando.

```

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

Figura 5. Esempio di risultato del prototipo *spandimentotool* attraverso interfaccia grafica..



Partner

- Università Bocconi
- RFF-CMCC European Institute on Economics and the Environment (RFF-CMCC EIEE)
- Legambiente Lombardia



Finanziamento

Il progetto è stato finanziato da Fondazione CARIPLO nell'ambito del Bando *Data Science for Science and Society 2020*.

