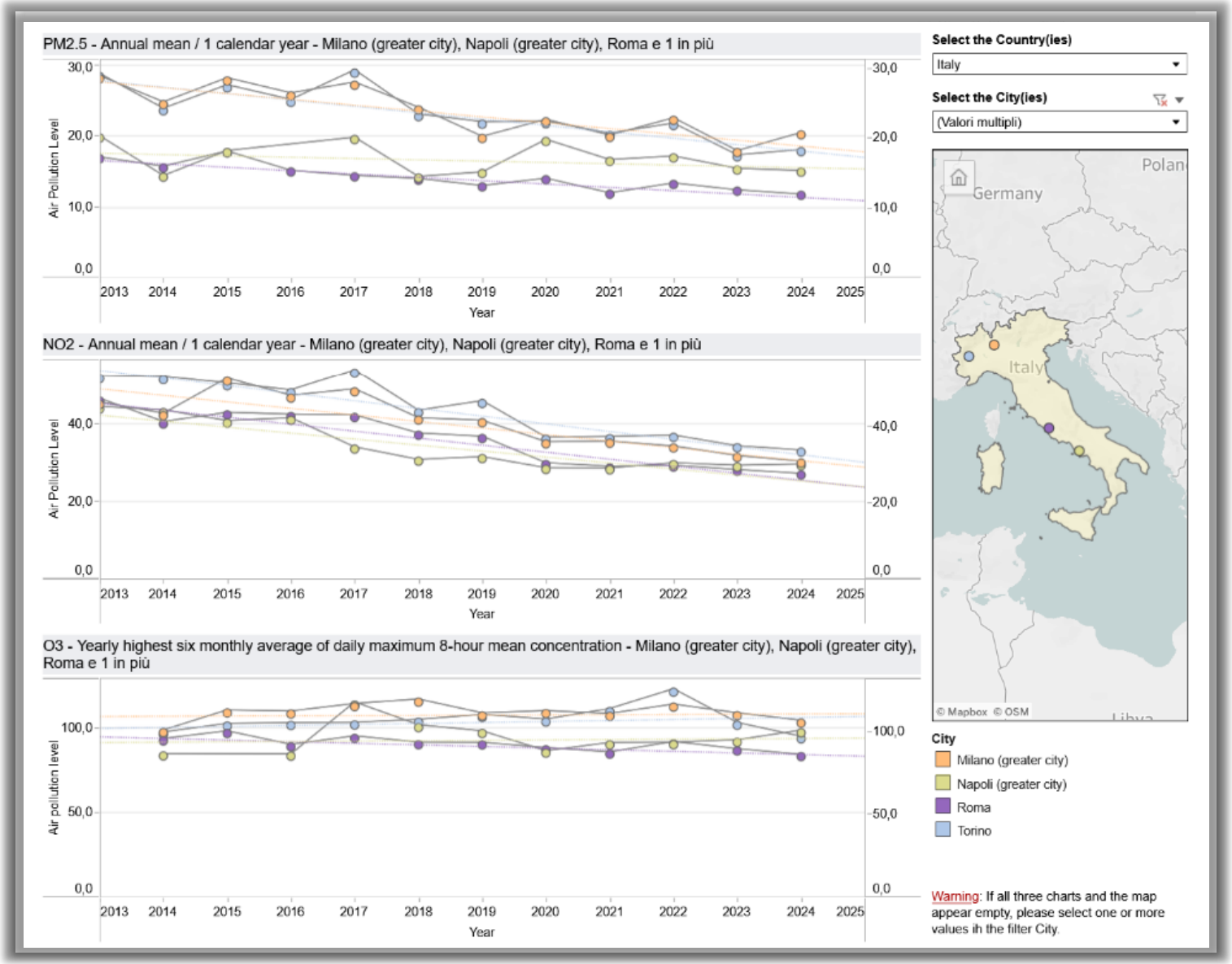


La qualità dell'aria in Italia – Sfide e prospettive
Milano, 20 ott 2026

Qualità dell'aria urbana: evoluzione degli strumenti modellistici a supporto dell'analisi e della pianificazione

Giuseppe Calori, Gianni Tinarelli, Umberto Giuriato, Daniela Barbero, Alessandro Nanni, Alessandro D'Ausilio, Sandro Finardi, Cristina Pozzi, Camillo Silibello, Paola Radice

Trend di lungo periodo in alcune città italiane



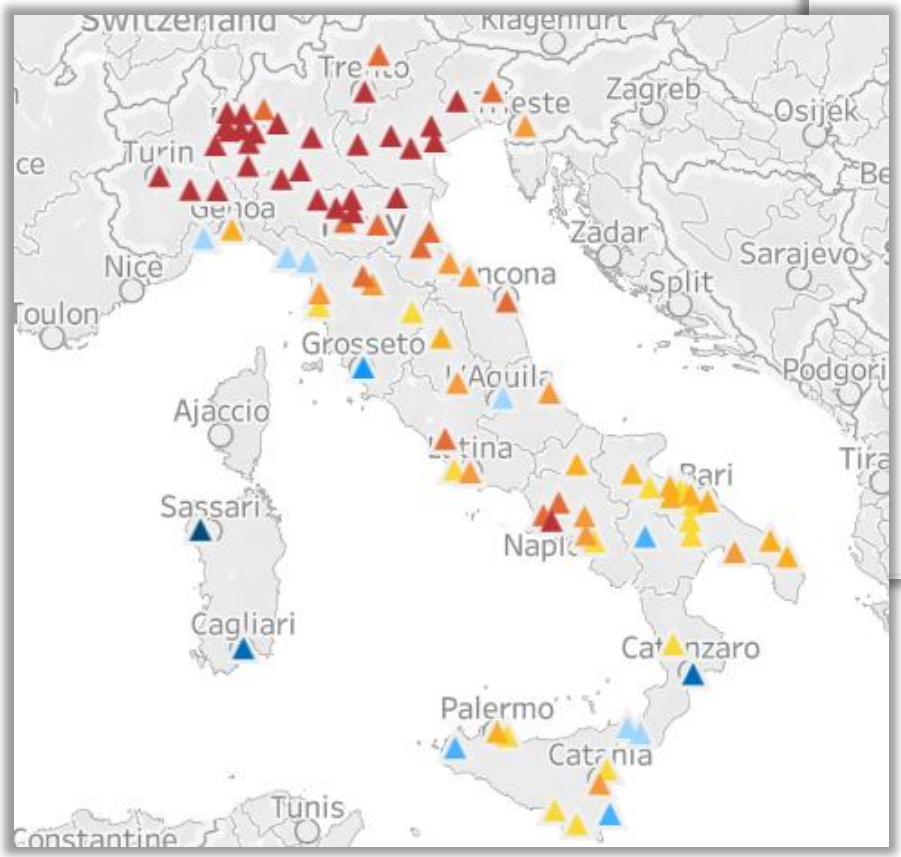
Per il PM2.5 e l'NO2, l'indicatore riportato è la concentrazione media annua.
Per l'ozono, l'indicatore è il valore massimo, su base semestrale, della media mobile su 8 ore delle concentrazioni giornaliere.

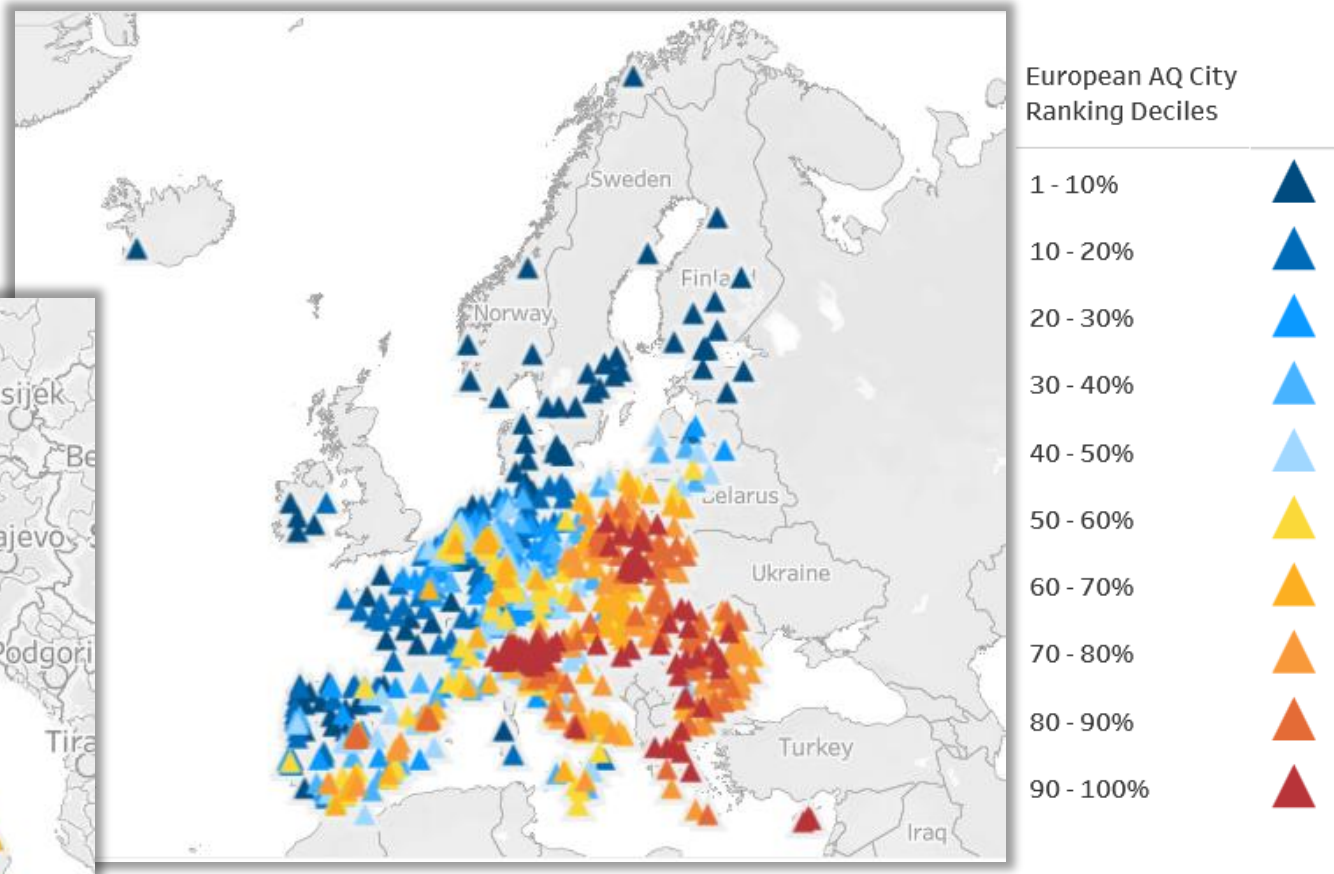
Per ciascuna città, i valori visualizzati rappresentano la media aritmetica delle concentrazioni rilevate in tutti i punti di campionamento situati entro i confini amministrativi della città.

https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/air-pollution/european-city-air-quality-viewer/city-trend-viewer

Come si confrontano le città europee in merito ai rischi per la salute legati all'inquinamento atmosferico?

European Environment Agency





Le città sono classificate in base al rischio di mortalità complessivo associato all'esposizione a lungo termine (secondo l'OMS) a PM2,5, NO2 e O3 nel corso dei due anni solari precedenti (rispetto all'anno di pubblicazione), ipotizzando che l'impatto totale sia pari alla somma dei rischi associati a ciascun singolo inquinante.

https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/air-pollution/european-city-air-quality-viewer

La modellistica in ambito urbano a supporto di…

- Analisi della qualità dell'aria corrente (assessment), a complemento delle stazioni
- Valutazione della rappresentatività spaziale delle stazioni di monitoraggio
- Previsione per il giorno corrente e successivi
- Scenari all'interno dei Piani Regionali di Qualità dell'Aria
- Pianificazione urbana, studi di dettaglio

…come si sono evoluti gli strumenti modellistici e quali sono attualmente disponibili?

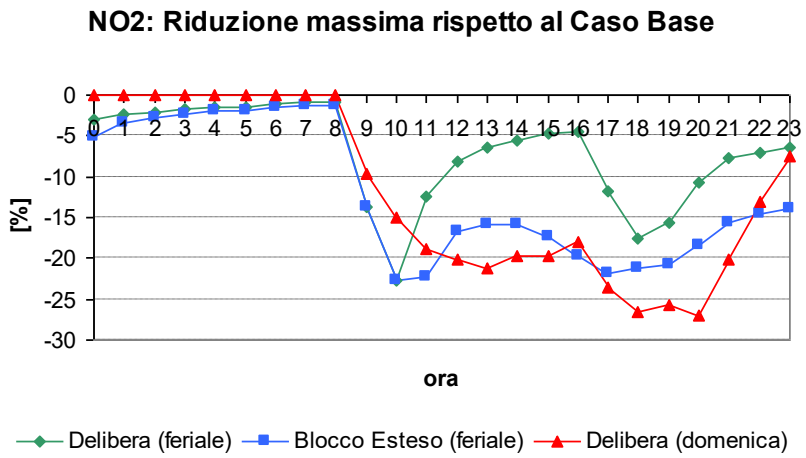
Scenari QA urbana: analisi con strumenti a "scala regionale" (1)

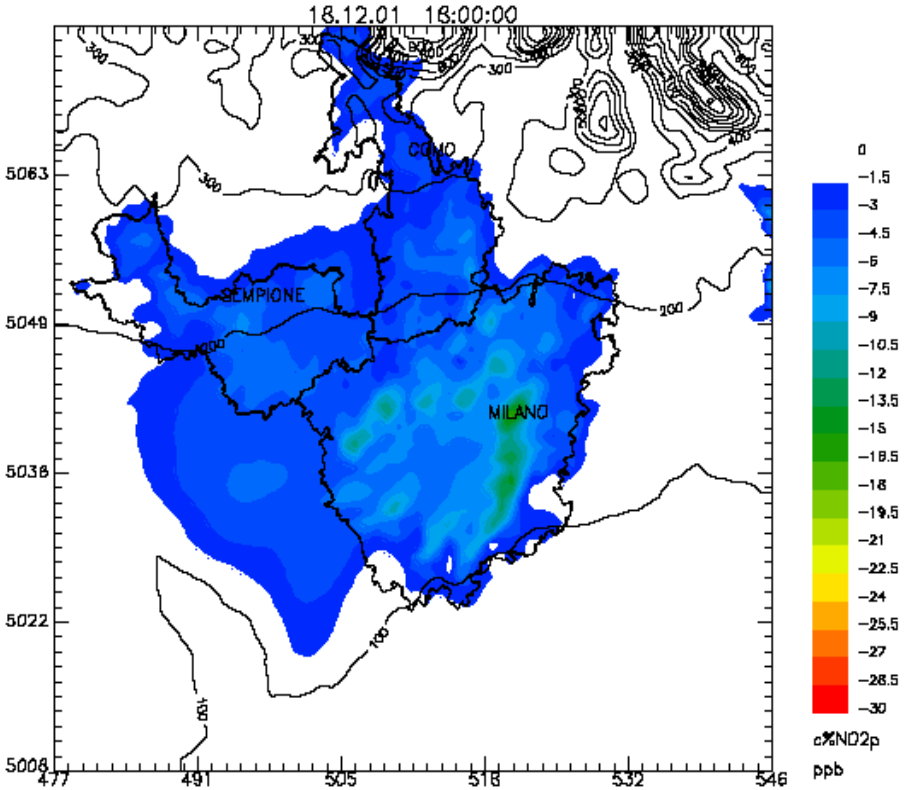
Stima degli effetti derivanti dai provvedimenti relativi alla circolazione autoveicolare per l'inverno 2003-04 "Zona Critica Unica di Milano/Como/Sempione"

Scenari considerati:

1. Blocco dei mezzi non omologati durante i giorni feriali, secondo la Deliberazione n. VII/13856, nelle fasce orarie 8-10 e 16-19 per un totale di 5 ore;
2. Blocco secondo la Deliberazione ma con estensione dalle 8 alle 20 ("Blocco Esteso") per un totale di 12 ore;
3. Blocco domenicale del traffico privato dalle 8 alle 20.

Strumento modellistico: fotochmico **regionale**, $\Delta x = 4$ km





Delibera (feriale): riduzioni percentuali, rispetto al caso base, delle concentrazioni di NO_2 alle ore 18:00

(Studio 2004)

Scenari QA urbana: analisi con strumenti a "scala regionale'

Stima dell'efficacia di vari interventi di controllo delle emissioni sulla qualità dell'aria nel territorio regionale e nell'area di Roma

Scenario 0: situazione al 2005

Scenario 1: situazione al 2010, ovvero azioni previste nel modello ATAC e RAINS 2010

Scenario 2: Scenario 1 + Limitazioni Mobilità Privata e trasporto merci

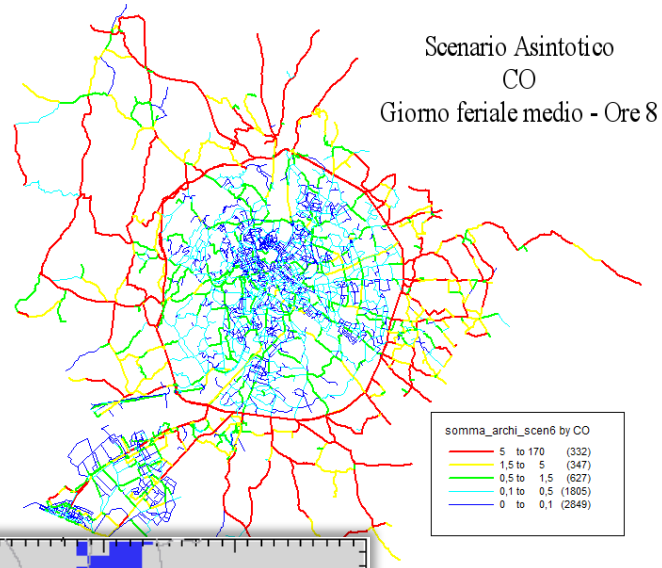
Scenario 3: Scenario 1 + Limitazioni emissioni industriali, risparmio energetico riscaldamento pubblico e privato

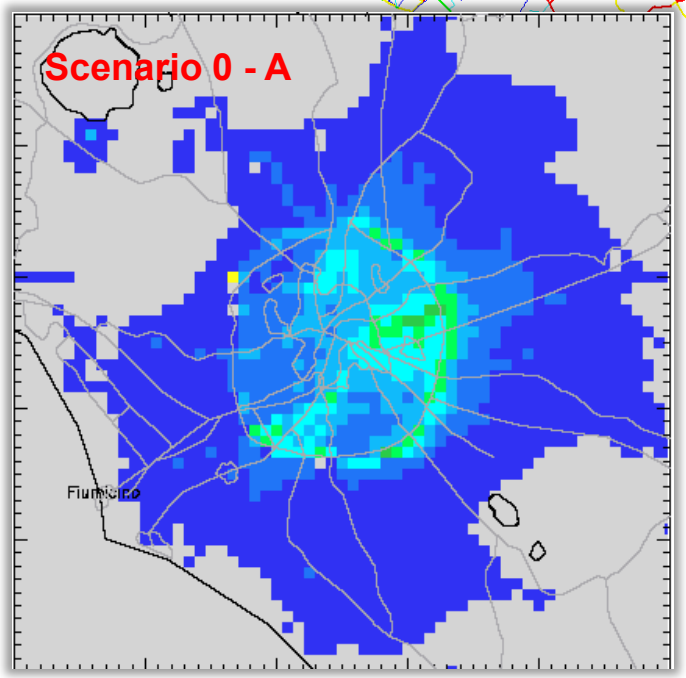
Scenario 4: Scenario 1 + Scenario 2 + Scenario 3

Scenario 6: Limitazioni stagionali ai veicoli Euro 3, targhe alterne, riduzione del 20% del combustibile per il riscaldamento (limit. traffico - Euro3, rid risc.)

Scenario A: Scenario "Asintotico", massima riduzione possibile relativamente alle emissioni da traffico

Scenario 7: Targhe alterne, riduzione del 20% del combustibile per il riscaldamento (targhe alt., rid risc.)







NO_2 [µg/m3]

Diminuzioni medie annuali rispetto allo Scenario 0

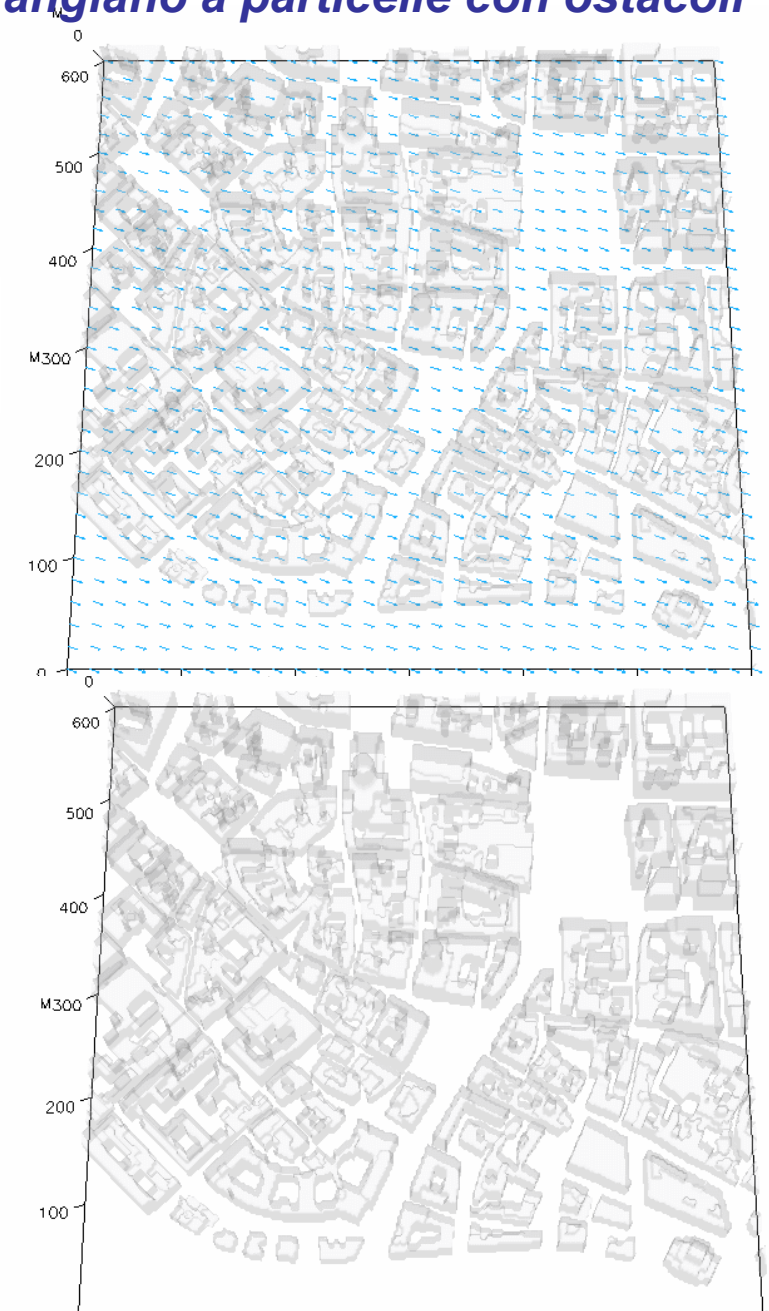
Strumento modellistico:
fotochmico **regionale**,
Δx = 4 km,
1 km su Roma

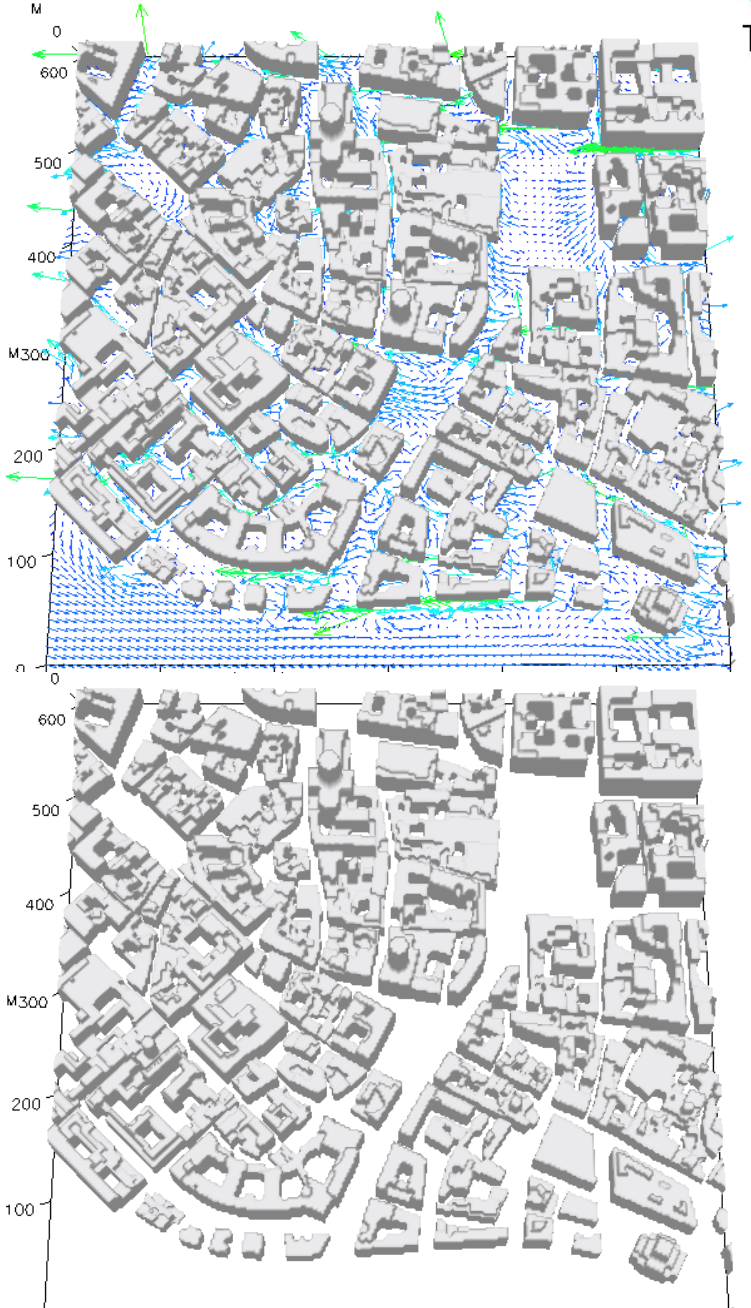
(Studio 2007)

Modellazione ad alta risoluzione in ambiente urbano

Modello lagrangiano a particelle con ostacoli

Senza ostacoli





Con ostacoli

(Roma centro città)

Applicazione alla pianificazione urbana

Impatto quartiere CityLife

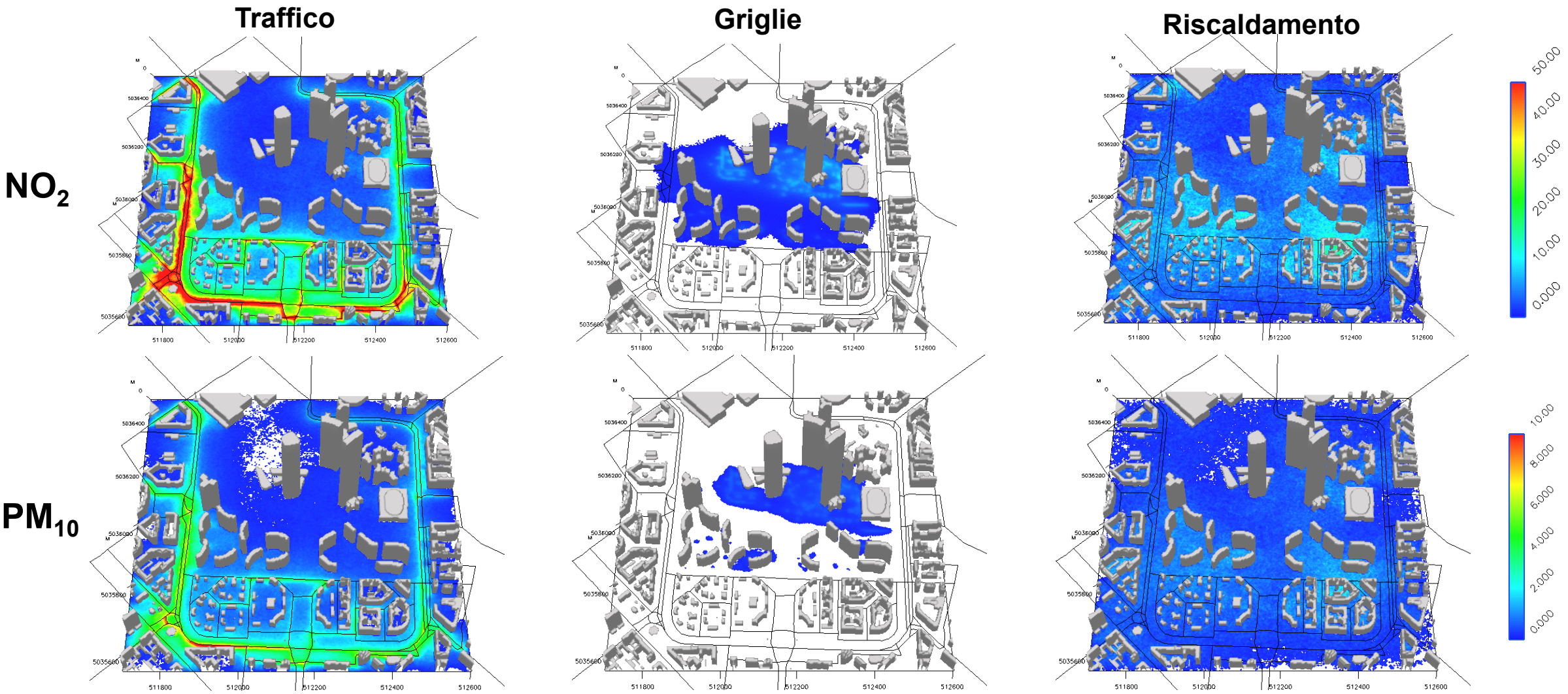


(Studio 2012)

Applicazione alla pianificazione urbana

Impatto quartiere CityLife

Contributi alle concentrazioni da diversi comparti emissivi - Caso invernale



(Studio 2012)

Estensione all'intera città

Modellazione multiscala ibrida *(FARM + PMSS)*

PMSS @ 4 m res., emissioni da traffico stradale

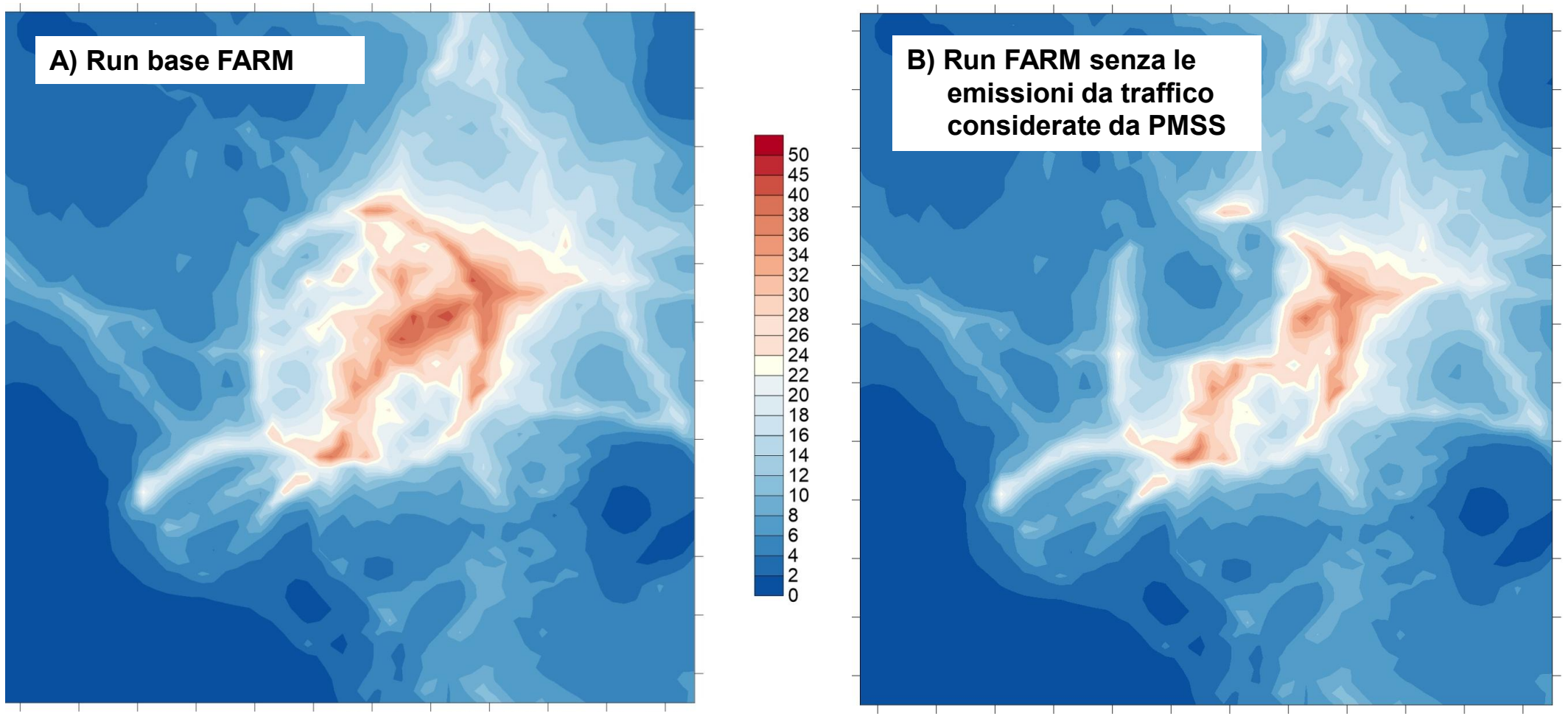
Simulazione annuals diretta



(Studio 2018-19)

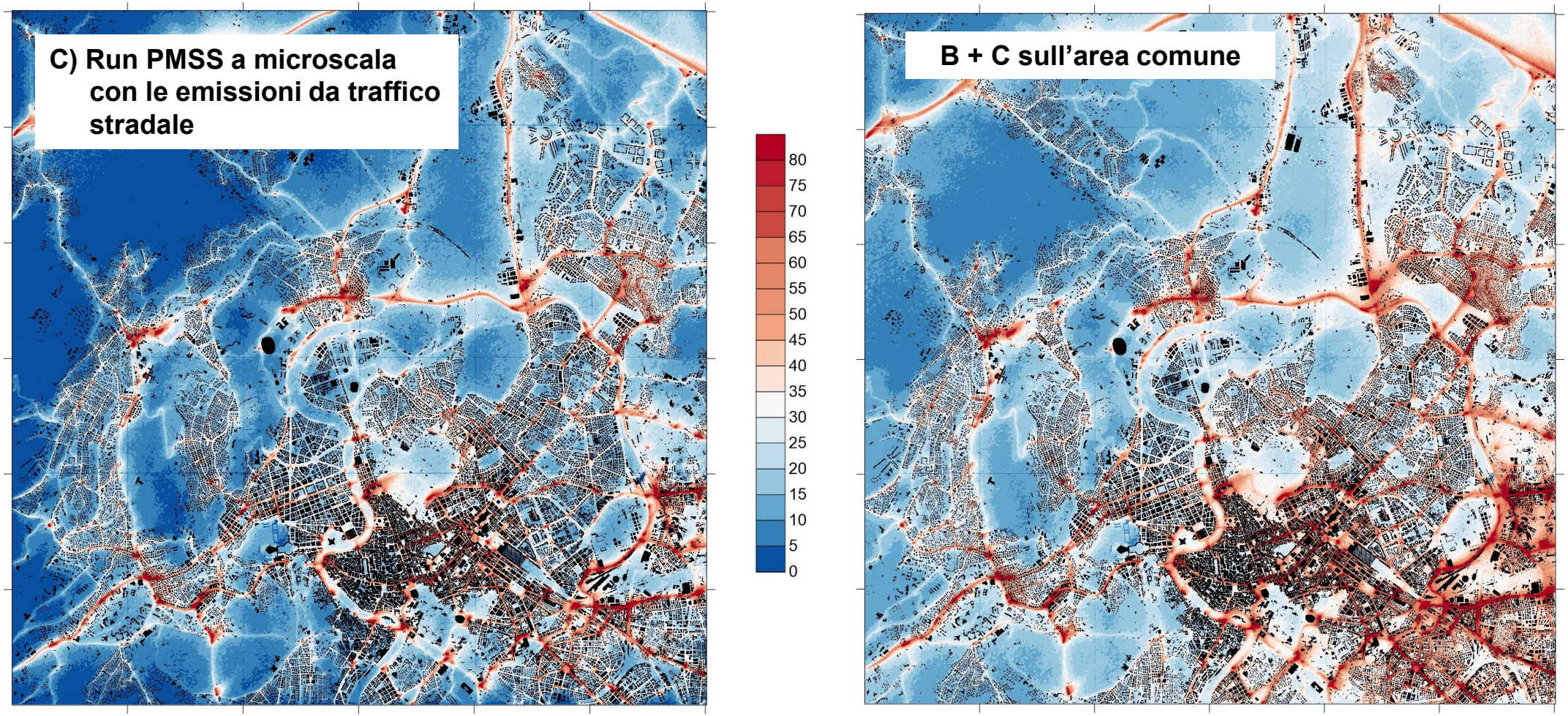
Estensione all'intera città

Modellazione multiscala ibrida *(FARM + PMSS)*



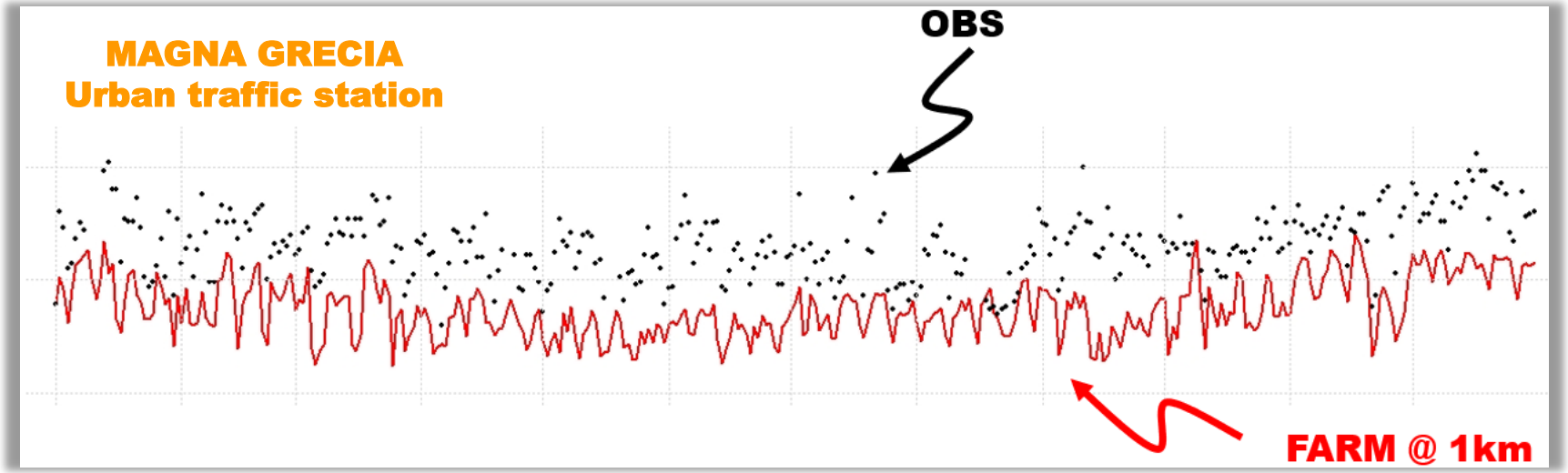
Estensione all'intera città

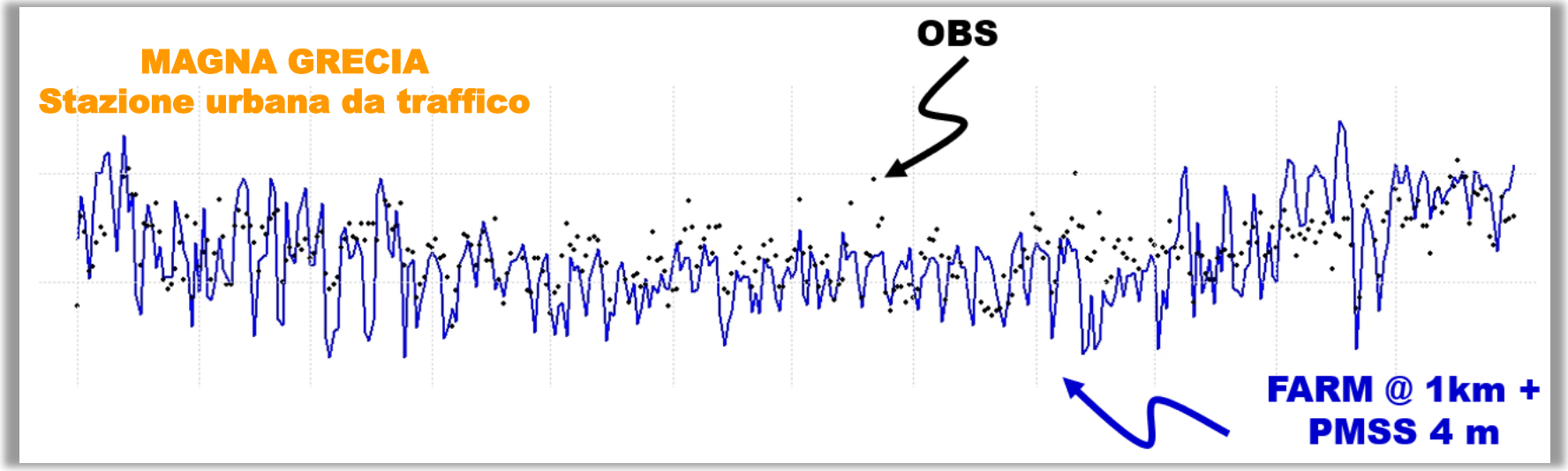
Modellazione multiscala ibrida *(FARM + PMSS)*



Estensione all'intera città

Modellazione multiscala ibrida *(FARM + PMSS)*





Speed up: modello surrogato ad alta risoluzione

Convolutor of dispersion Kernels (CoKer) - Construction

Inlet wind profiles*
6 wind speeds
8 wind directions
5 stability classes
240 combinations

PMSS DRIVEN KERNELS



Street Graph
(polylines)

3D Meteo downscaling
PSWIFT
Adapt the wind profiles to buildings
240 simulations

Buildings
Vectorial Shapefile

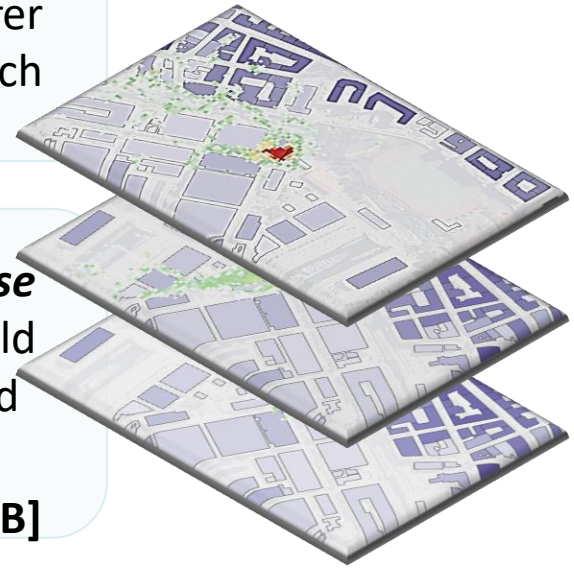


Discretized graph
(road segments with normalized emissions)

3D Dispersion simulations
PSPRAY
Stationary dispersion from traffic emission at microscale
240 simulations

Particles are saved in a buffer 2km x 2km x 3m around each street segment

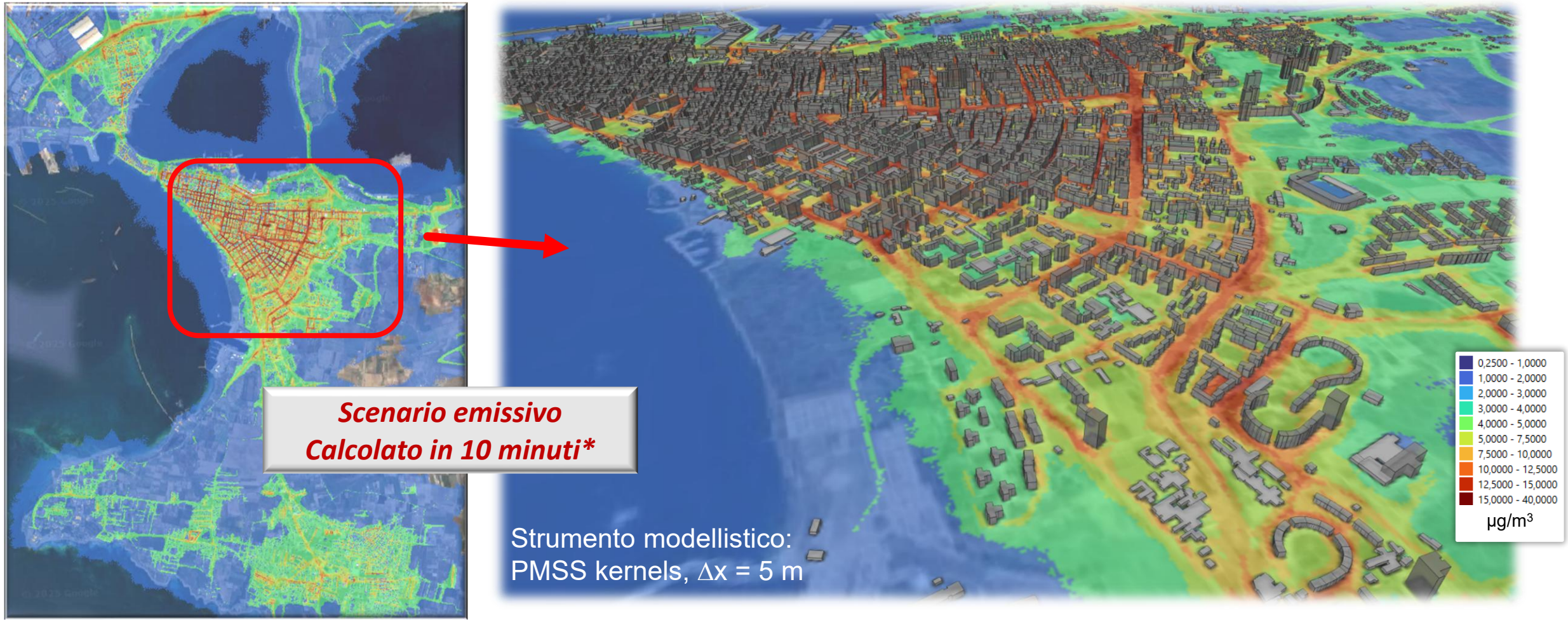
Dispersion kernels database
A ground concentration field for each road segment and meteo combination
6 milions of fields [~ 180 GB]



Modello surrogato ad alta risoluzione

Applicazione di CoKer – Medie annuali di NO_2 a Taranto a livello strada

Di ora in ora, dal database vengono **selezionati i kernel** relativi a ciascuna sorgente, sulla base dalla **meteorologia** corrente, e successivamente riscalati in funzione delle **emissioni**.
La **convoluzione** e la seguente **media temporale** generano il campo di concentrazione finale per l'anno 2023.



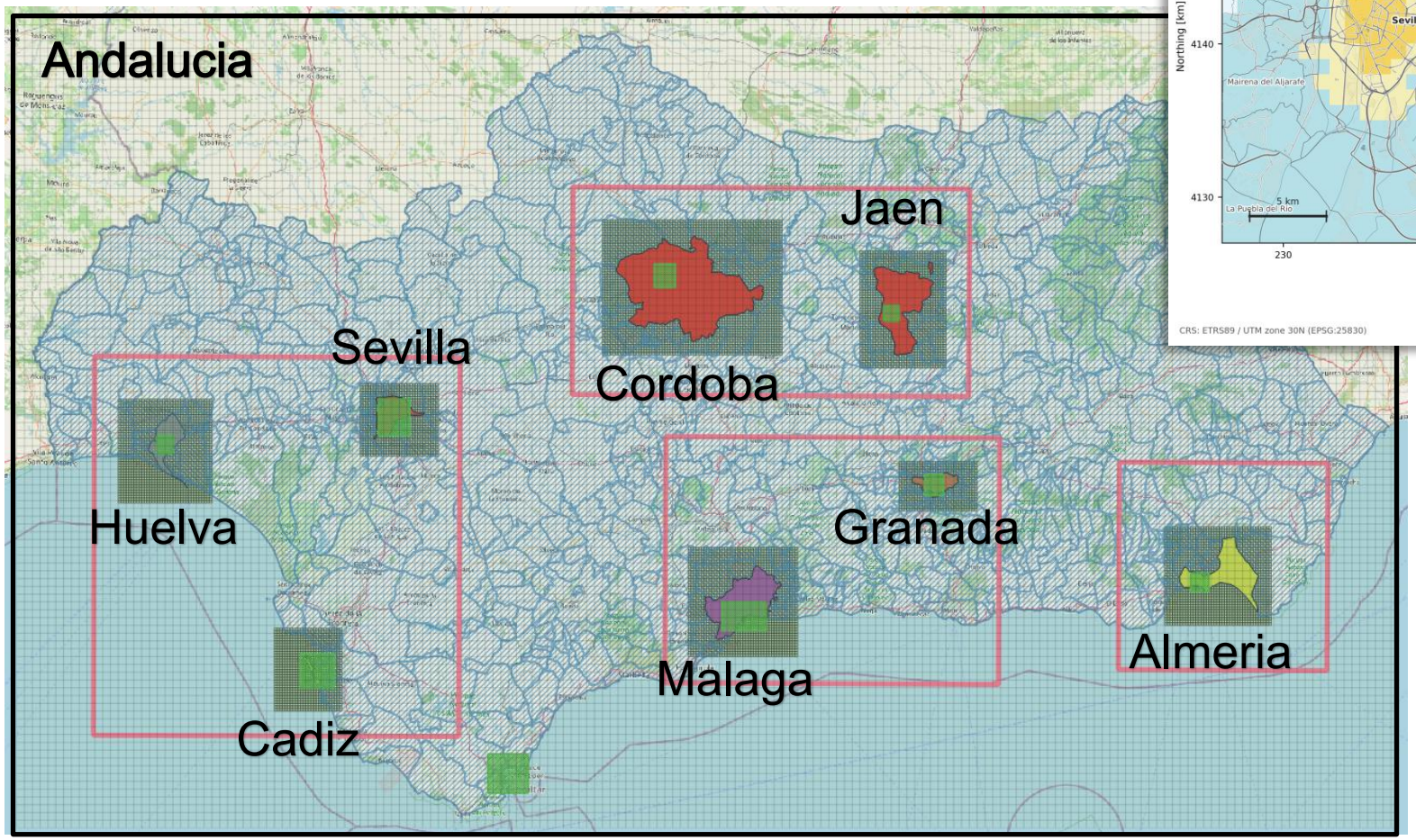
[*] OpenMP parallelization, with 192 Threads and 200+ GB RAM. For long periods, loading all kernels in memory imporeves a lot the performance. If not enough RAM is available, 1-year simulation may be 5 times slower.

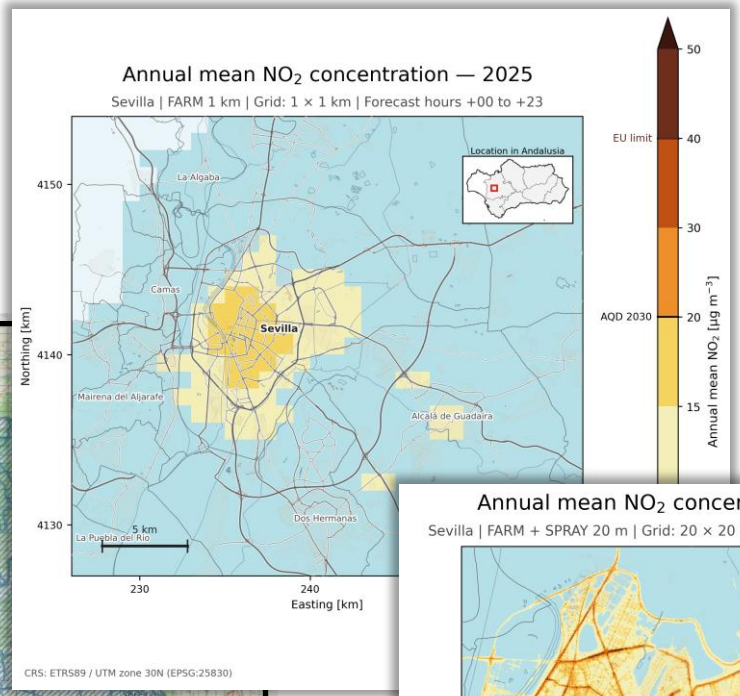
Sistema previsionale multiscala ibrido: Andalucia

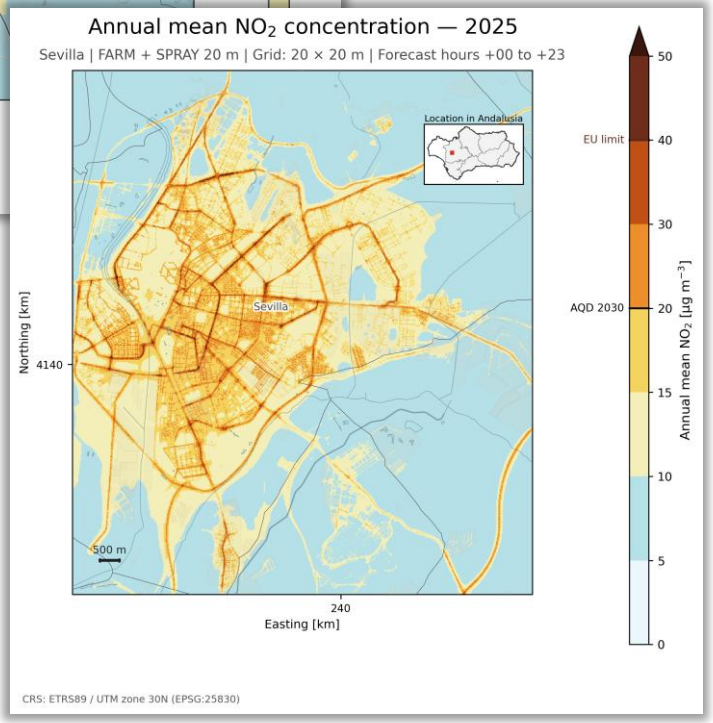
WRF domains
- D01 a 27 km
- D02 a 9 km
- D03 a 3 km
- D04-D07 a 1 km

FARM domains
- Andalucia 3 km
- 8 aree urbane a 1 km

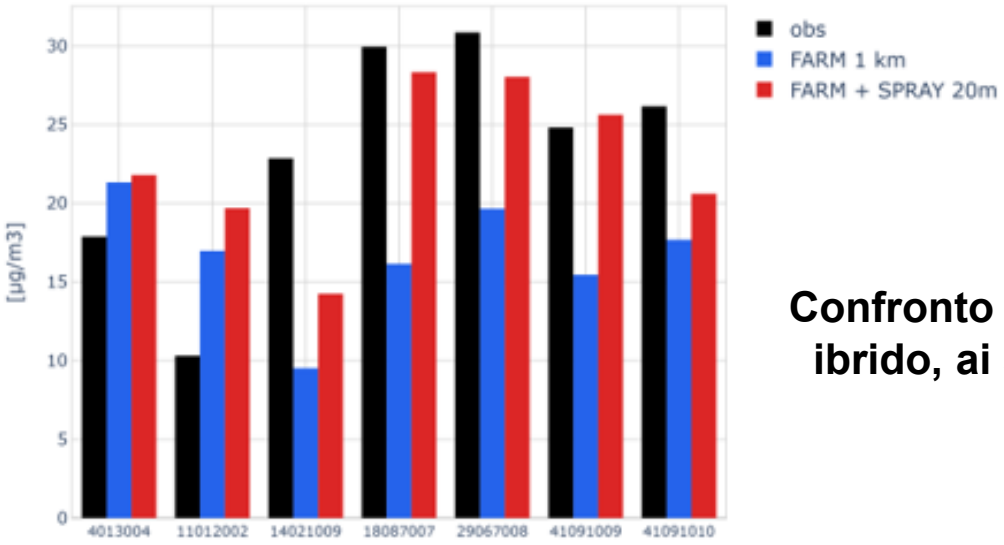
kernel PMSS
- 9 città a 20 m



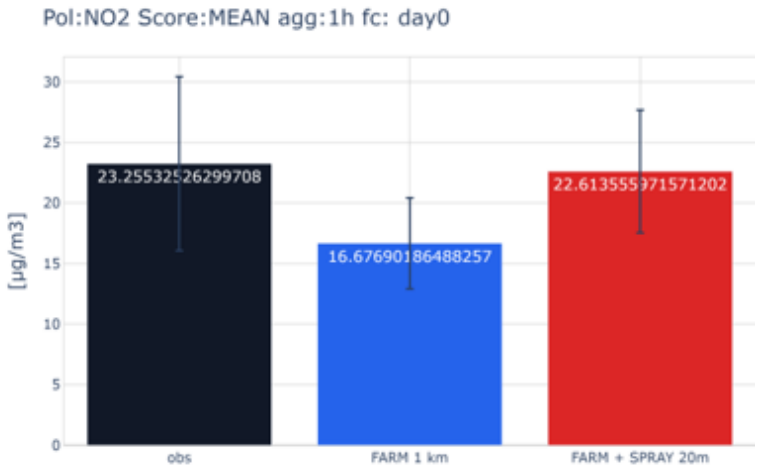




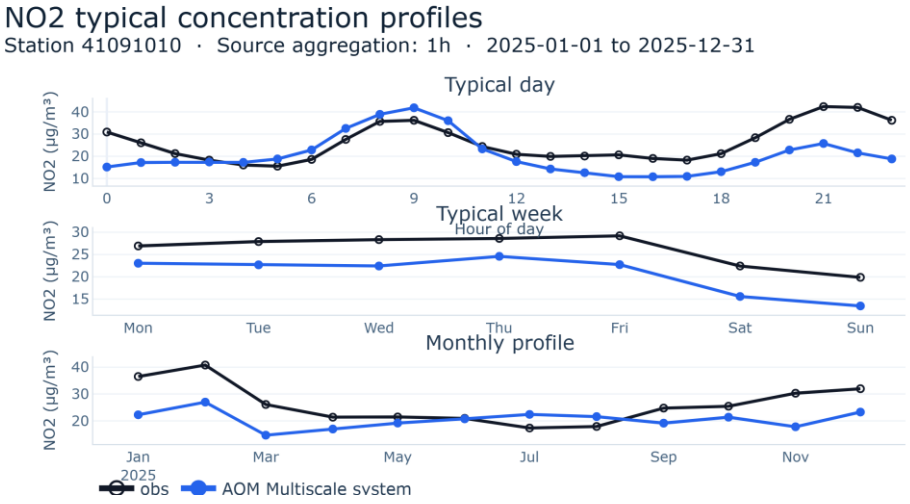
Sistema previsionale multiscala ibrido: Andalucia
Validazione 2025 – NO_2



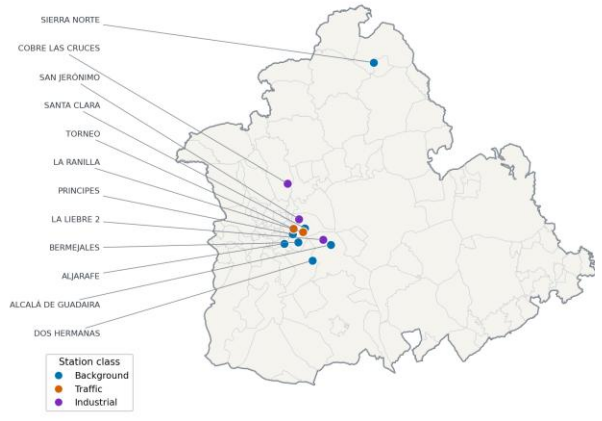
Confronto fotochmico vs. ibrido, ai siti da traffico

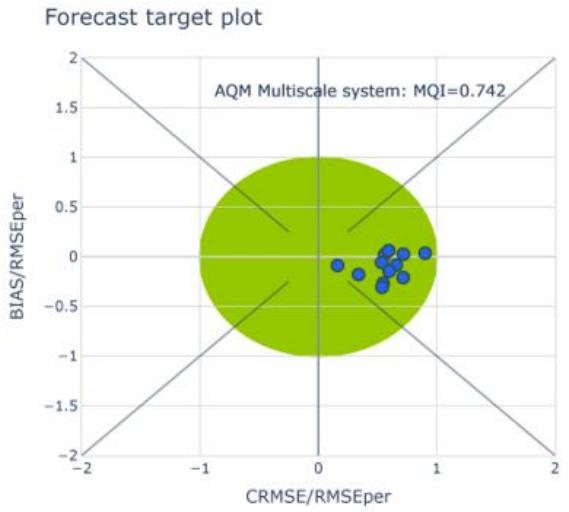


Ranilla (stazione da traffico)





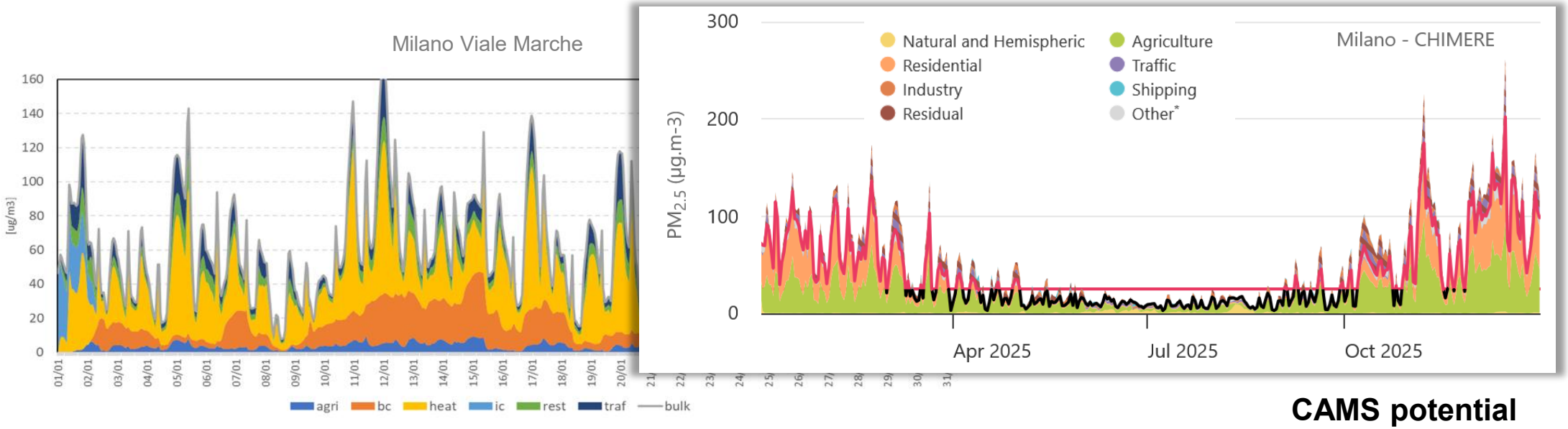




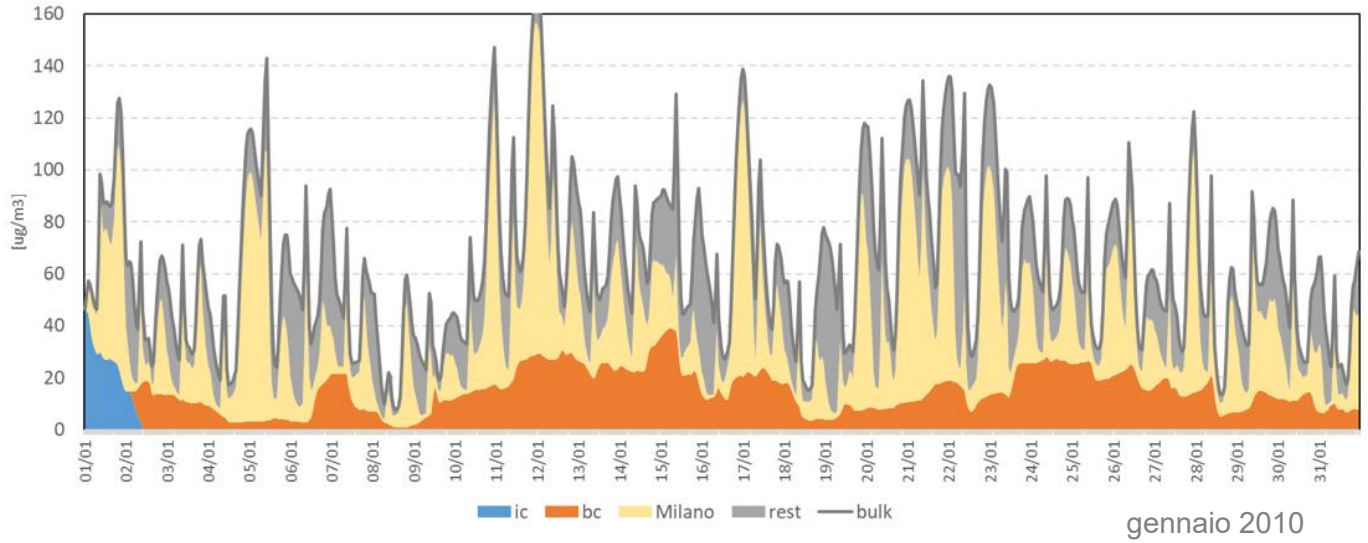
QA urbana nel contesto più ampio: stima dei contributi delle sorgenti

Esempio: $PM_{2.5}$ Milano

Contributi settoriali



Milano vs. resto



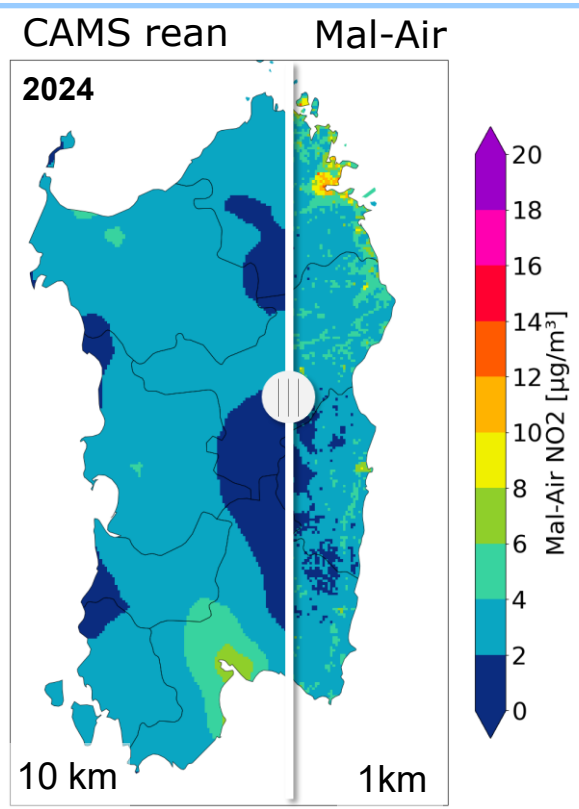
gennaio 2010

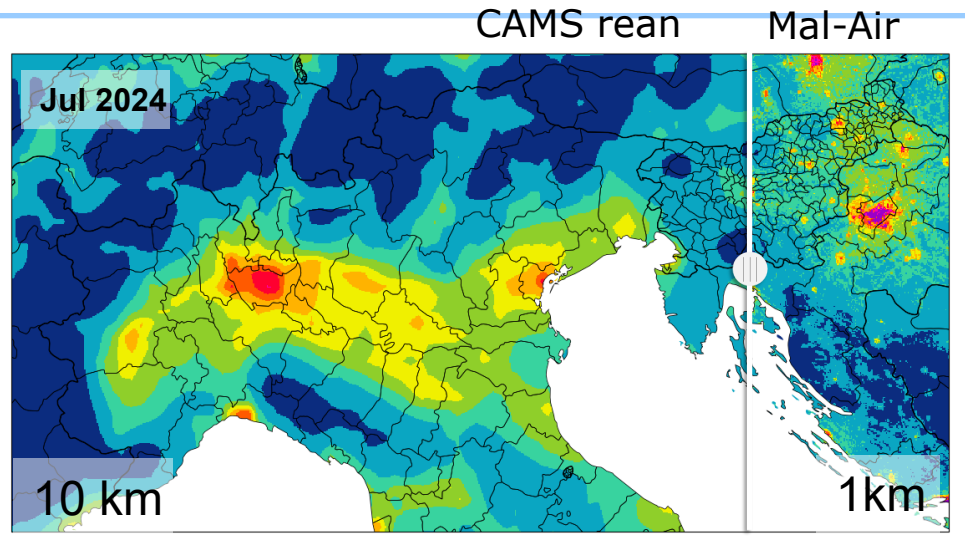
CAMS potential impacts of sectors

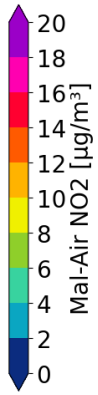


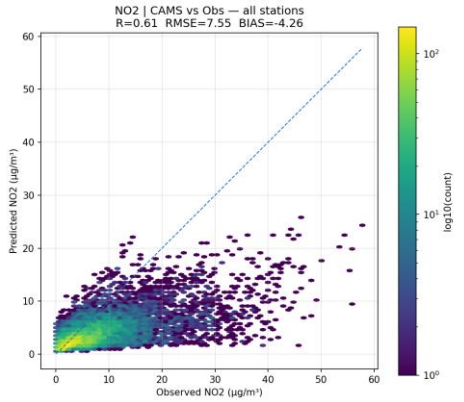
Data fusion modello + osservazioni: via ML

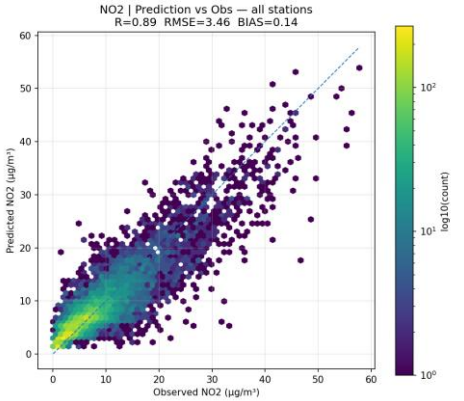
Mal-Air: Random Forest

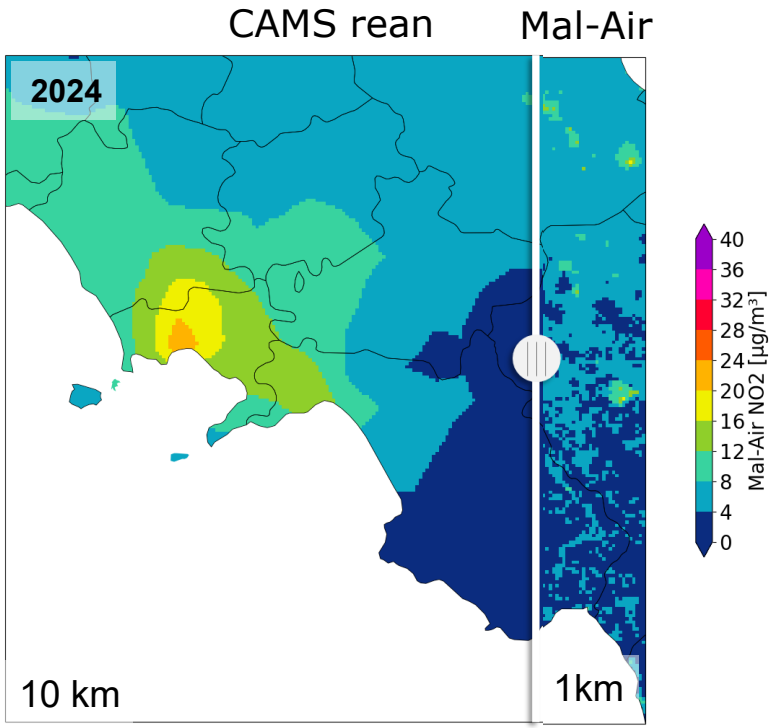


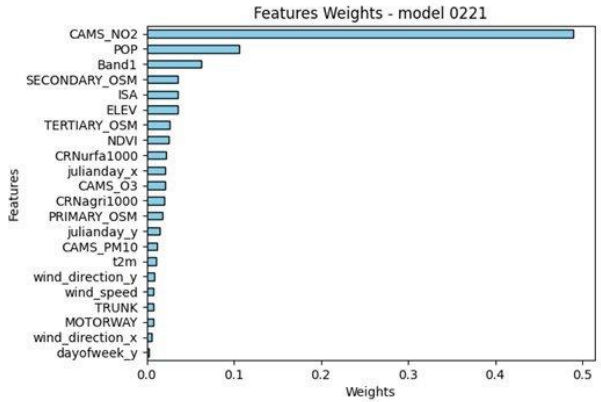


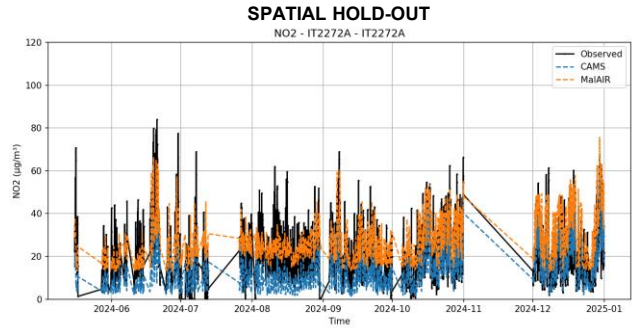






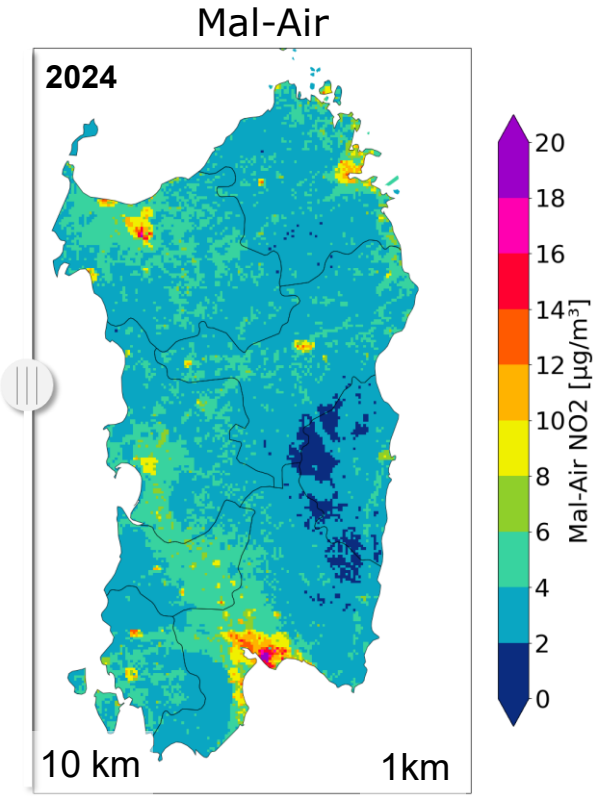


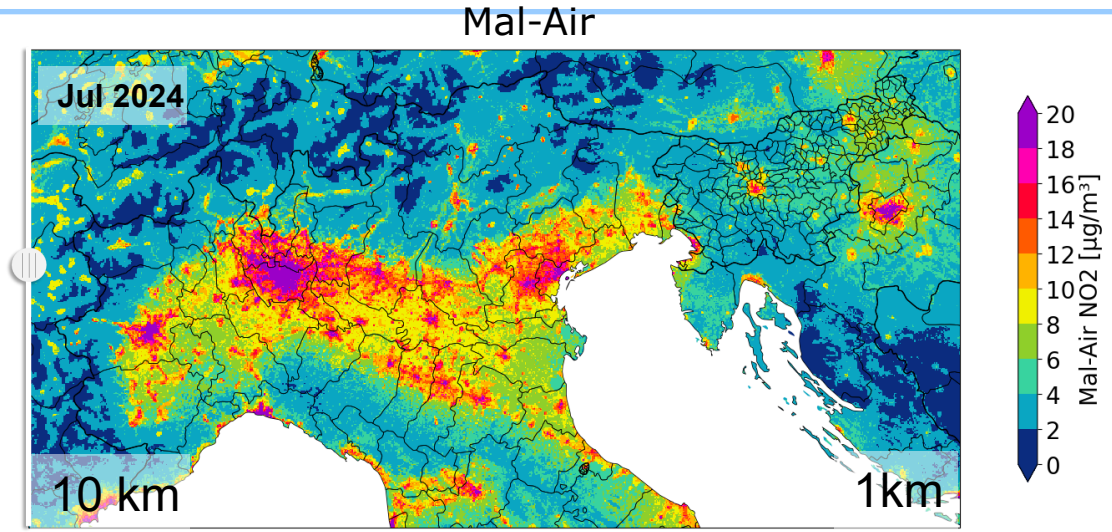


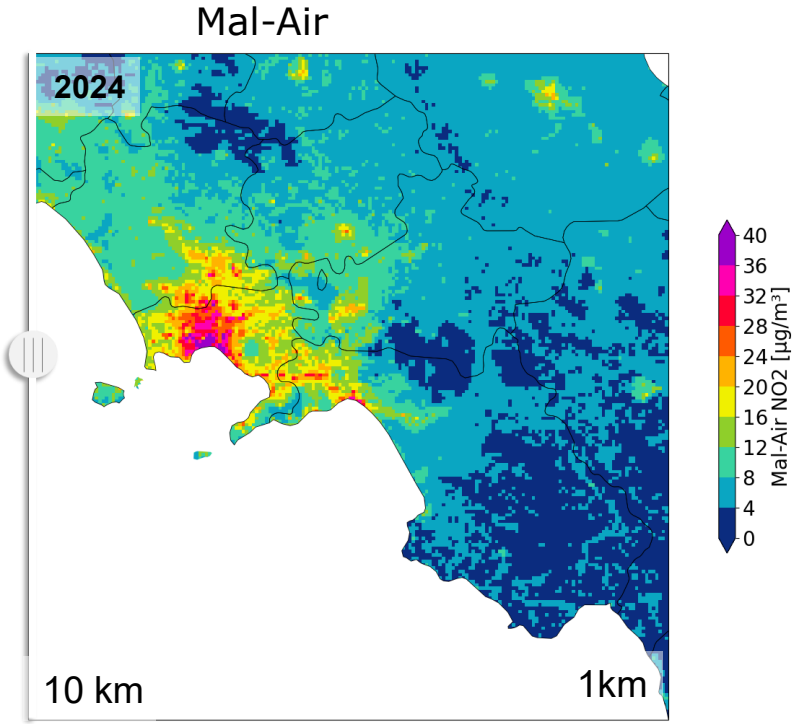


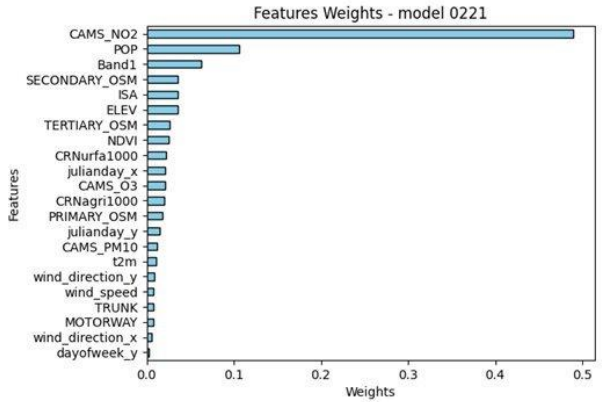
Data fusion modello + osservazioni: via ML

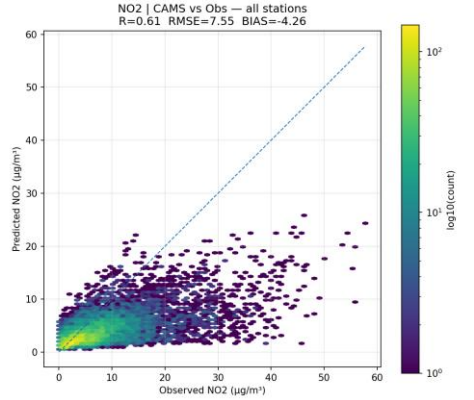
Mal-Air: Random Forest

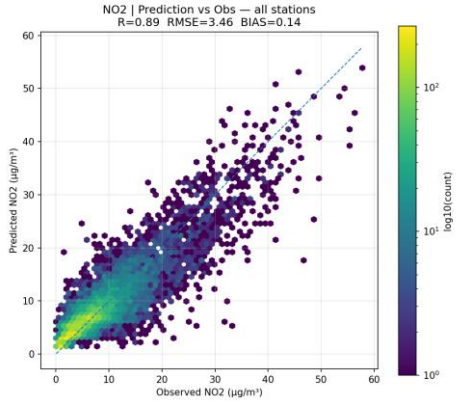


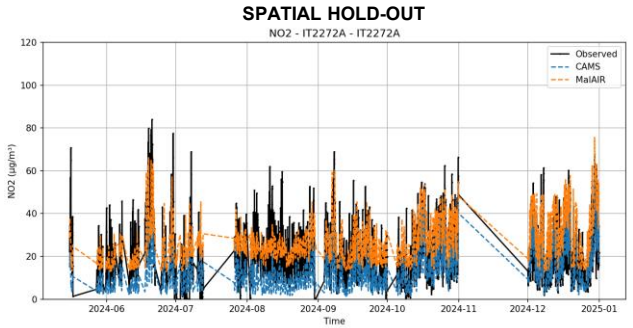






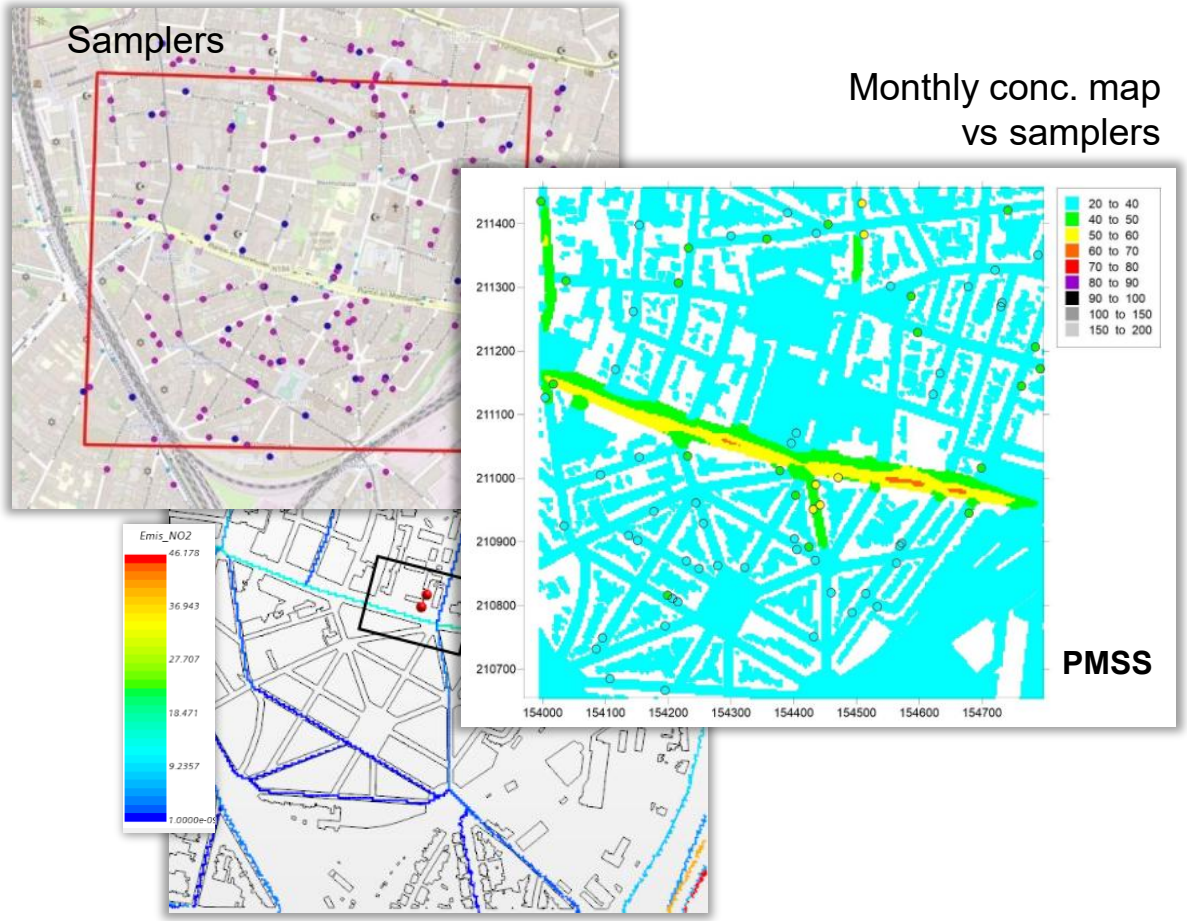




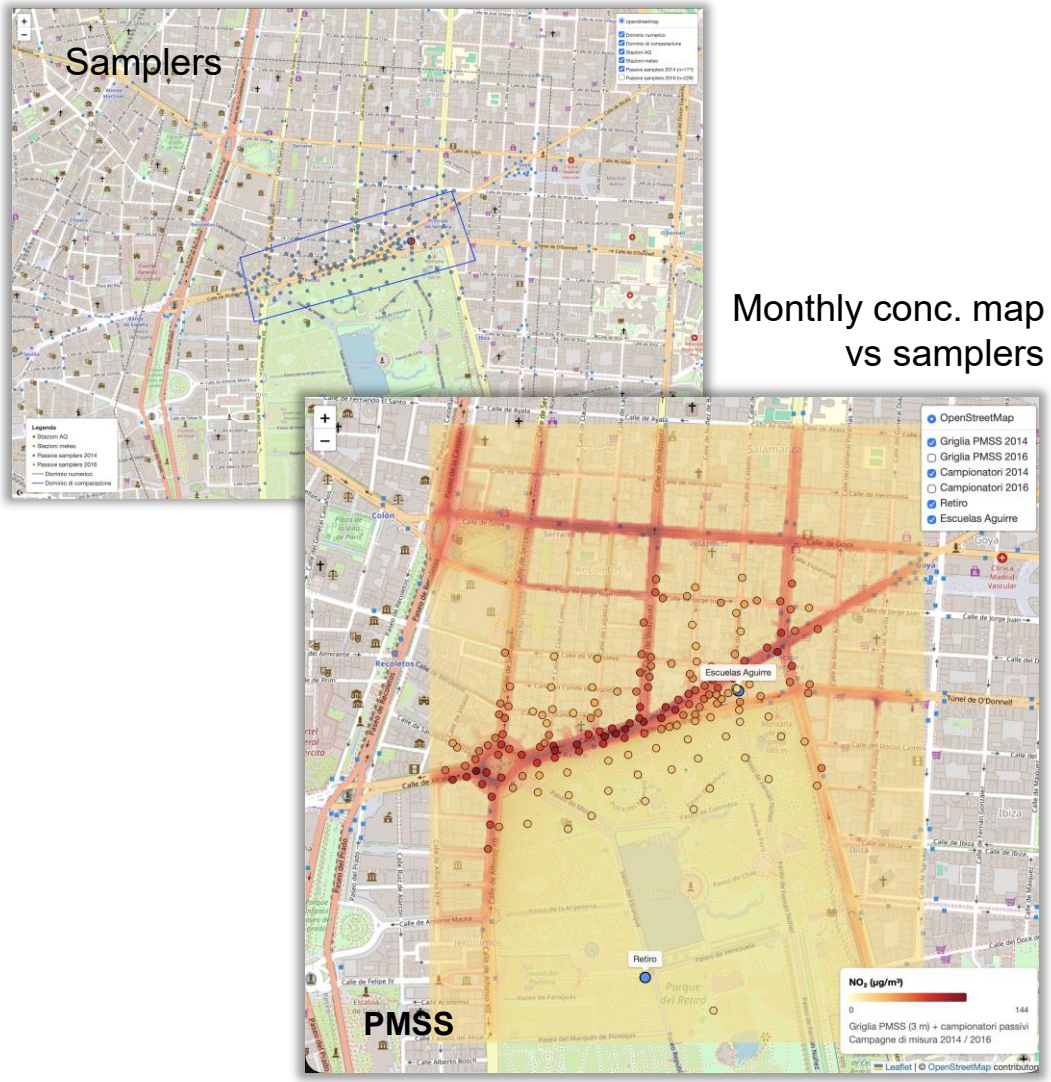


Armonizzazione europea
FAIRMODE WG4 intercomparisons

Antwerp (BE) - NO_2



Madrid - NO_2



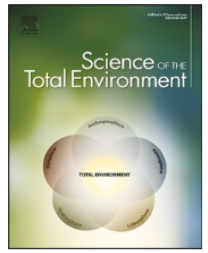
- Descrivere gli hot spot
- Area di rappresentatività spaziale delle postazioni di misura

Science of the Total Environment 988 (2025) 179824

Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv



Check for updates

Estimating the air quality standard exceedance areas and the spatial representativeness of urban air quality stations applying microscale modelling

F. Martín [a,*], V. Rodrigues [b], J.L. Santiago [a], J. Sousa [c], J. Stocker [d], S. Janssen [c], R. Jackson [d], F. Russo [e], M.G. Villani [e], G. Tinarelli [f], D. Barbero [f], R. San José [g], J.L. Pérez-Camanyo [g], G. Sousa-Santos [h], L. Tarrason [h], J. Bartzis [i], I. Sakellaris [i], Z. Horváth [j], L. Környei [j], X. Jurado [k], N. Reiminger [k,l], N. Masey [m], S. Hamilton [m], E. Rivas [a], C. Cuvelier [n], P. Thunis [n]

Considerazioni conclusive

- Gli strumenti modellistici a supporto della gestione della qualità dell'aria in ambito urbano si sono evoluti, e consentono di analizzare la città sia nel suo dettaglio, sia nel contesto più ampio
- Analisi multiscala / modellazione ibrida:
  - alta risoluzione 3D (livello strada) della città: diretta o tramite modelli surrogati
  - caratterizzazione del "fondo" regionale / di tutte altre le sorgenti, e dei secondari
  - combinazione con le osservazioni: metodi geostatistici / assimilazione / machine learning

- Fattori più critici per il loro utilizzo…
  - maggiore disponibilità di informazioni per caratterizzare nel dettaglio le sorgenti, le attività, i comportamenti dei cittadini?
  - know-how modellistico?
  - risorse di calcolo?
  - integrazione tra enti/agenzie?
  - …