

Simulazione della dispersione di inquinanti in atmosfera ad altissima risoluzione spaziale

Fabio Baldassi

Università degli studi di Trieste
ARPA FVG – gruppo CRMA

18 marzo 2019



Scale meteorologiche

Modelli diagnostici

Dispersione atmosferica

La suite modellistica MSS

Simulazioni

Conclusioni

OBIETTIVI

- Testare il codice di diffusione alla microscala MSS
- Completare una catena modellistica di simulazione della diffusione di inquinanti usando la suite modellistica MSS
- Valutare criticamente i risultati prodotti
- Approfondire aspetti teorici legati alla micrometeorologia

OBIETTIVI

- Approfondire aspetti teorici legati alla micrometeorologia
- Testare il codice di diffusione alla **microscala** MSS
- Completare una catena modellistica di simulazione della diffusione di inquinanti usando la suite modellistica MSS
- Valutare criticamente i risultati prodotti

Che cos'è la microscala e perché è necessario introdurla?

Scale meteorologiche

Modelli diagnostici

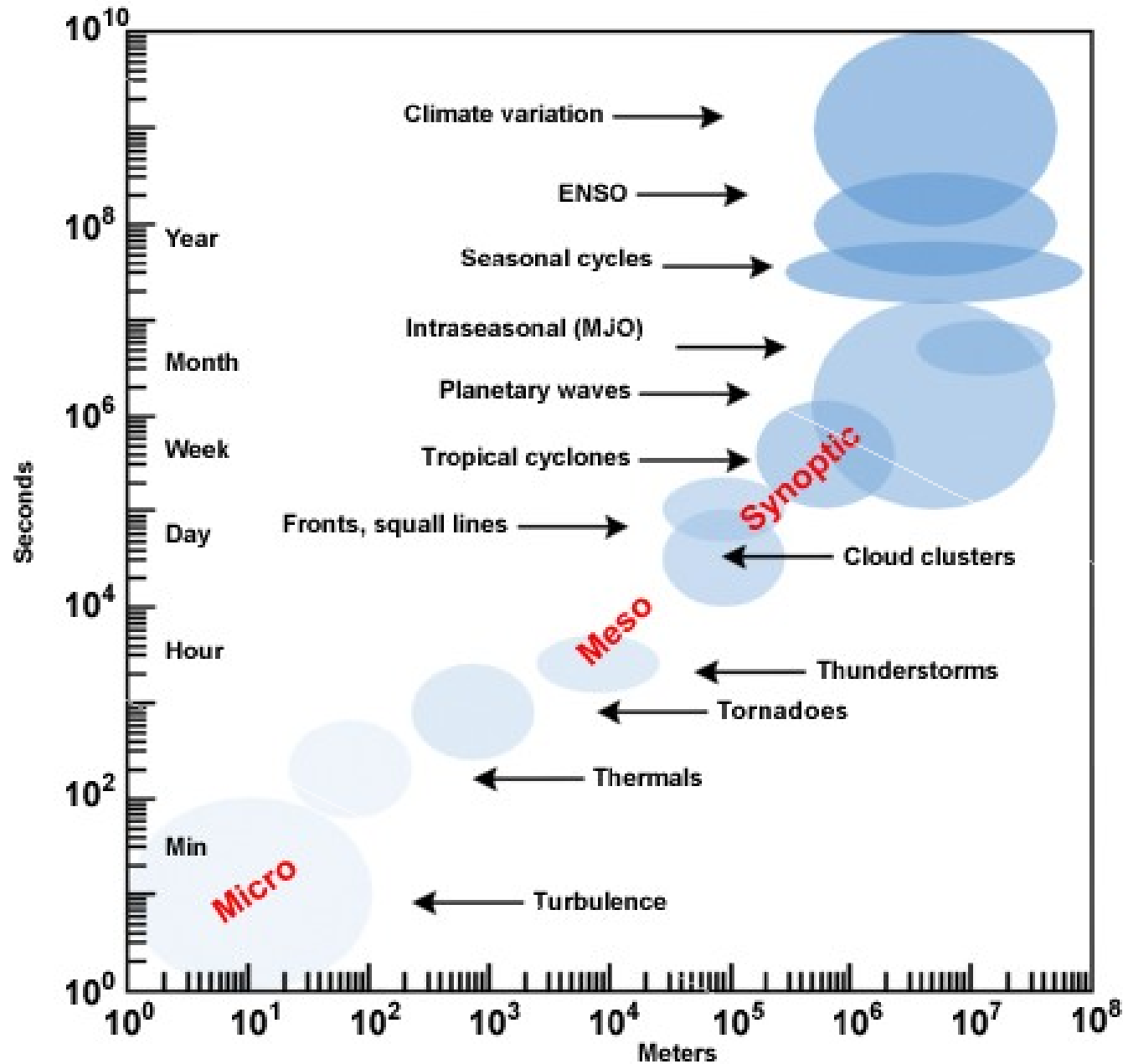
Dispersione atmosferica

La suite modellistica MSS

Simulazioni

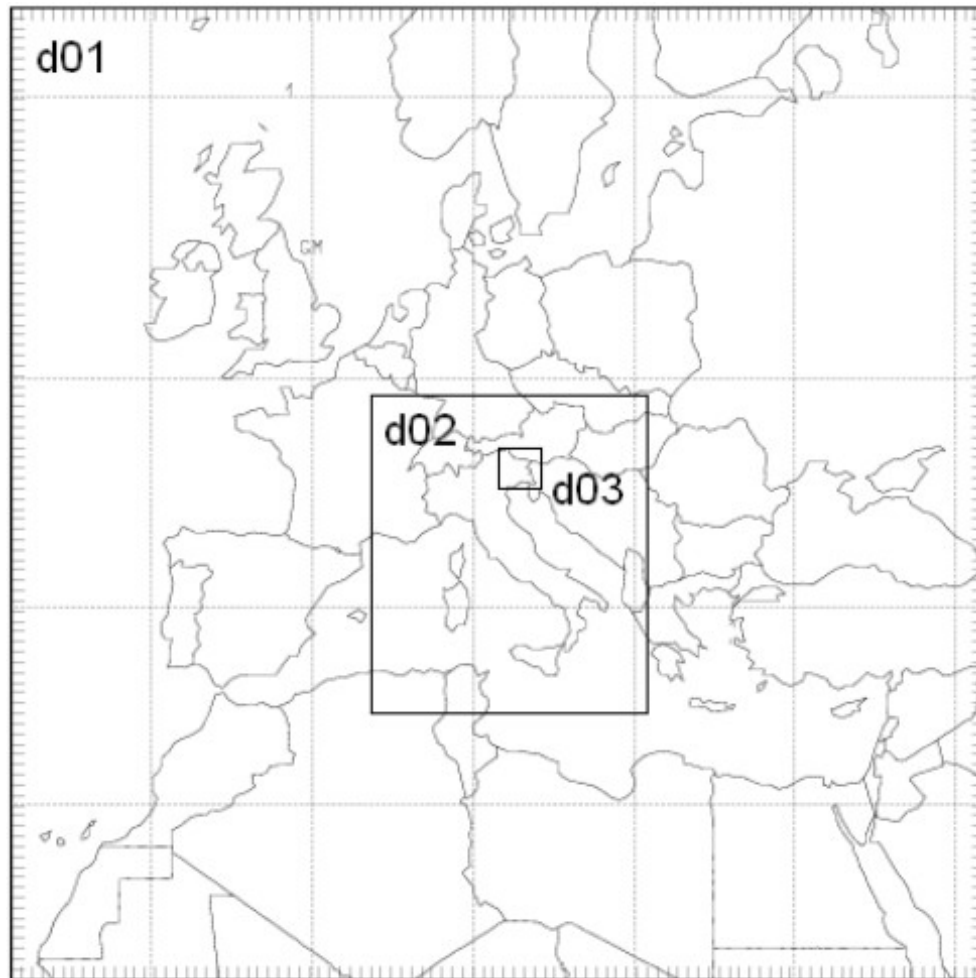
Conclusioni

SCALE METEOROLOGICHE



SCALE METEOROLOGICHE

- Struttura a “matrioska” concettuale si riflette direttamente nella modellistica atmosferica
- Alla microscala si presenta il problema della chiusura!



SCALE METEOROLOGICHE

- La turbolenza è parametrizzata in modo diverso per diversi modelli
- LES convenienti in base al rapporto qualità/costo computazionale per simulazioni atmosferiche alla microscala

- **Small Re flows:** laboratory (tea cup) turbulence; largest eddies $\sim O(m)$; **DNS**
- **Medium Re flows:** engineering flows; largest eddies $\sim O(10\text{ m})$; **RANS or LES**
- **Large Re flows:** geophysical turbulence; largest eddies $> \text{km}$; **RANS**

Scale meteorologiche

Modelli diagnostici

Dispersione atmosferica

La suite modellistica MSS

Simulazioni

Conclusioni

Un approccio alternativo è costituito dai modelli diagnostici:

- costo computazionale irrilevante
- teoria della similarità assieme a relazioni empiriche per la forma del campo di vento attorno a corpi immersi nel flusso
- equazione di divergenza nulla (campo solenoidale)

LIMITE: ereditarietà della risoluzione temporale dal modello padre

Ad ogni modo i risultati sono soddisfacenti e il filone dei modelli diagnostici è ricco ed attivo

Scale meteorologiche

Modelli diagnostici

Dispersione atmosferica

La suite modellistica MSS

Simulazioni

Conclusioni

DISPERSIONE ATMOSFERICA

Tre approcci:

- **Analitico**
- **Computazionale euleriano**
- **Computazionale lagrangiano**

DISPERSIONE ATMOSFERICA

Tre approcci:

- **Analitico**

- Computazionale euleriano

- Computazionale lagrangiano

- modello gaussiano puff

- modello gaussiano plume

- sorgenti linea

- sorgenti area

- topografia e meteorologia semplici

DISPERSIONE ATMOSFERICA

Tre approcci:

- Analitico

- **Computazionale euleriano**

- Computazionale lagrangiano

- griglia per il calcolo della concentrazione

- semplice implementazione della chimica

DISPERSIONE ATMOSFERICA

Tre approcci:

- Analitico

- Computazionale euleriano

- **Computazionale lagrangiano**

- nessuna griglia di calcolo

- implementazione non banale della chimica

- prestazioni eccellenti per topografia complessa

DISPERSIONE ATMOSFERICA

Tre approcci:

- Analitico

- Computazionale euleriano

- **Computazionale lagrangiano**

Resa statistica dei moti non risolti:

$$S_{Li}^{(2)} := \overline{(v_i(t + \Delta t) - v_i(t))^2} = C_0(\varepsilon \Delta t), \quad \tau_\eta \ll \Delta t \ll T_i^L$$

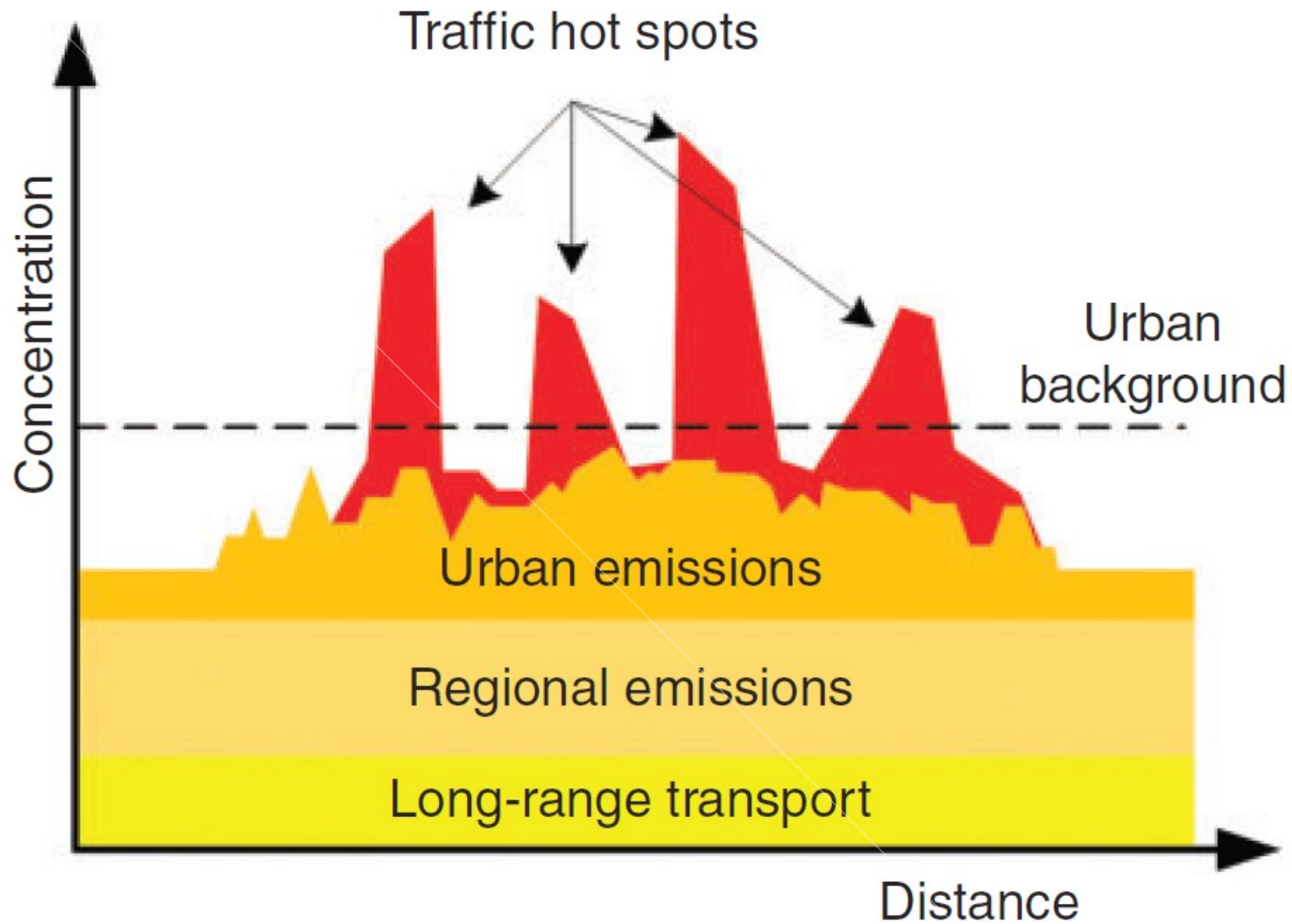
Moto lungo x e y (moti orizzontali)

$$u'_i(t + \Delta t) = \left(1 - \frac{\Delta t}{T_{Li}(\mathbf{x}, t)}\right) u'_i(t) + \frac{1}{2} \frac{\partial \sigma_i^2}{\partial x^2} \left(1 + \frac{u'_i(t)^2}{\sigma_i^2}\right) \Delta t + \mu'_i(t) \sigma_i \sqrt{2 \frac{\Delta t}{T_{Li}}}$$

Moto lungo z (moto verticale)

$$u'_z(t + \Delta t) = a_z(u'_z, \mathbf{x}) + \mu'_z(t) \sigma_z \sqrt{2 \frac{\Delta t}{T_{Lz}}}$$

DISPERSIONE ATMOSFERICA



Il modello più accreditato di ripartizione del segnale secondo la scala spazio-temporale.

Scale meteorologiche

Modelli diagnostici

Dispersione atmosferica

La suite modellistica MSS

Simulazioni

Conclusioni

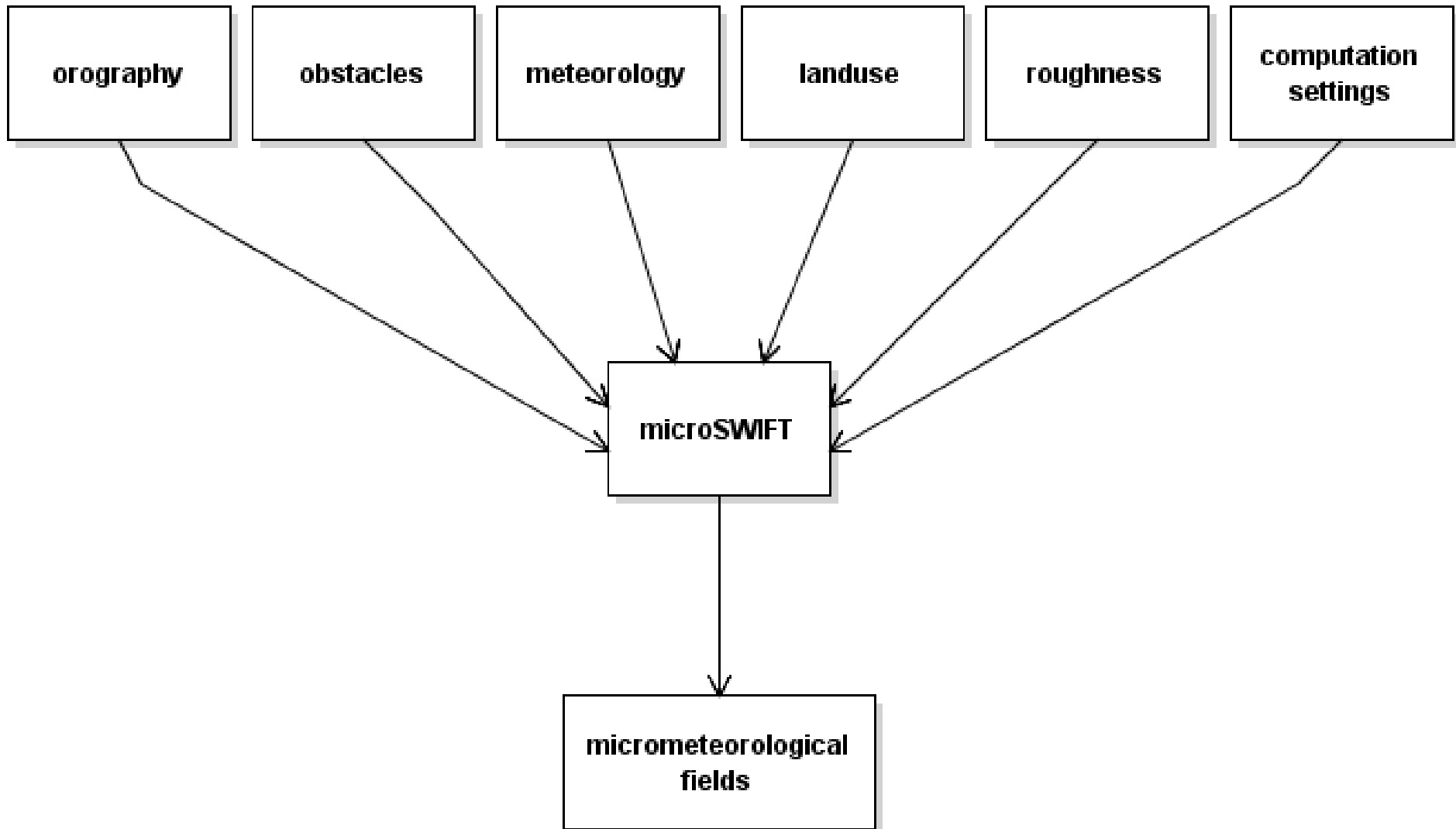
LA SUITE MODELLISTICA MSS

La suite è composta da due parti:

- microSWIFT, modello micrometeorologico diagnostico
- microSPRAY, modello di dispersione lagrangiano

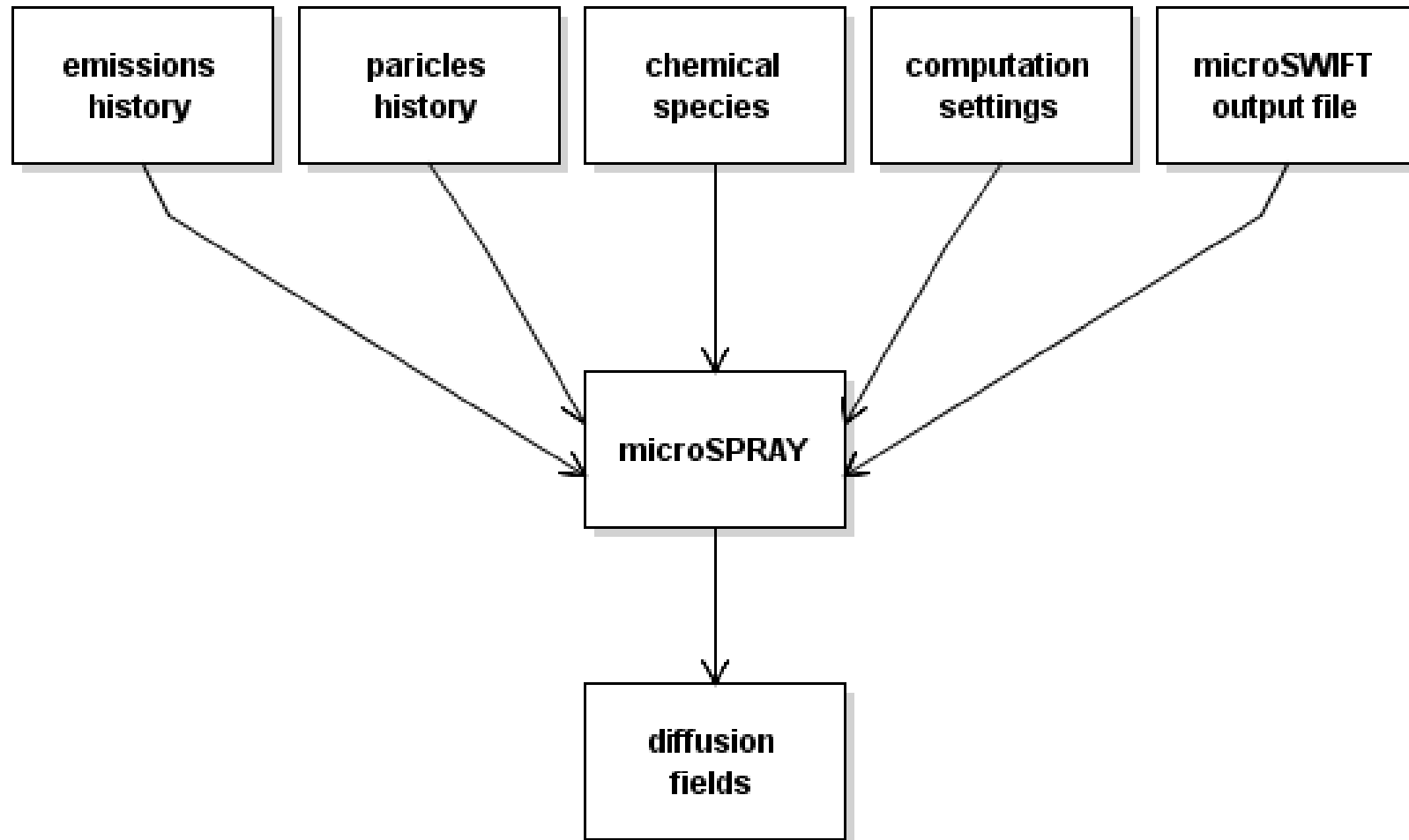
LA SUITE MODELLISTICA MSS

Struttura concettuale I/O di microSWIFT



LA SUITE MODELLISTICA MSS

Struttura concettuale I/O di microSPRAY



Scale meteorologiche

Modelli diagnostici

Dispersione atmosferica

La suite modellistica MSS

Simulazioni

Conclusioni

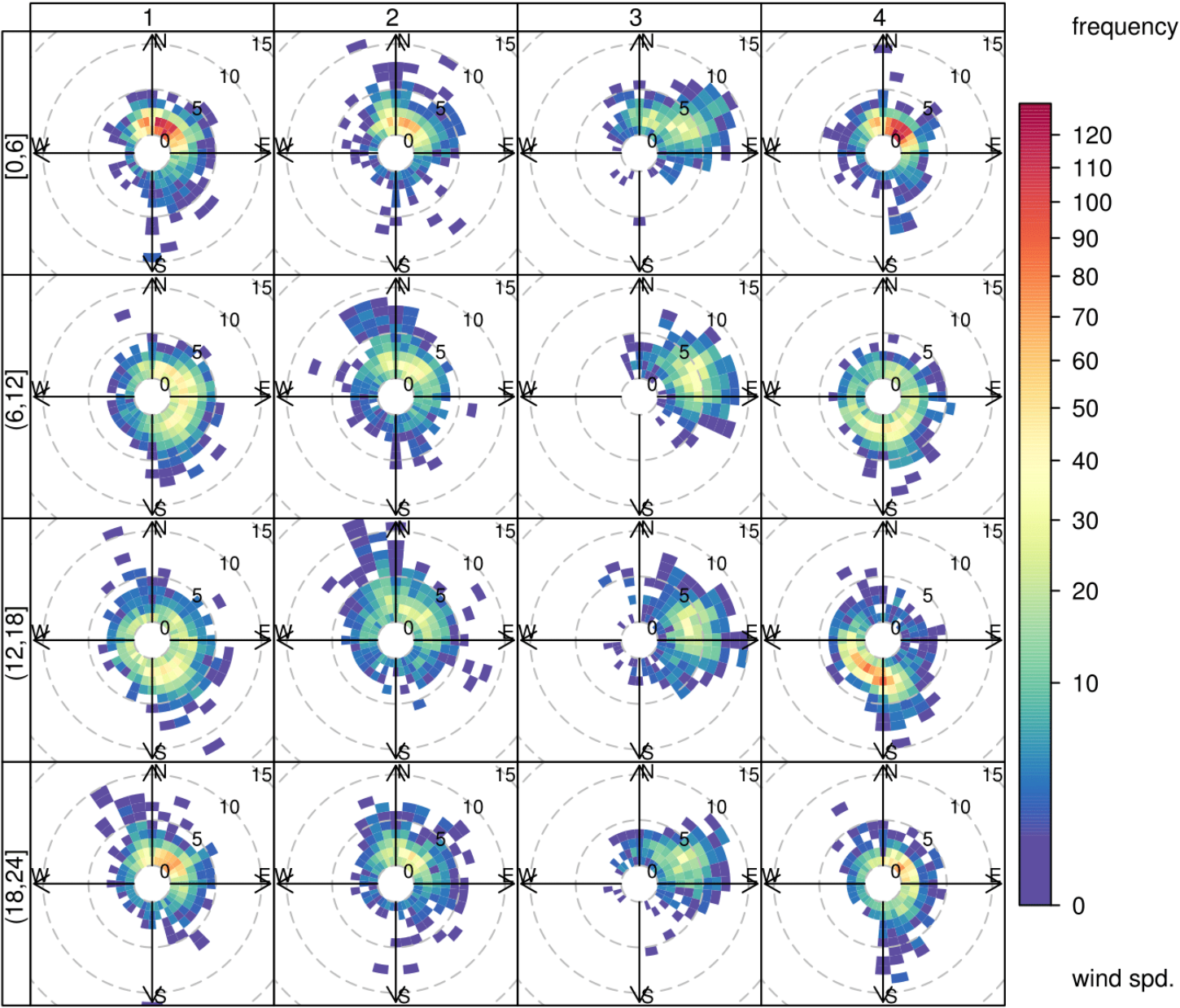
- **Simulazioni realistiche**
- **Caratterizzazione climatologica**
- **Selezione dell'input meteorologico ed emissivo**
- **Simulazioni**
- **Analisi spazio-temporale**
- **Studio di rappresentatività**

SIMULAZIONI - Il dominio

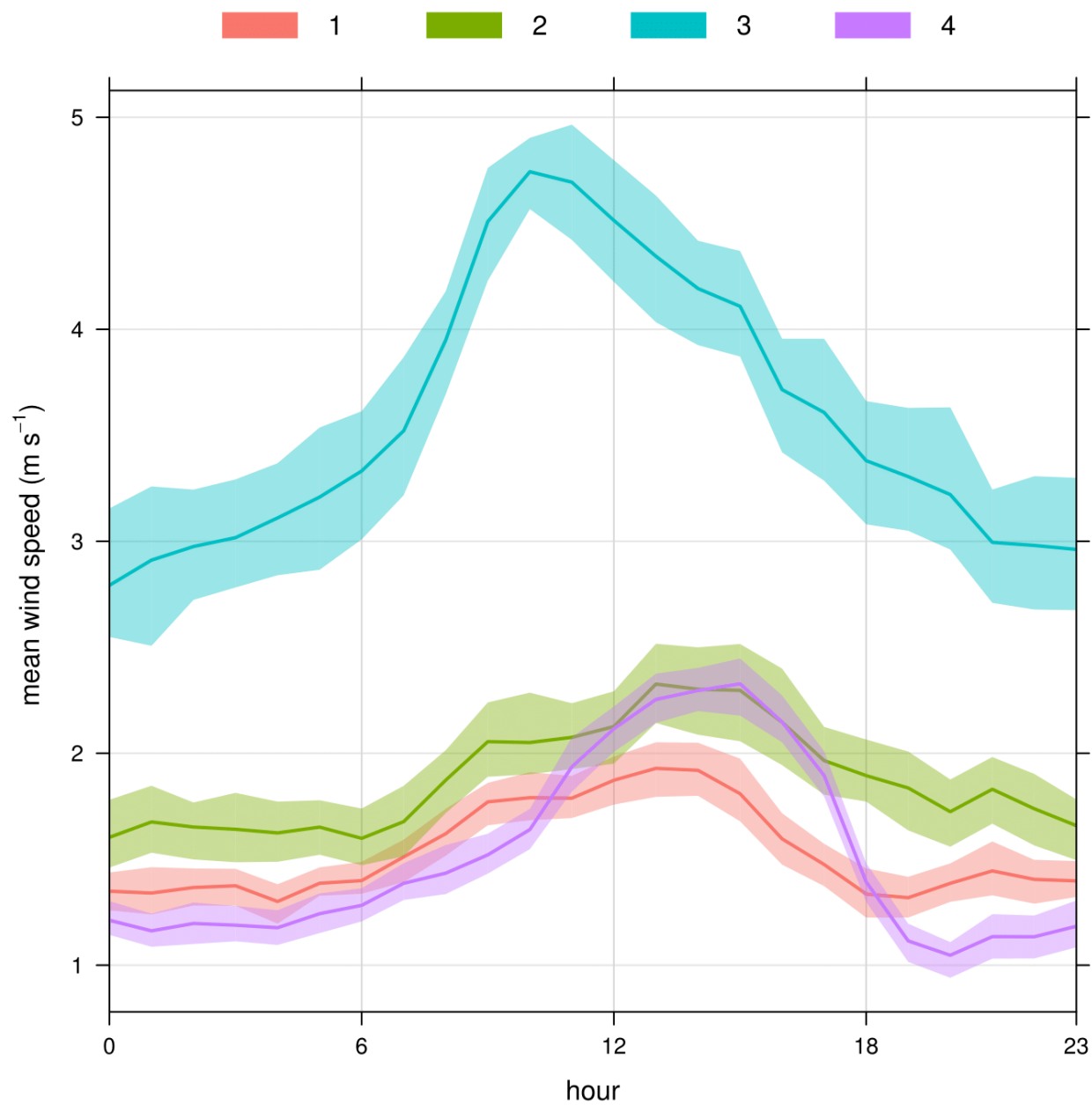


Il dominio scelto: un quadrato in coordinate UTM33, centrato sulle coordinate della centralina di qualità dell'aria di Viale San Daniele a Udine. Dimensioni: 2241m x 2241m. Risoluzione spaziale: 3m x 3m. Risoluzione temporale: 1h.

SIMULAZIONI - Caratterizzazione climatologica del dominio

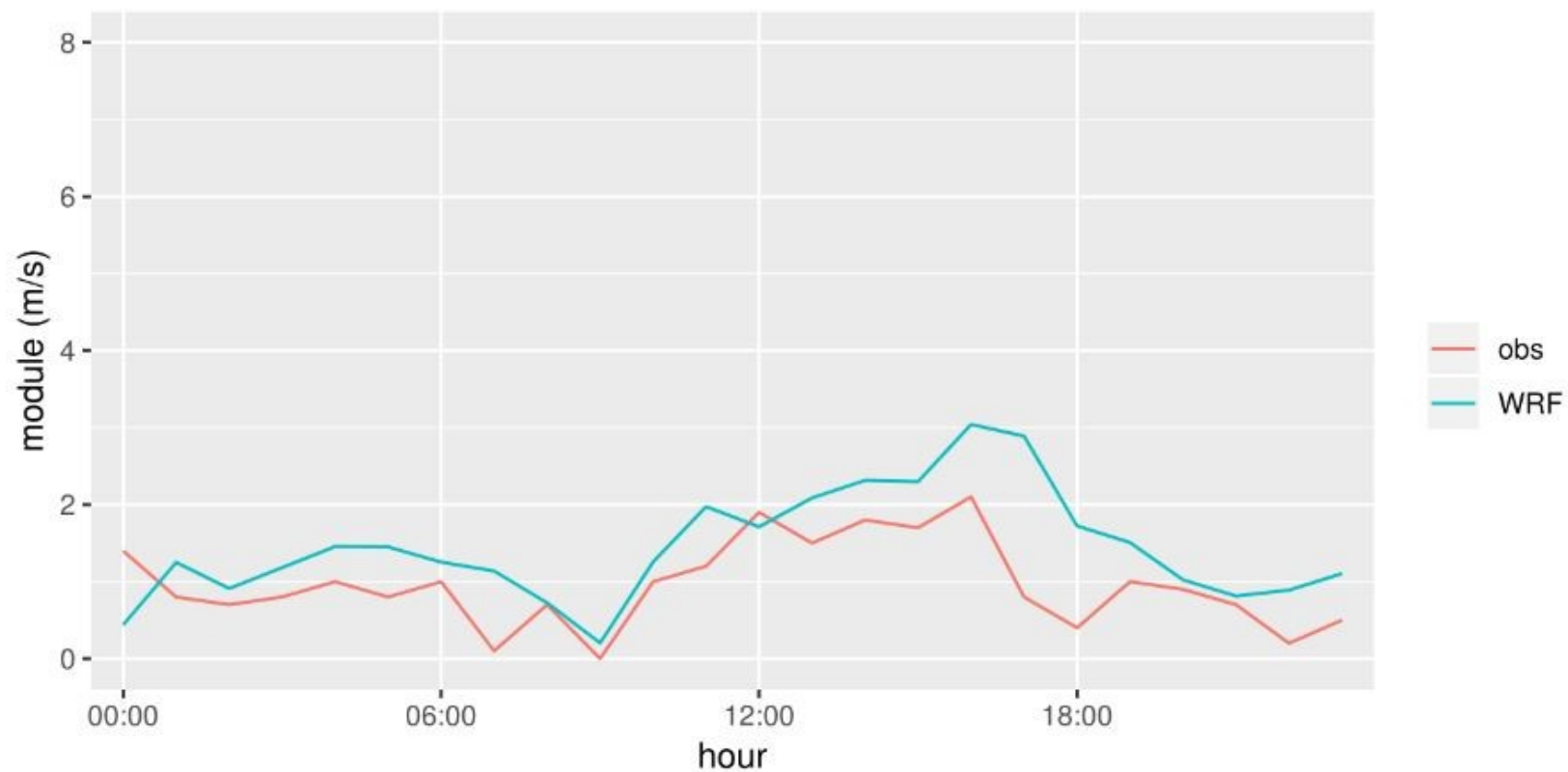


SIMULAZIONI - Caratterizzazione climatologica del dominio



SIMULAZIONI - Selezione dell'input meteorologico

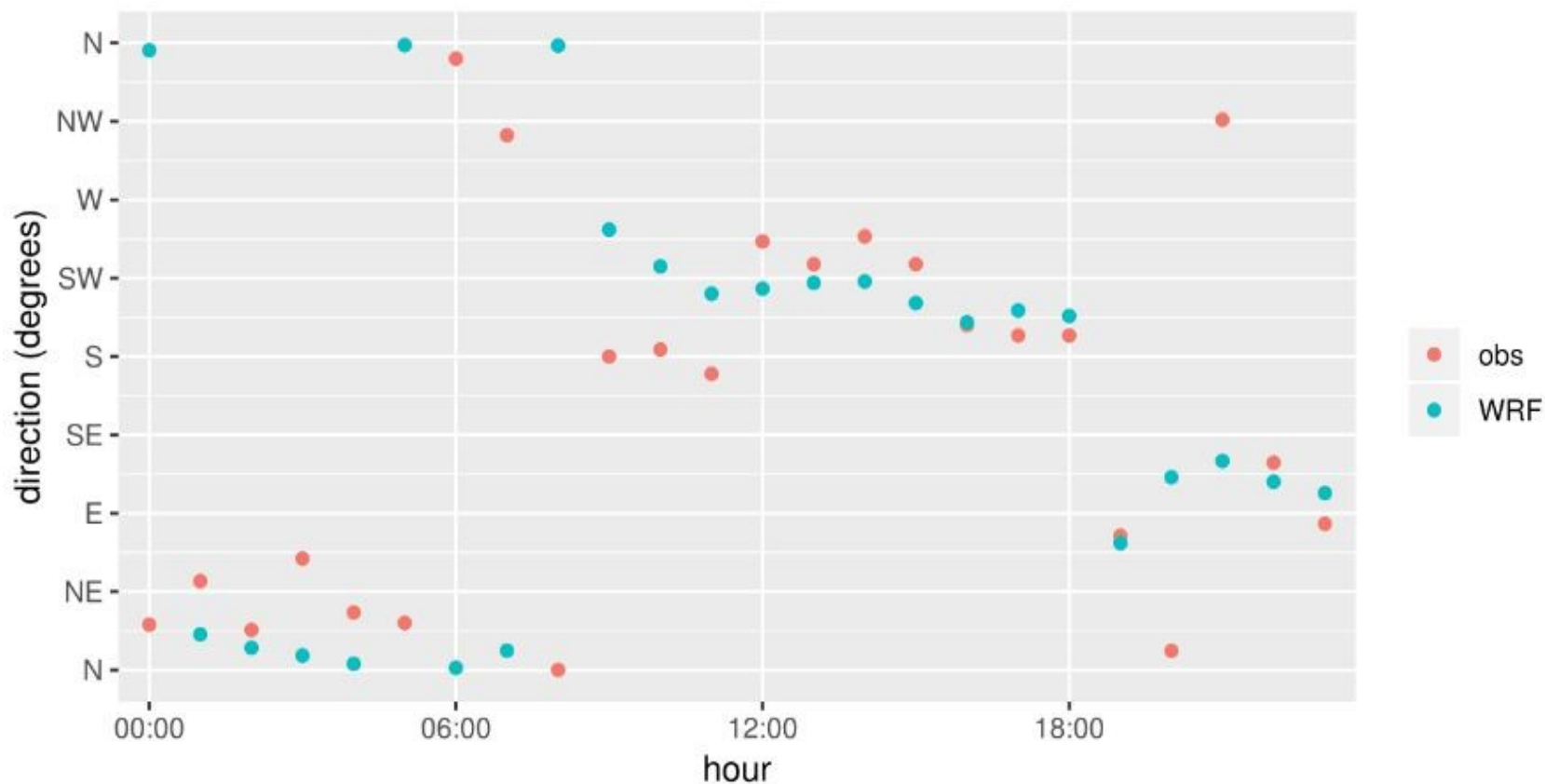
- Controllo della qualità della simulazione WRF
- Controllo disponibilità dati QA per la giornata
- Giorno feriale invernale



Andamento orario del modulo del vento per la giornata con regime di tipo brezza di buona qualità.

SIMULAZIONI - Selezione dell'input meteorologico

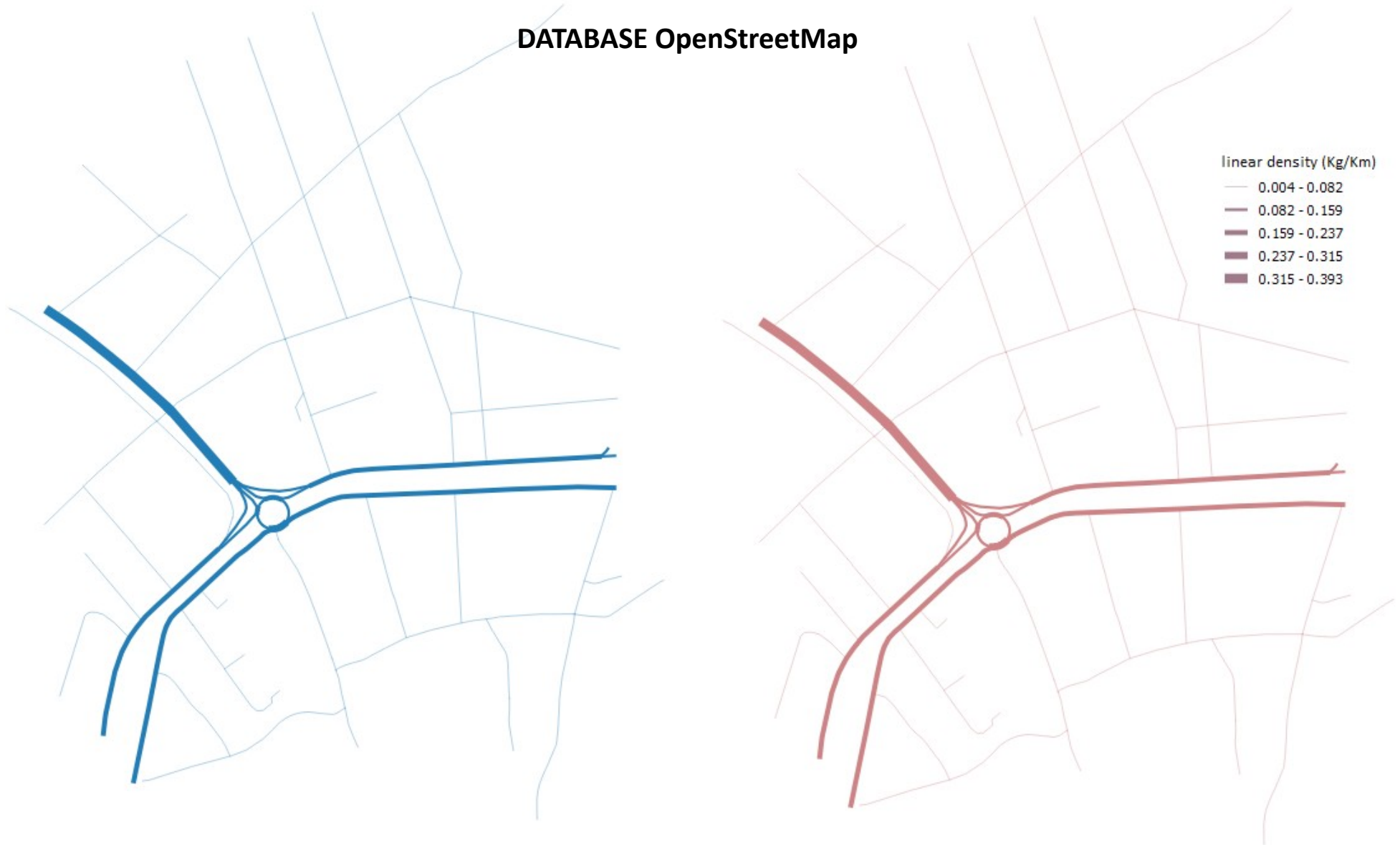
- Controllo della qualità della simulazione WRF
- Controllo disponibilità dati QA per la giornata
- Giorno feriale invernale



Andamento orario della direzione del vento per la giornata con regime di tipo brezza di buona qualità.

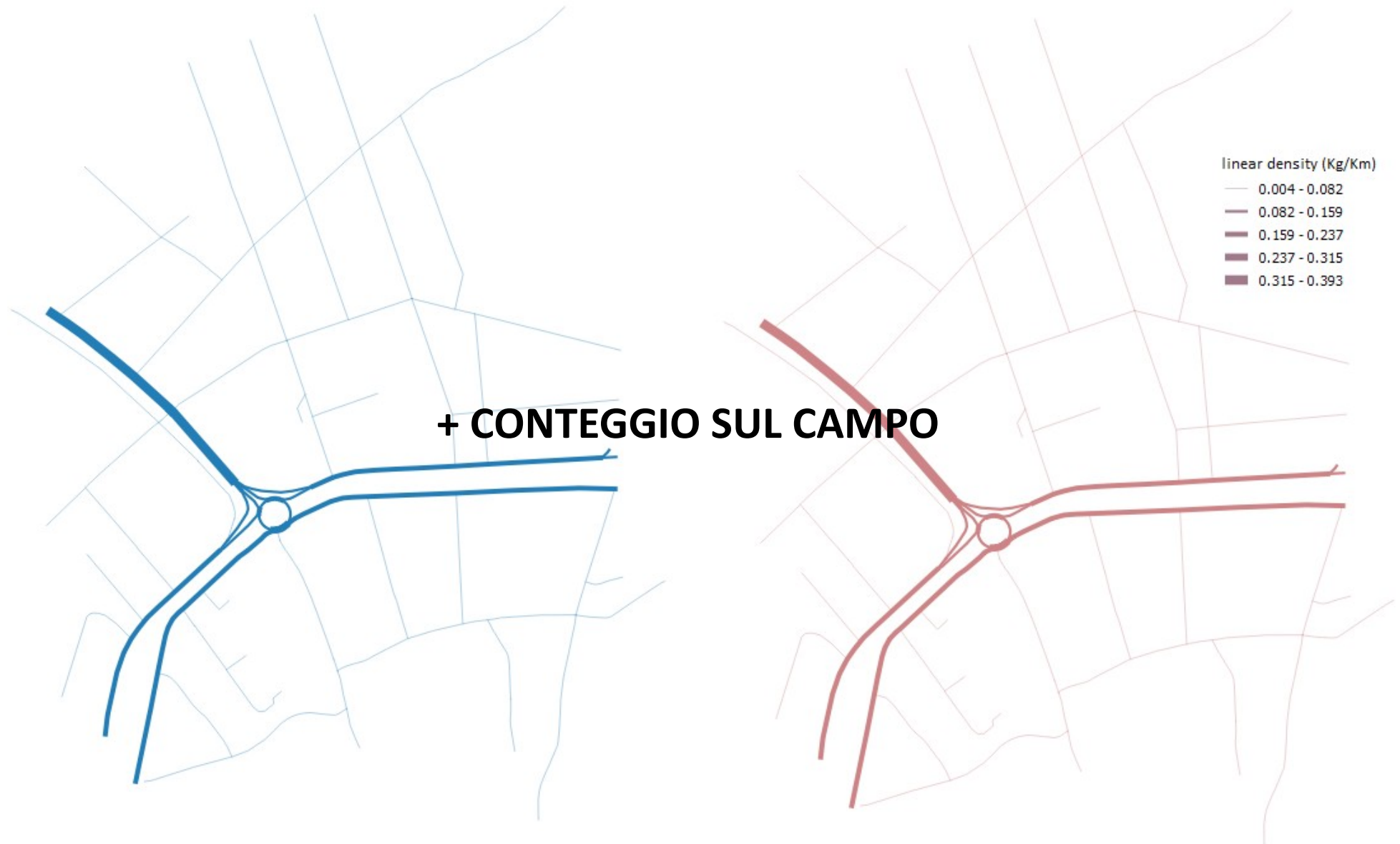
SIMULAZIONI - Selezione dell'input emissivo

DATABASE OpenStreetMap



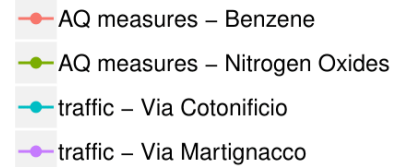
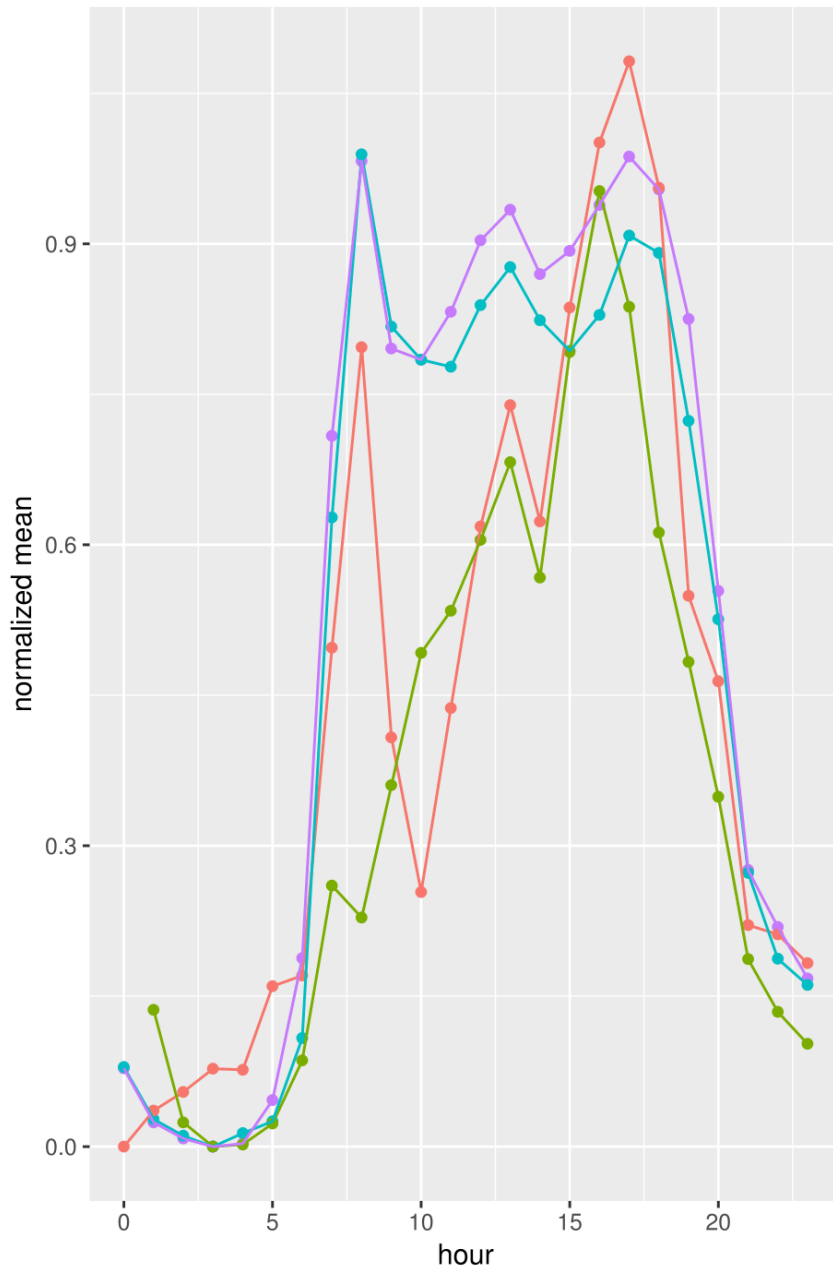
La gerarchia emissiva dei vari archi stradali (a sinistra) si rispecchia nella densità lineare delle emissioni (a destra).

SIMULAZIONI - Selezione dell'input emissivo

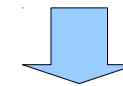


La gerarchia emissiva dei vari archi stradali (a sinistra) si rispecchia nella densità lineare delle emissioni (a destra).

SIMULAZIONI - Selezione dell'input emissivo



Category	Benzene (g/km)
Passenger Cars	0.002504
Light Commercial Vehicles	0.001477
Heavy Duty Trucks	0.000134
Buses	0.000148
Mopeds	0.03203
Motorcycles	0.01063

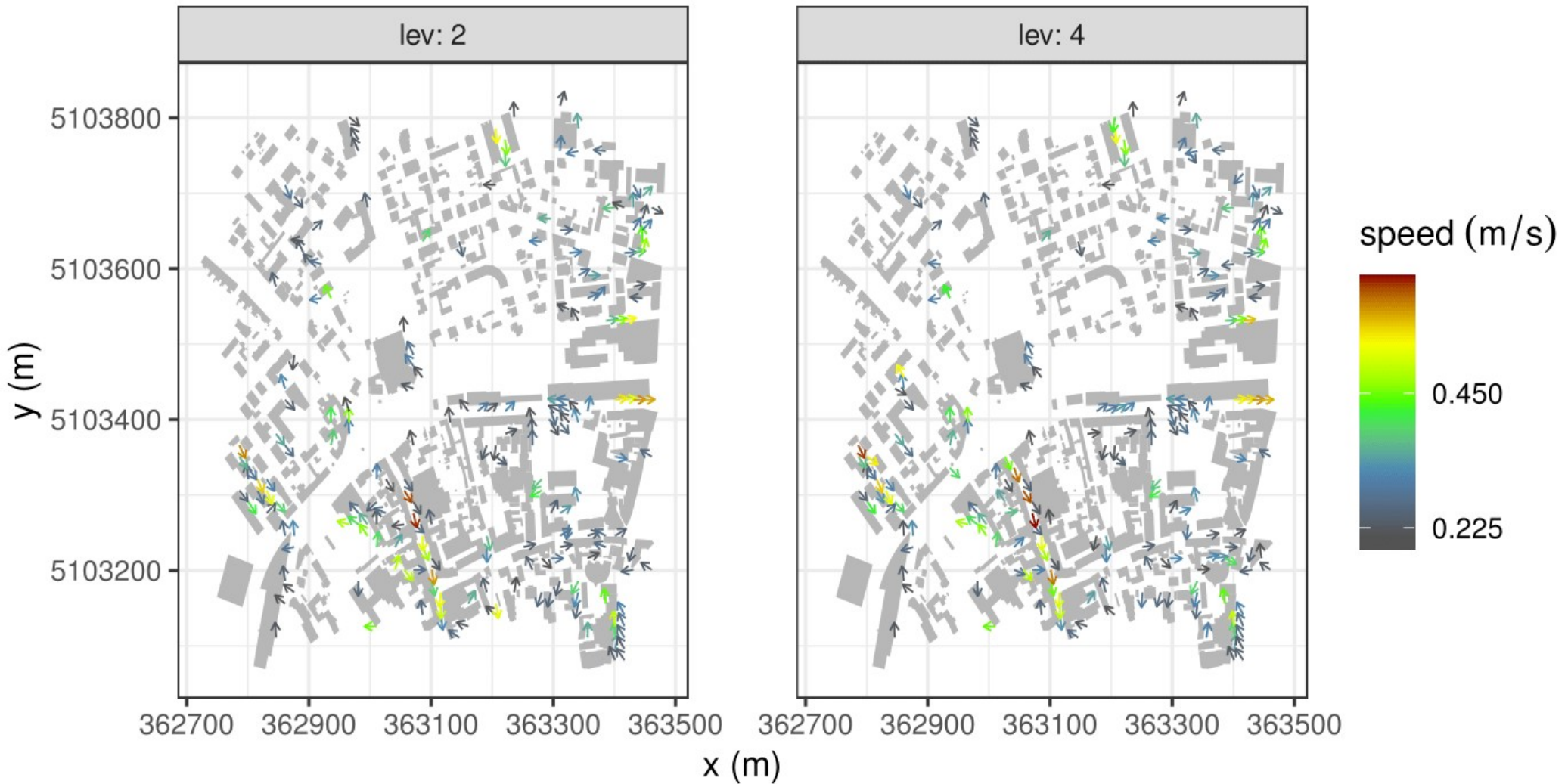


Un'emissione media oraria per una strada a senso unico di prima categoria pari a circa 0.001193 kg/km/h.

EMMA

SIMULAZIONI - Campo di vento

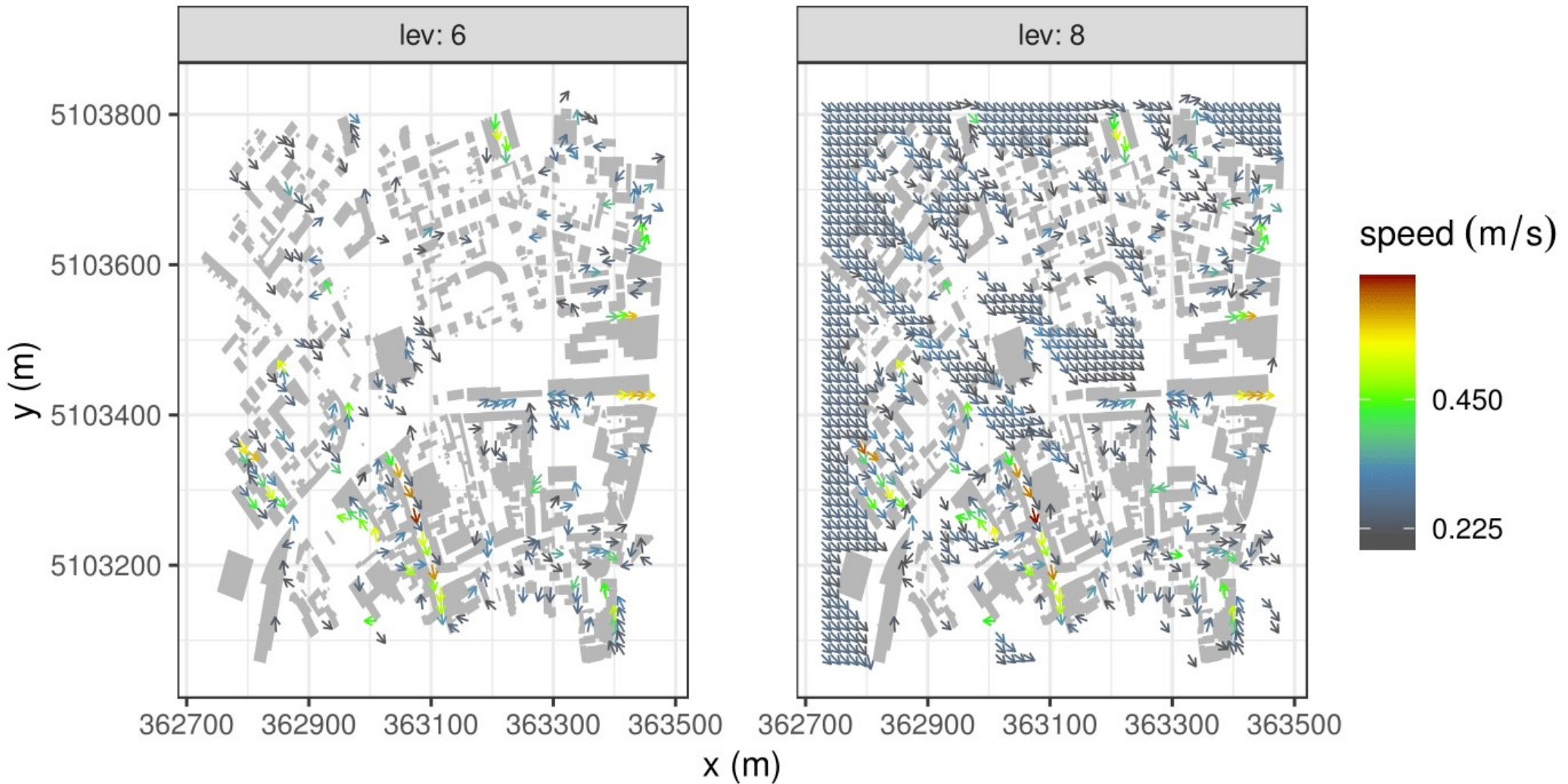
26/01/2016 – 12:00, stagnant easterly



Mappe dei venti per il secondo (0.55m) e quarto (1.65m) livello verticale, alle 12:00 UTC+1 del 26/01/2016. È stato imposto un cut-off per la velocità del vento ed è stato plottato un vettore su cinque per ogni riga del grigliato computazionale.

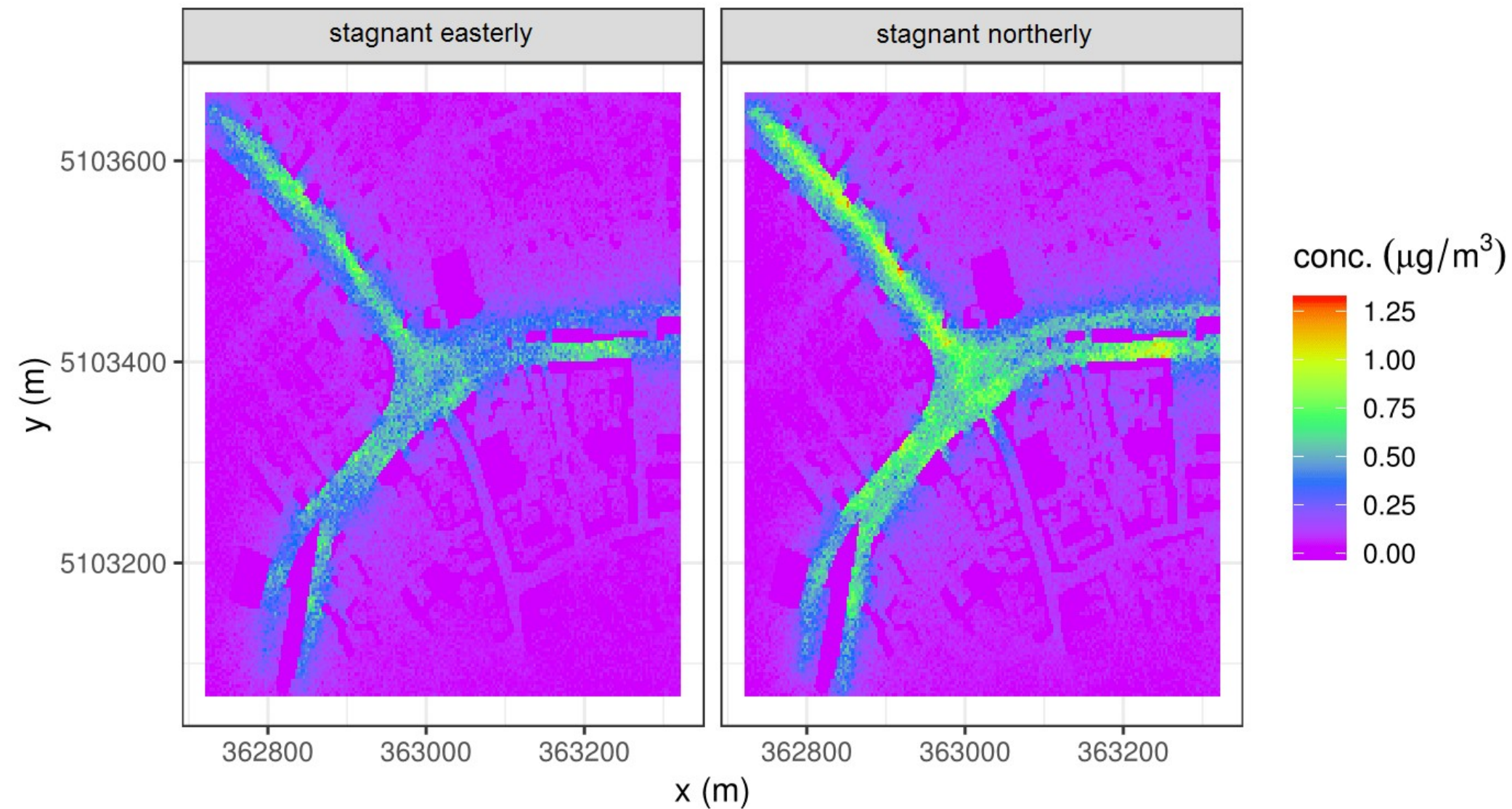
SIMULAZIONI - Campo di vento

26/01/2016 – 12:00, stagnant easterly



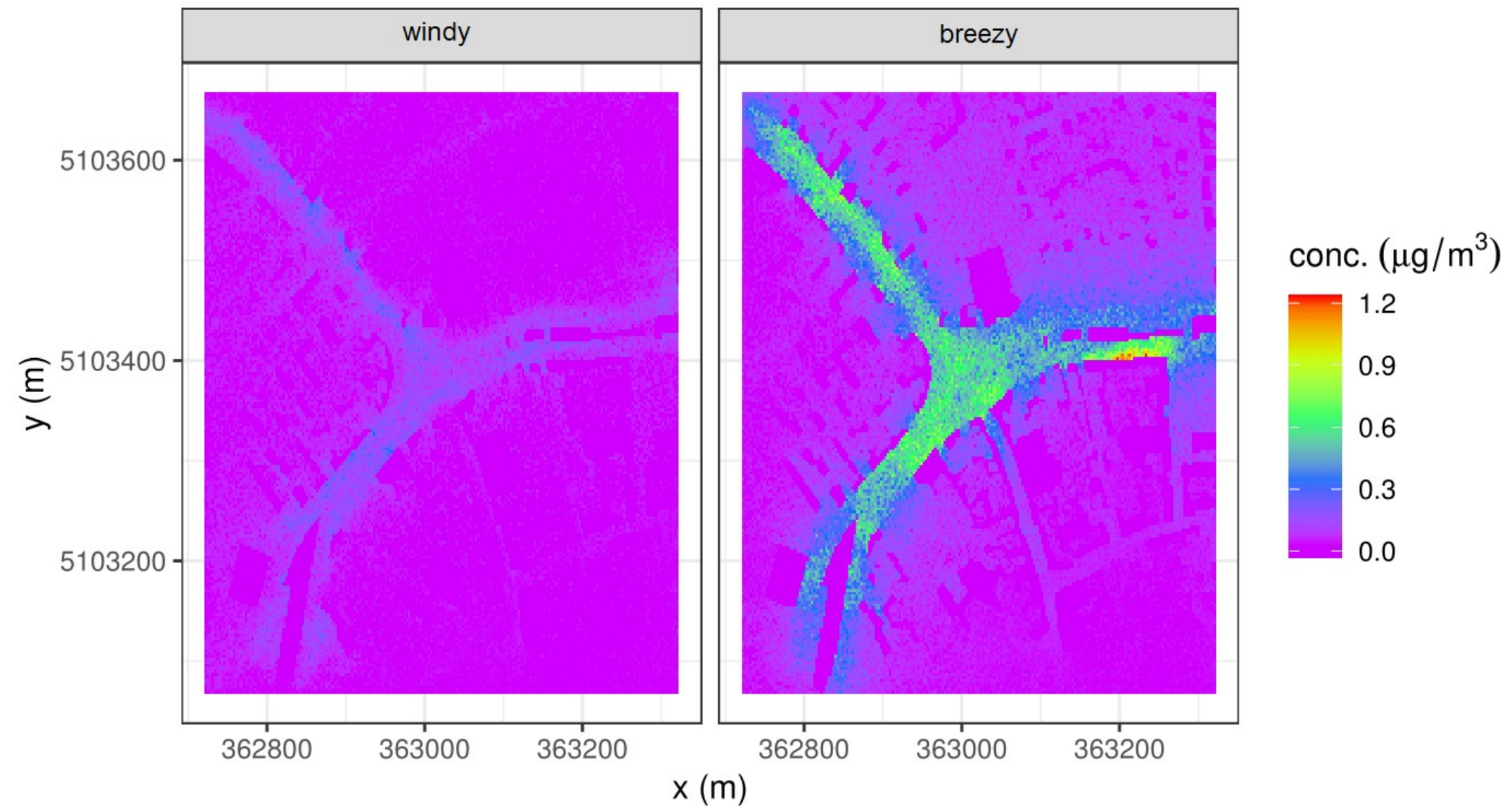
Mappe dei venti per il sesto (2.75m) e ottavo (3.85m) livello verticale, alle 12:00 UTC+1 del 26/01/2016. È stato imposto un cut-off per la velocità del vento ed è stato plottato un vettore su cinque per ogni riga del grigliato computazionale.

SIMULAZIONI - Benzene



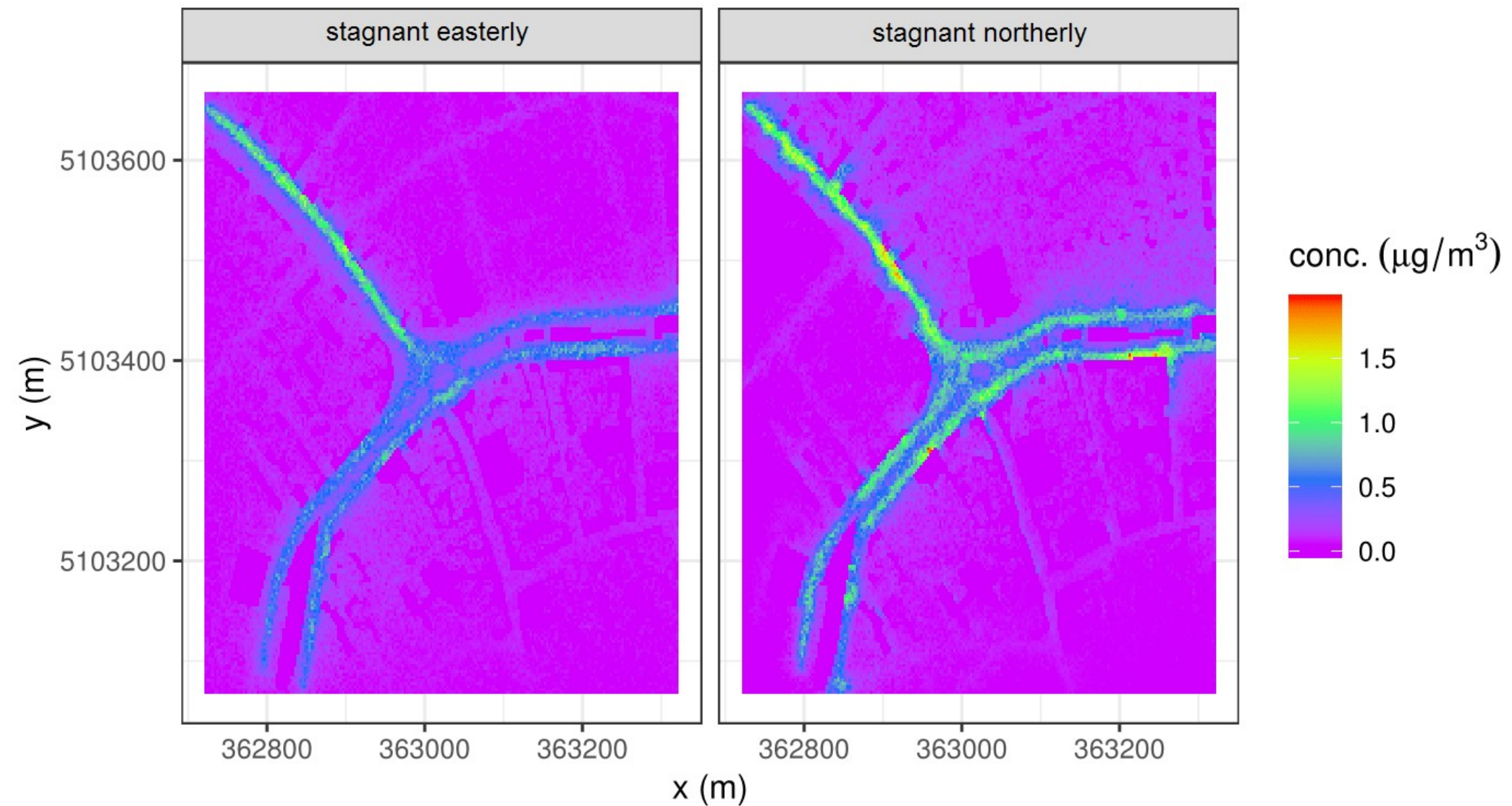
Mappe di concentrazione media oraria per le classi meteorologiche 1 e 2. Screenshot delle 12:00 UTC+1.

SIMULAZIONI - Benzene



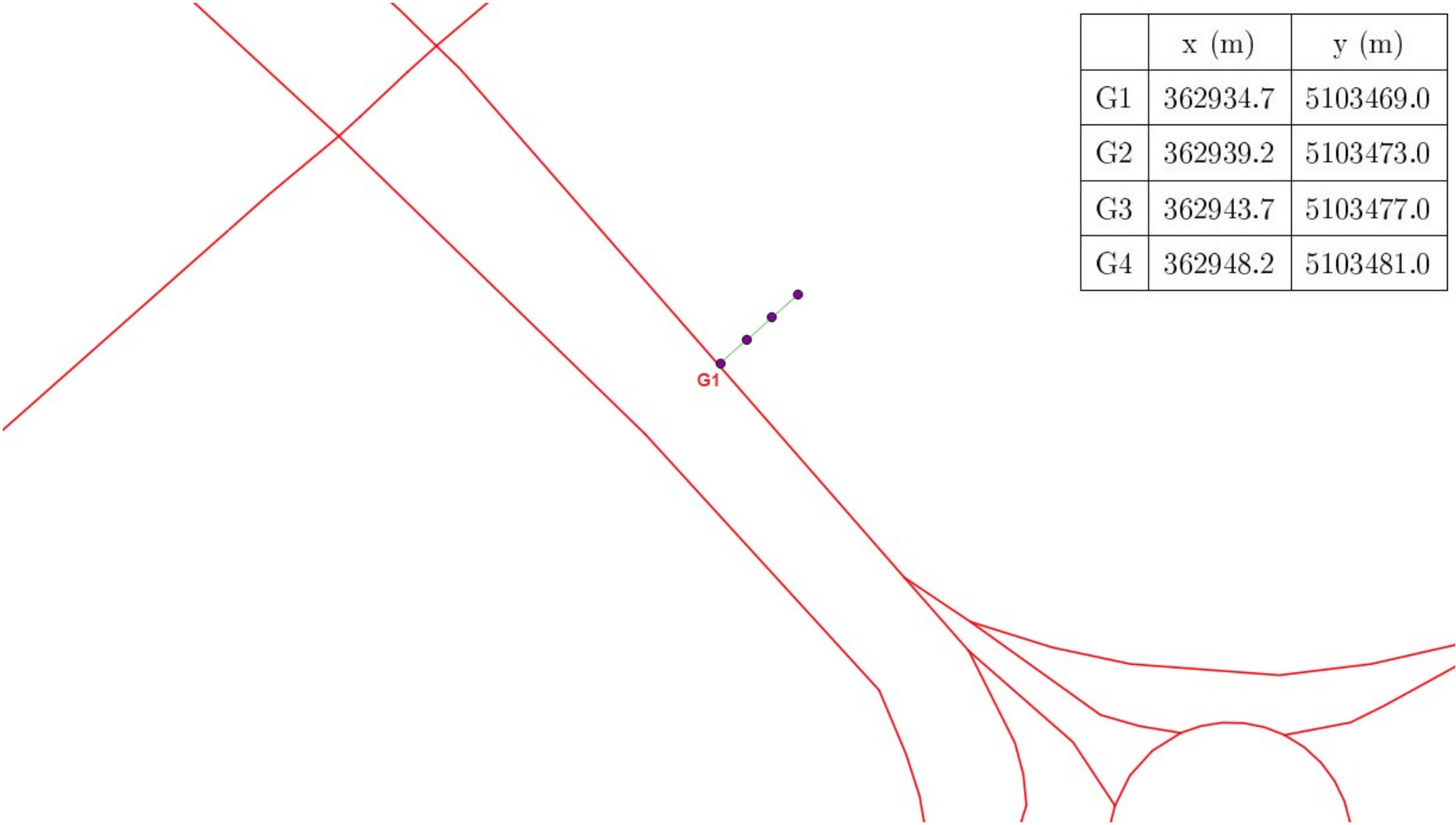
Mappe di concentrazione media oraria per le classi meteorologiche 3 e 4. Screenshot delle 12:00 UTC+1.

SIMULAZIONI - Benzene



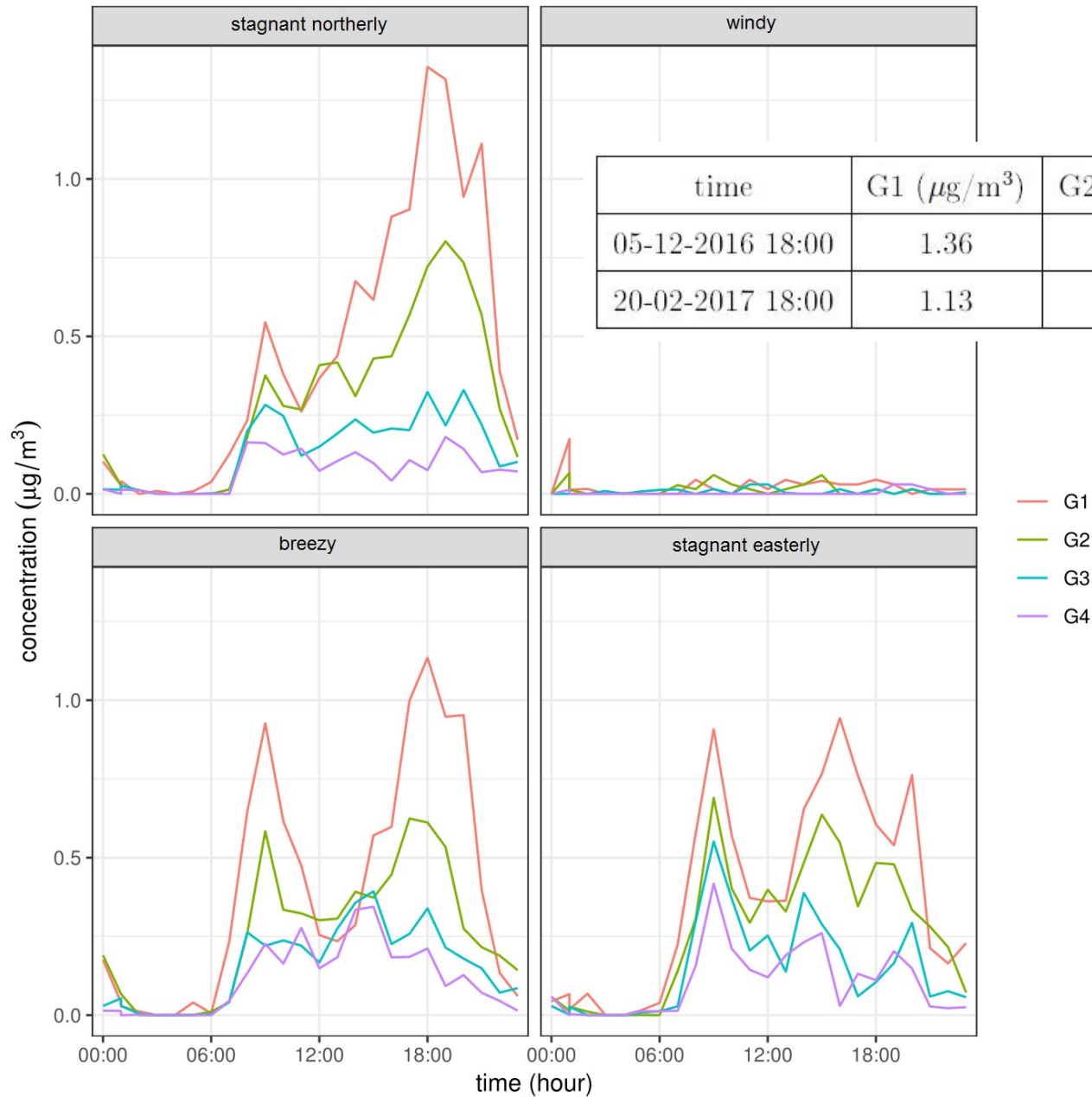
Mappe di concentrazione media oraria per le classi meteorologiche 1 e 2. Screenshot delle 18:00 UTC+1.

SIMULAZIONI - Benzene



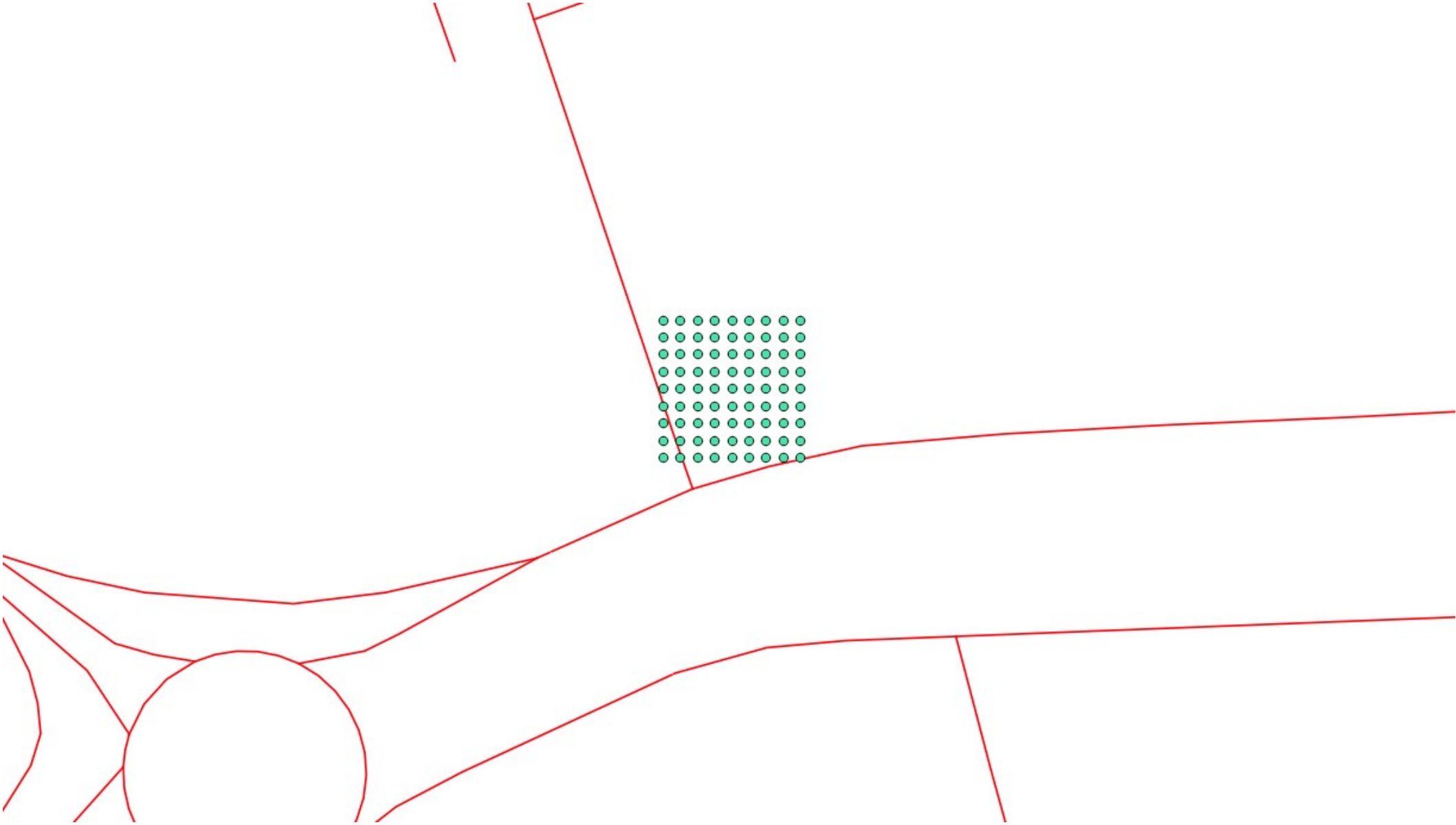
	x (m)	y (m)
G1	362934.7	5103469.0
G2	362939.2	5103473.0
G3	362943.7	5103477.0
G4	362948.2	5103481.0

SIMULAZIONI - Benzene

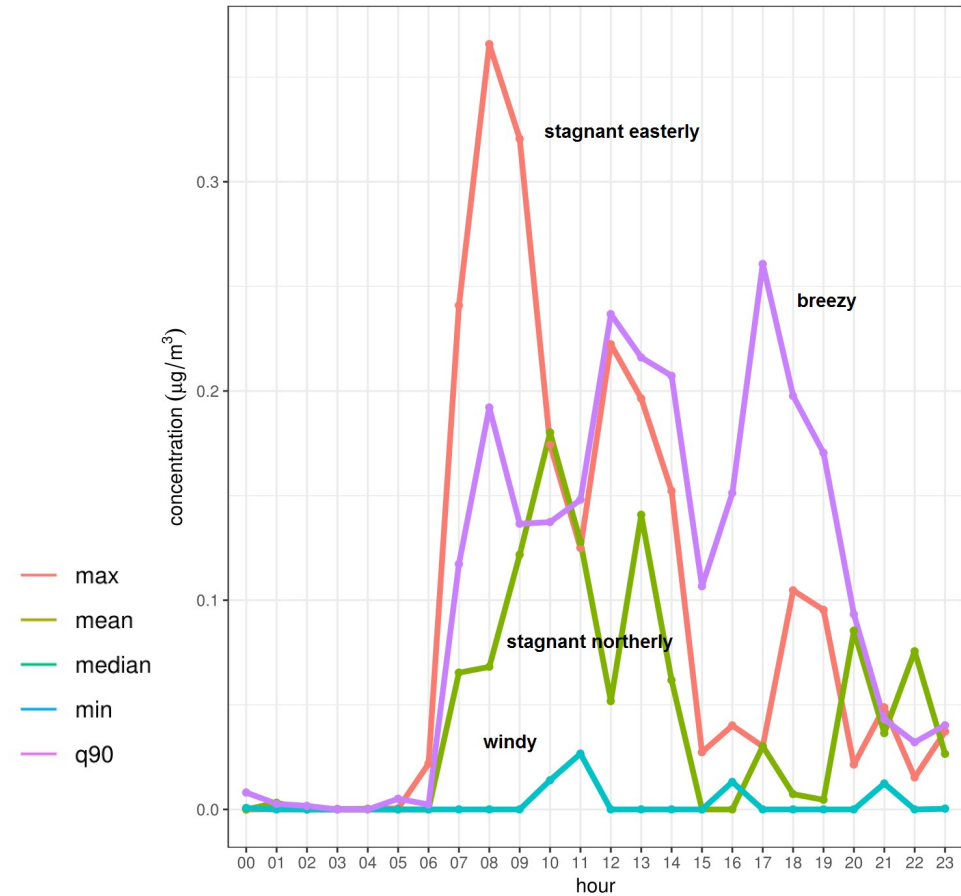
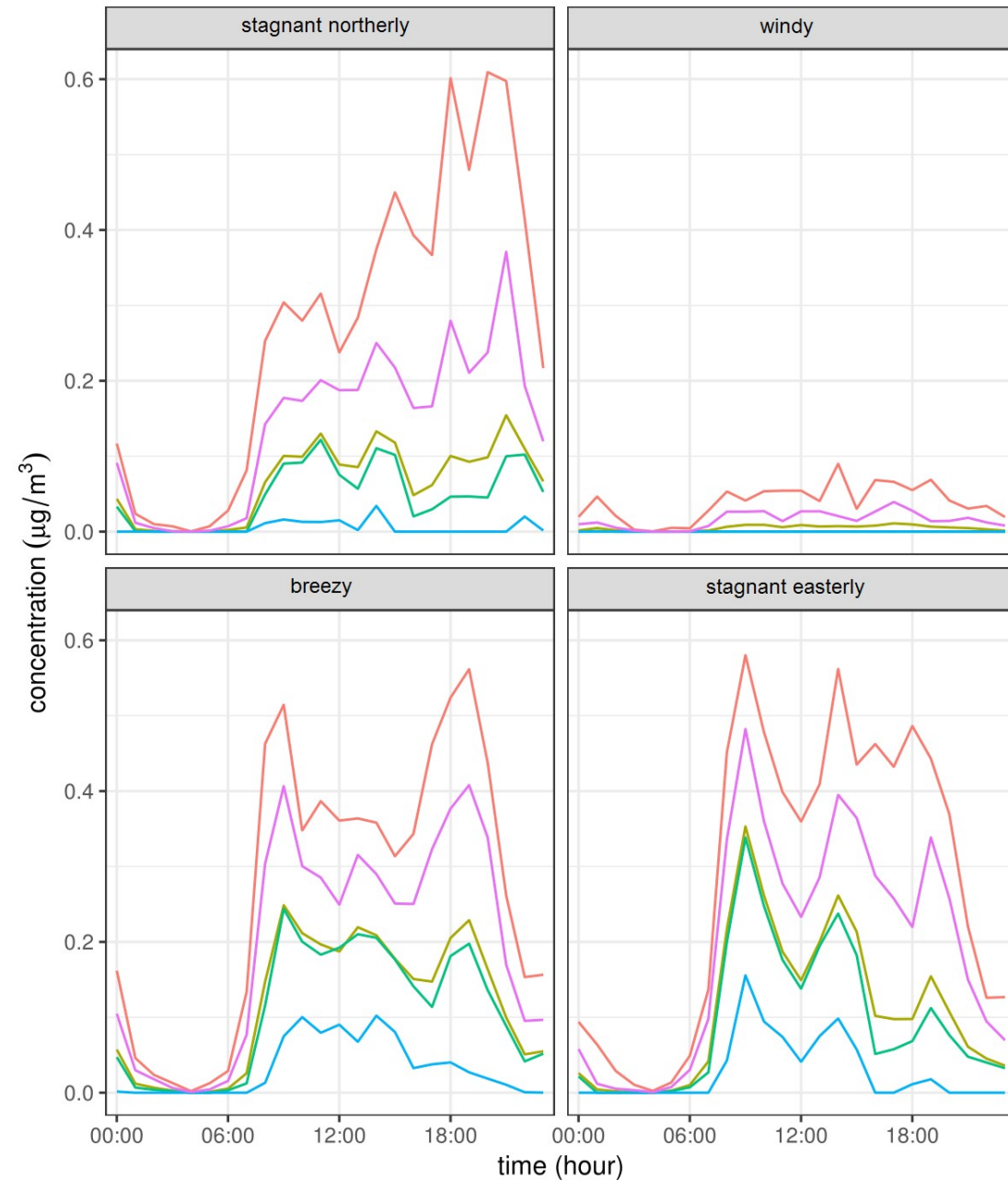


time	G1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	G2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	G3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	G4 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
05-12-2016 18:00	1.36	0.72	0.32	0.075
20-02-2017 18:00	1.13	0.61	0.34	0.211

SIMULAZIONI - Benzene



SIMULAZIONI - Benzene



Confronto tra dati puntuali e dati su griglia

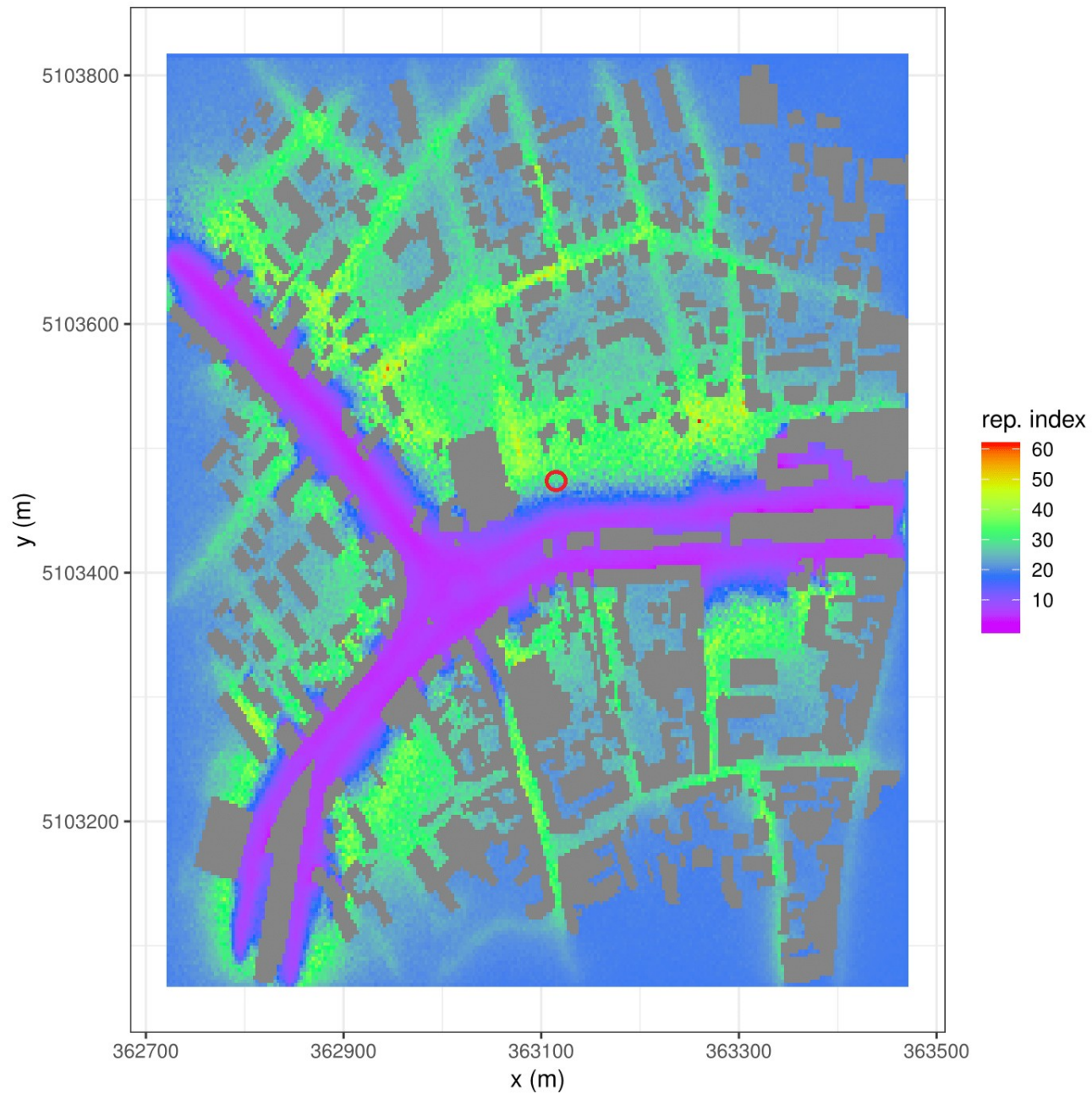
SIMULAZIONI - Studio di rappresentatività

- Non c'è una definizione universalmente accettata
- Intesa come “vicinanza” di un singolo ente rispetto a una proprietà collettiva
- Nel nostro caso:

“inverso della distanza euclidea a 24 componenti (concentrazioni medie orarie) rispetto a un ente medio (medie orarie sul dominio di tutte le concentrazioni medie orarie)”

- Rappresentatività su base annuale ottenuta pesando le rappresentatività relative ai regimi meteo per la frequenza annuale con cui tali regimi si ripresentano

SIMULAZIONI - Studio di rappresentatività



Scale meteorologiche

Modelli diagnostici

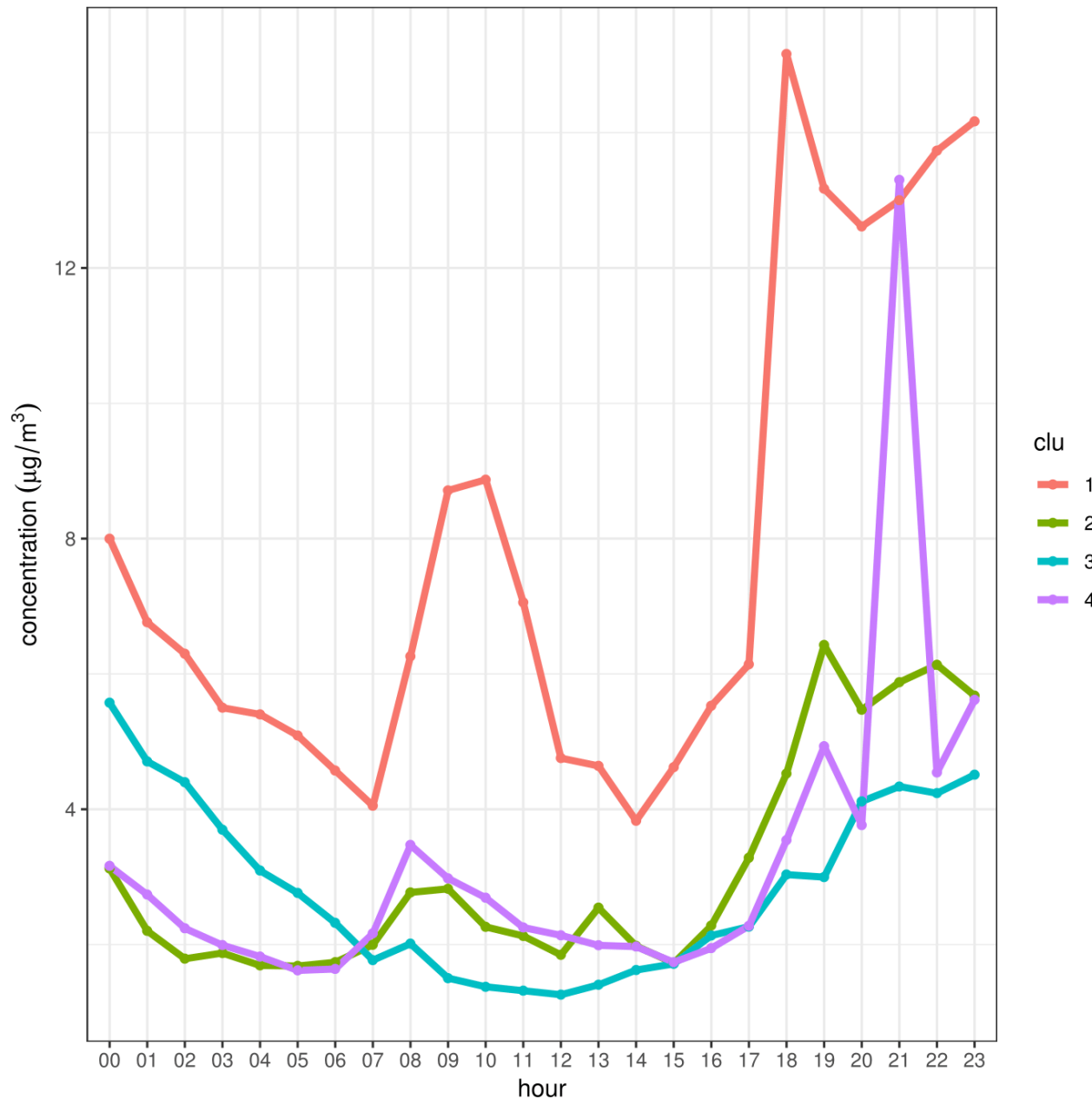
Dispersione atmosferica

La suite modellistica MSS

Simulazioni

Conclusioni

CONCLUSIONI - Analisi

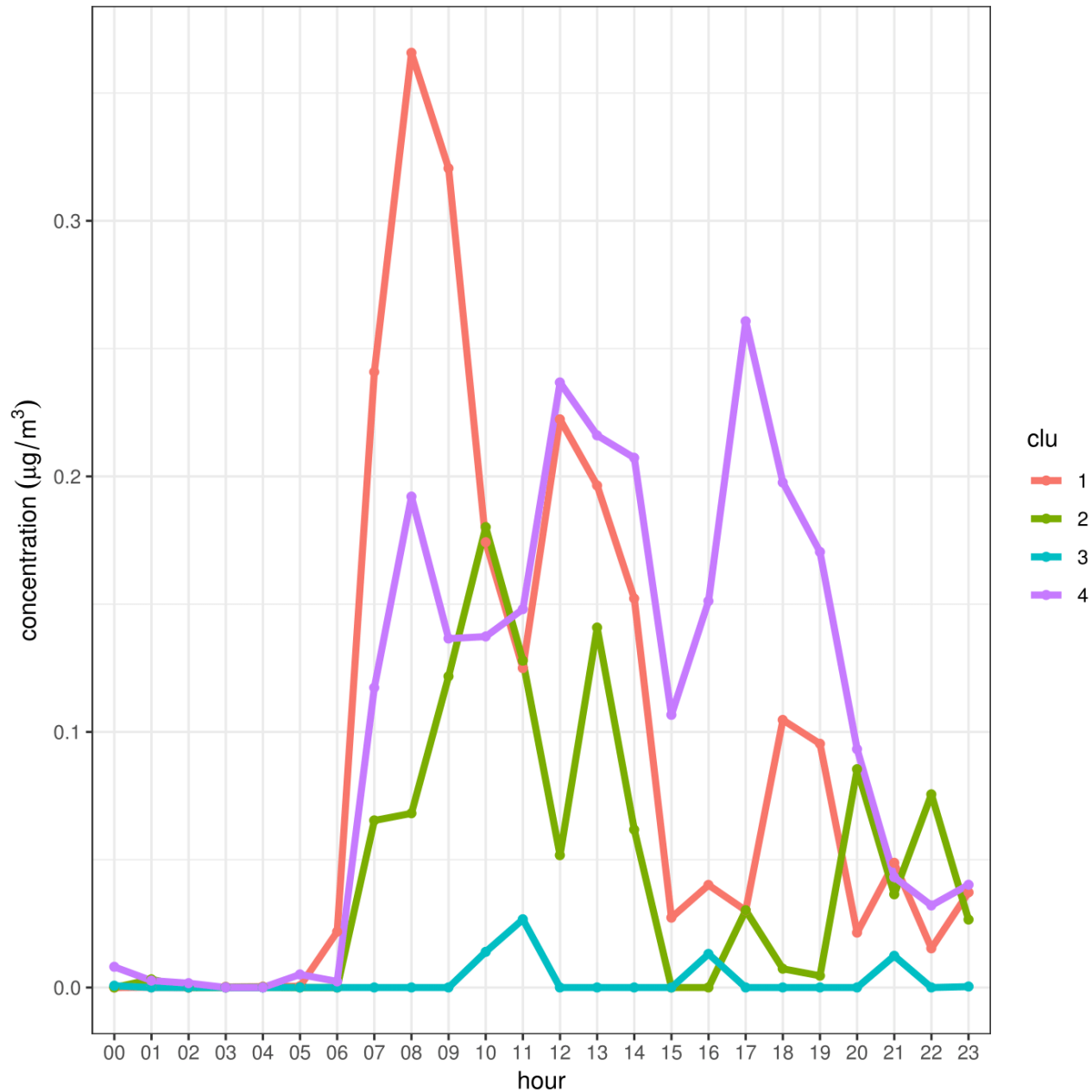


- C'è un segnale notturno che non si può riprodurre con il modello

- Sovrapposizione di segnali rappresentativi di varie scale spaziali e temporali

Serie temporali di concentrazione di benzene misurate dalla centralina di traffico. Distinzione in base alla clusterizzazione (clu).

CONCLUSIONI - Analisi

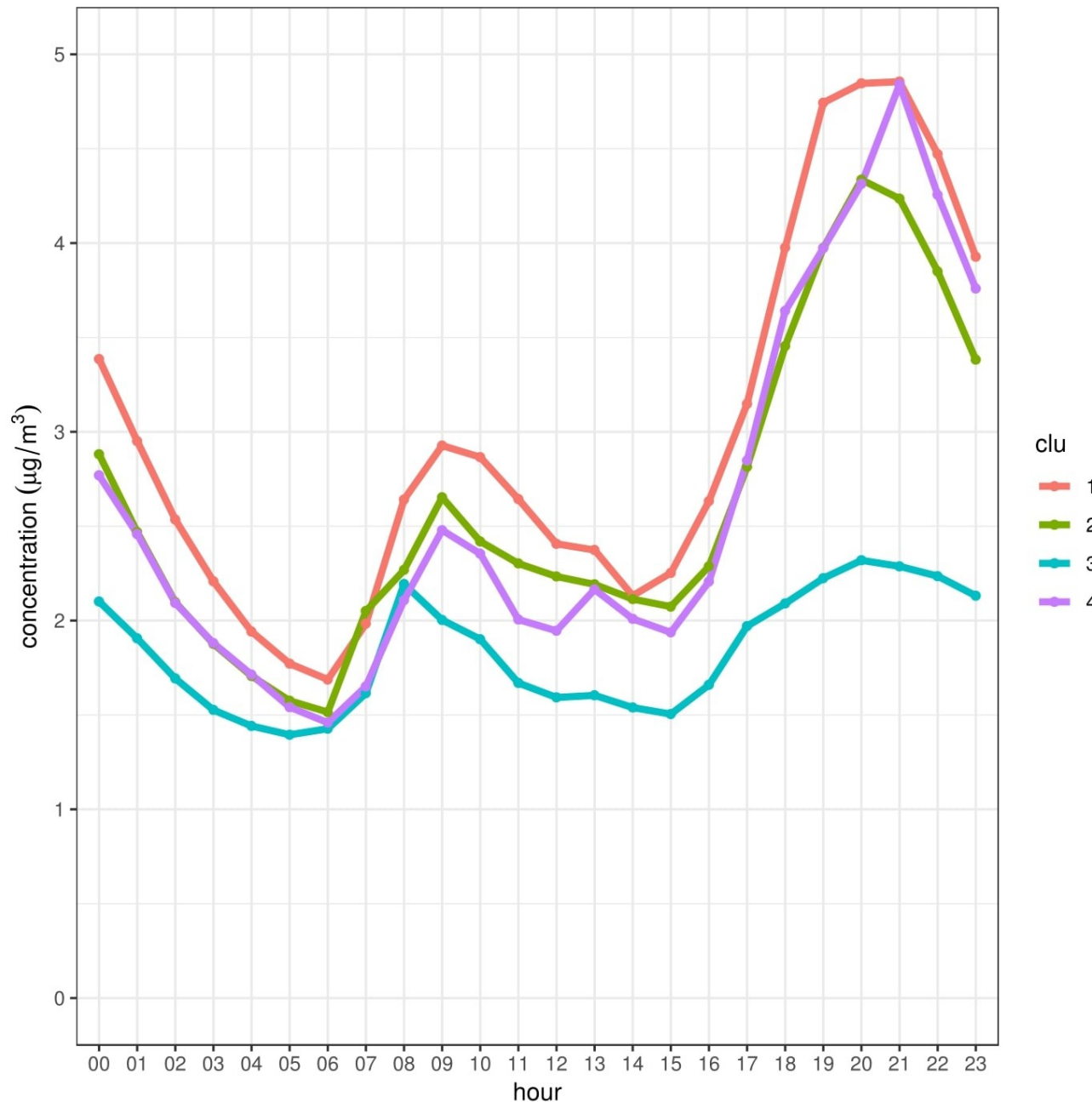


- C'è un segnale notturno che non si può riprodurre con il modello

- Sovrapposizione di segnali rappresentativi di varie scale spaziali e temporali

Serie temporali di concentrazione di benzene modellate da microSPRAY. Distinzione in base alla clusterizzazione (clu).

CONCLUSIONI - Analisi



- C'è un segnale notturno che non si può riprodurre con il modello
- Sovrapposizione di segnali rappresentativi di varie scale spaziali e temporali

Smoothing di tre anni di misure invernali di concentrazione di benzene della centralina di traffico. Distinzione in base alla clusterizzazione (clu).

CONCLUSIONI - Analisi

interval	breezy	
	microSPRAY	traffic-background
[0,3)	1.7e-03 , 8.1e-03	-5.3e-01 , -3.3e-01
[3,6)	0.0e+00 , 5.1e-03	-3.4e-01 , -2.3e-01
[6,9)	2.4e-03 , 1.9e-01	-1.9e-01 , 3.0e-02
[9,12)	1.4e-01 , 1.5e-01	-3.7e-02 , 2.9e-01
[12,15)	2.1e-01 , 2.4e-01	1.2e-01 , 2.2e-01
[15,18)	1.1e-01 , 2.6e-01	-3.5e-02 , 2.7e-01
[18,21)	9.3e-02 , 2.0e-01	-2.0e-01 , 1.6e+00
[21,24]	3.2e-02 , 4.3e-02	-3.8e-02 , 9.4e+00

Range di concentrazione per fasce orarie di tre ore relativi al modello e alla differenza tra stazione di traffico e di fondo. Regime di tipo brezza. Valori in microgrammi al metro cubo.

CONCLUSIONI - Analisi

interval	stagnant northerly	
	microSPRAY	traffic-background
[0,3)	0.0e+00 , 3.2e-03	-6.7e-01 , -5.1e-01
[3,6)	0.0e+00 , 7.5e-05	-3.7e-01 , -2.0e-01
[6,9)	0.0e+00 , 6.8e-02	-5.6e-01 , -1.4e-01
[9,12)	1.2e-01 , 1.8e-01	-2.2e+00 , -1.3e+00
[12,15)	5.2e-02 , 1.4e-01	-4.4e-01 , 4.0e-01
[15,18)	0.0e+00 , 3.0e-02	-4.7e-01 , 5.4e-02
[18,21)	4.6e-03 , 8.5e-02	-2.3e+00 , -4.8e-01
[21,24]	2.7e-02 , 7.6e-02	-1.2e+00 , -2.1e-01

Range di concentrazione per fasce orarie di tre ore relativi al modello e alla differenza tra stazione di traffico e di fondo. Regime di tipo stagnante/venti da nord. Valori in microgrammi al metro cubo.

Riassumendo

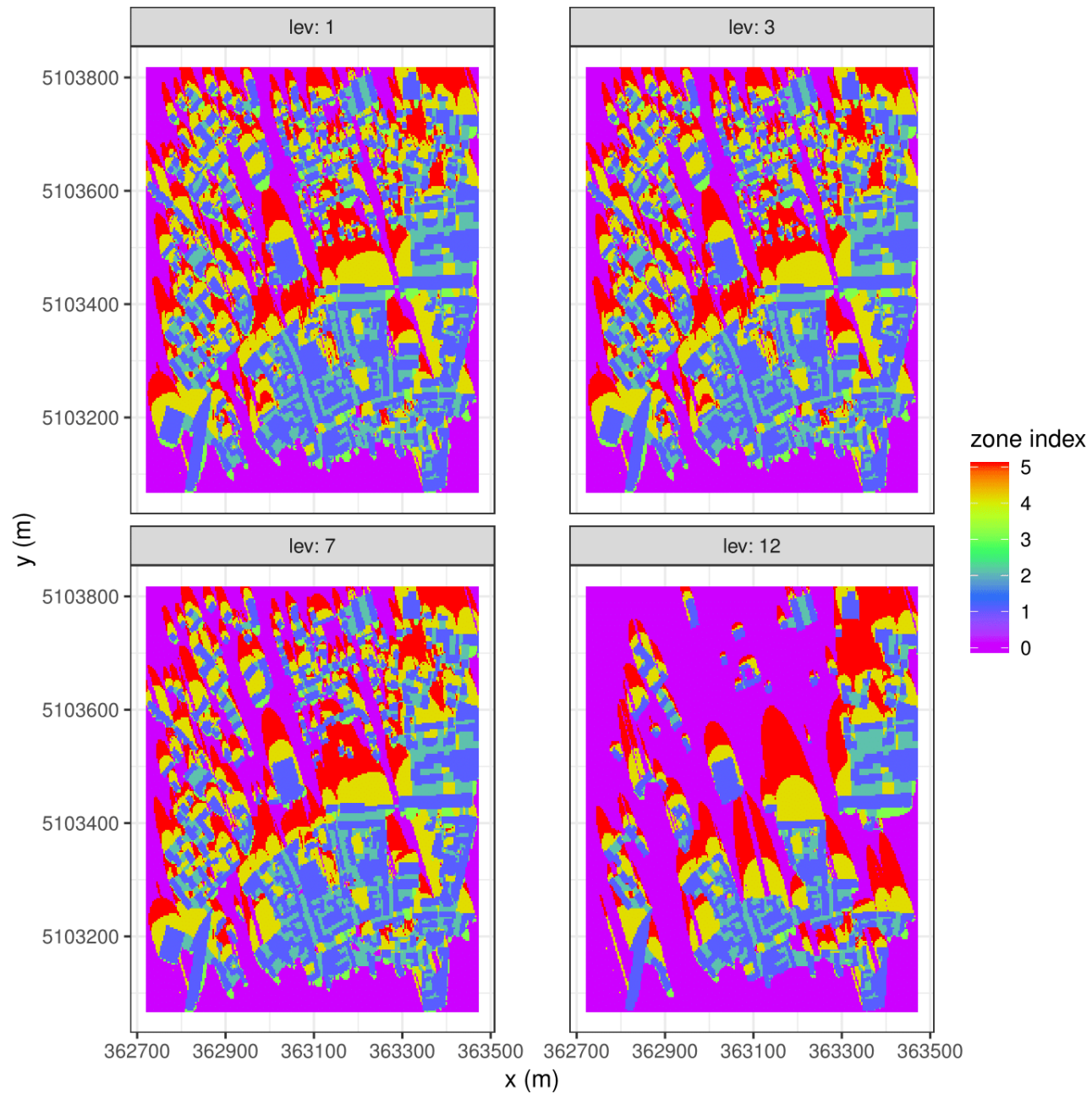
- Il modello non riproduce l'andamento notturno della concentrazione
- Il modello sottostima significativamente le differenze tra stazione di fondo e stazione di traffico
- Il modello riproduce il forte gradiente spaziale sia predetto dalla teoria che osservato attraverso misurazioni
- Il segnale temporale persiste per situazioni meteorologicamente stabili
- Il modello si può utilizzare per studi di rappresentatività

CONCLUSIONI - Lavoro futuro

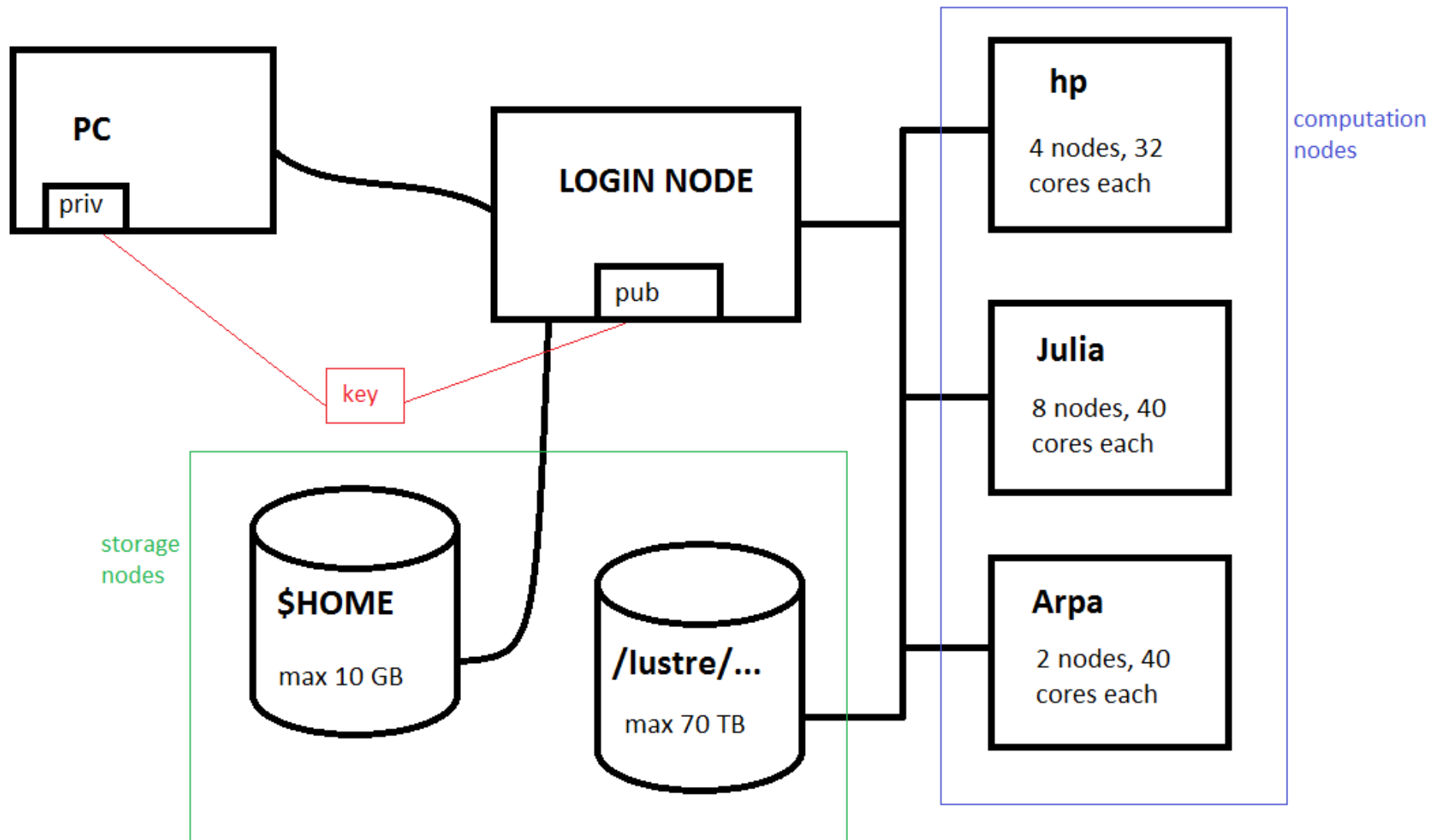
- Caratterizzare più accuratamente le emissioni
- Caratterizzare ordini di grandezza dei contributi al segnale provenienti dalle varie scale spaziali e temporali
- Studi sull'effettivo carattere di fondo e di traffico per alcune stazioni meteo per quanto riguarda il benzene
- Testare la versione parallela di microSPRAY
- Testare una nuova versione del modello diagnostico interpolante che conserva energia e quantità di moto
- Accoppiare microSPRAY a un modello LES per confronti prestazionali con MSS in ottica operativa

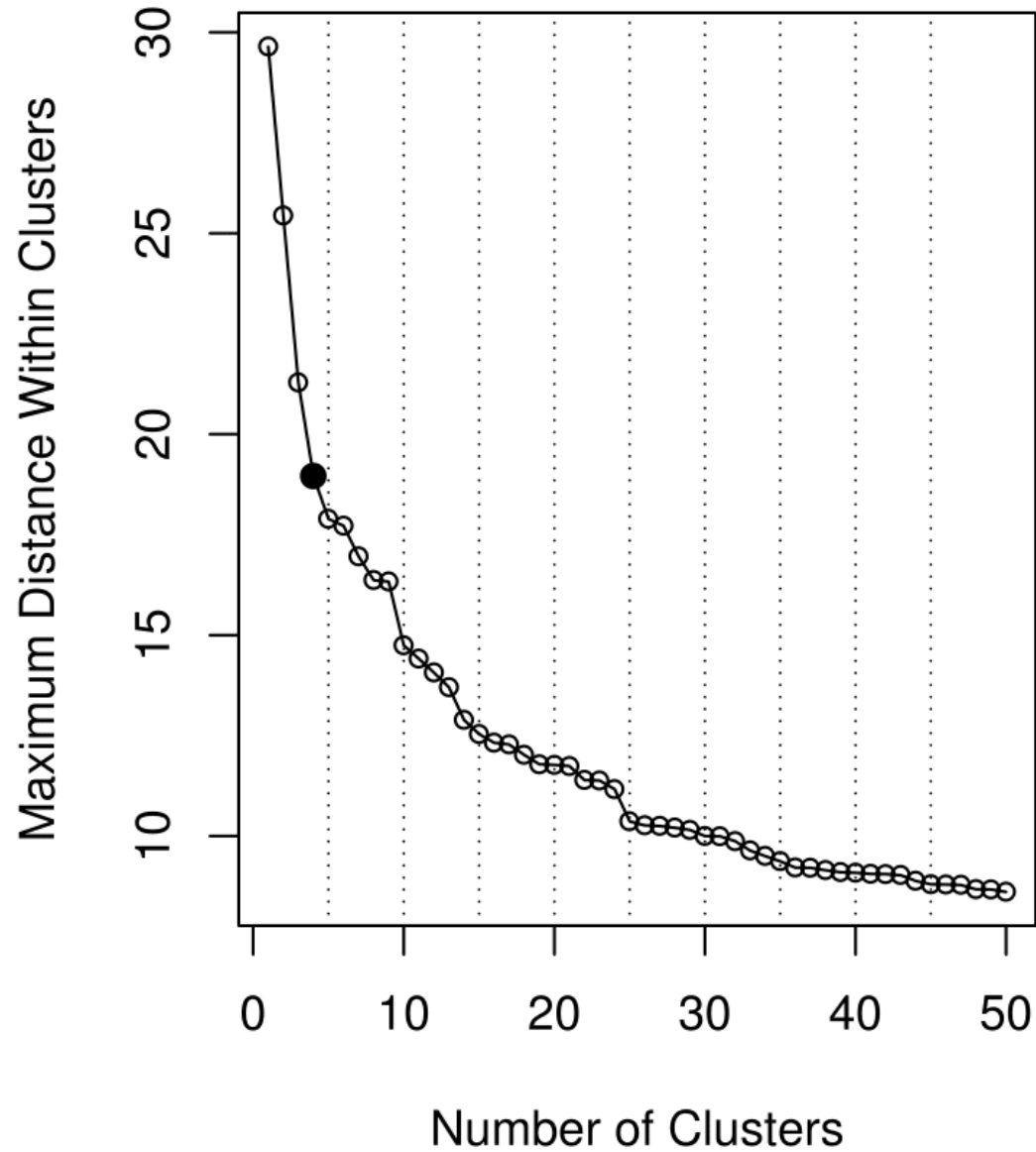


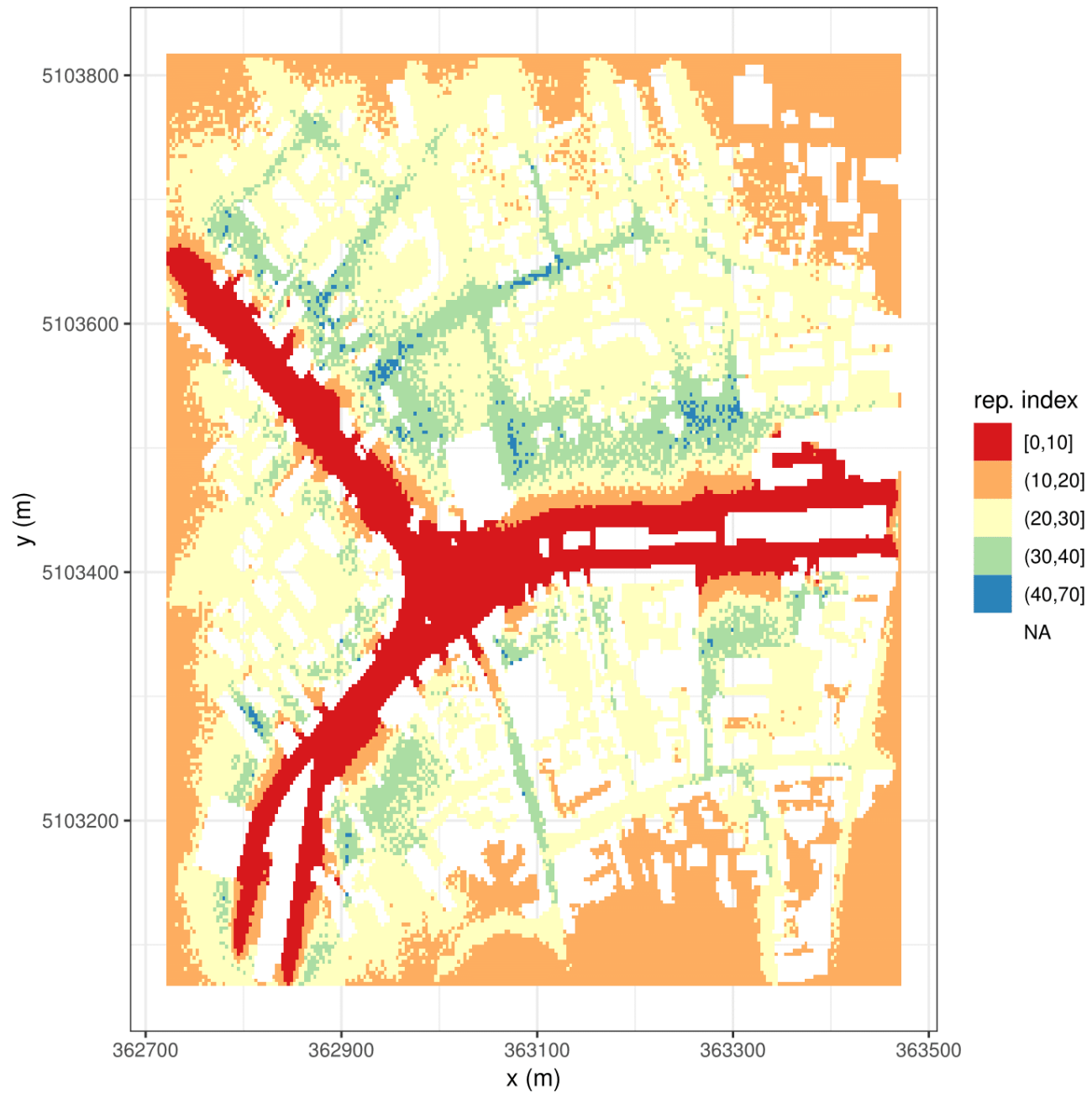
**GRAZIE PER
L'ATTENZIONE!**

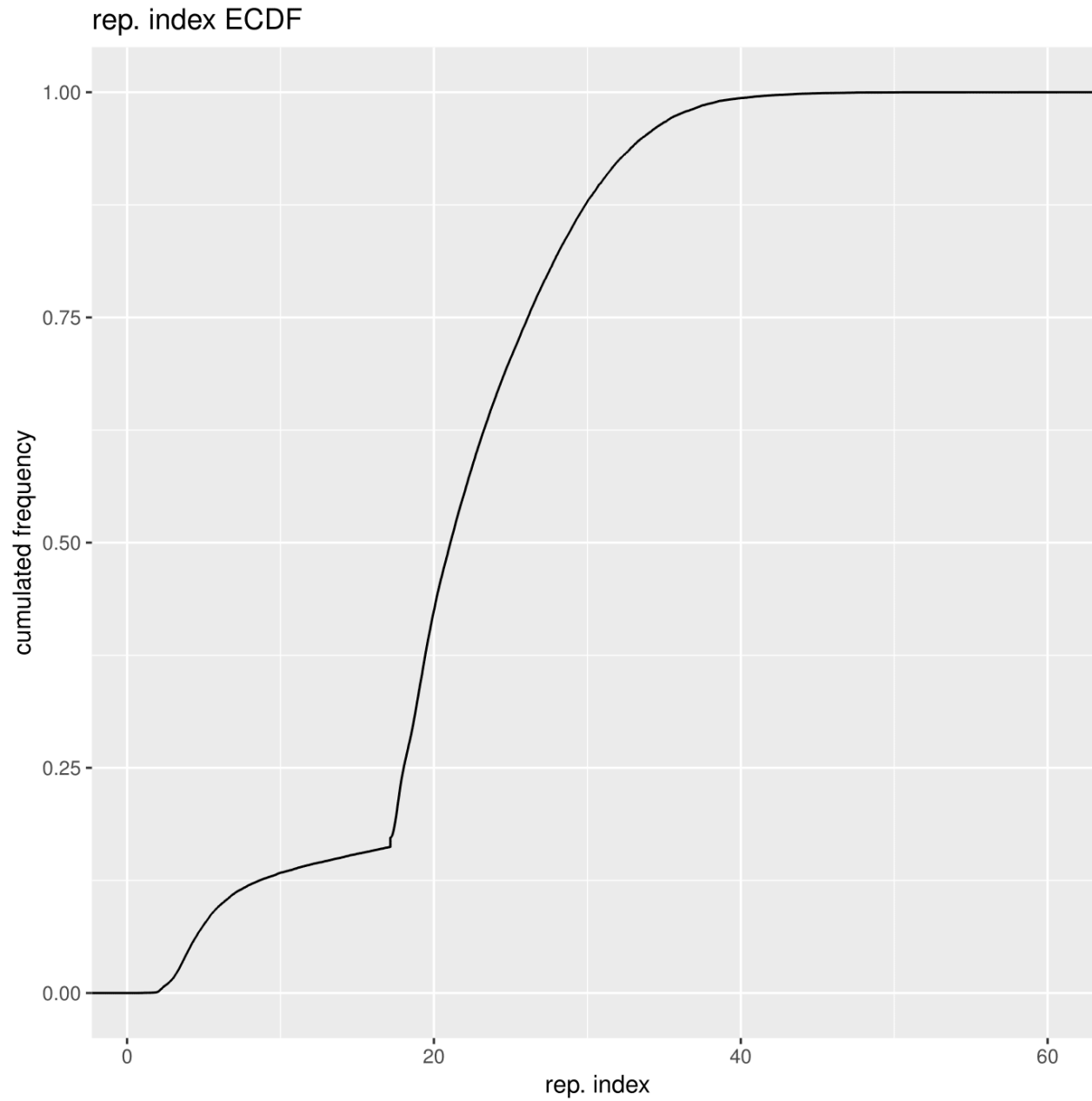


EXTRA -









EXTRA -

