

# Caratterizzazione climatica ad alta risoluzione spaziale del campo di temperatura nell'UCL.

Giuseppe Frustaci, Enea Montoli, Cristina Lavecchia, Samantha Pilati  
Fondazione Osservatorio Meteorologico Milano Duomo

[www.fondazioneomd.it](http://www.fondazioneomd.it)

[g.frustaci@fondazioneomd.it](mailto:g.frustaci@fondazioneomd.it)

## ABSTRACT

Il **clima urbano** sta acquistando sempre maggiore importanza nel quadro dei programmi di resilienza e adattamento al cambiamento climatico in corso e sono sempre più numerose e urgenti le richieste in merito da parte di autorità e ordini professionali. La sua conoscenza è tuttavia limitata dalla complessità dell'Urban Canopy Layer (UCL) e, a fronte di questa, dalla necessità di un campionamento ad alta risoluzione spaziale e temporale: in particolare per la temperatura, essenziale per un vasto campo applicativo.

In risposta a queste esigenze, nell'ambito del **Progetto ClimaMI**, è stato predisposto e testato uno **strumento di analisi spaziale delle temperature** che, integrando le misure delle stazioni disponibili nell'UCL con il telerilevamento della LST dal Sentinel 3, permette di ricostruire mappe di temperatura dell'aria ad alta risoluzione spaziale (100 m) utili per una climatologia termica urbana dettagliata.

Il metodo fa ricorso al **CoKriging**, partendo dall'esistenza di una correlazione tra le due temperature. L'esame dei semivariogrammi delle due variabili, opportunamente modellizzati, consente la costruzione del cross-semivariogramma da cui è possibile calcolare i pesi relativi delle stesse (una primaria ma sotto campionata:  $T_{aria}$ ; l'altra sovra campionata ma meno precisa: LST), con cui ottenere per combinazione lineare il campo di temperatura dell'aria ad alta risoluzione.

Ai fini climatici i singoli campi, ottenuti in corrispondenza dei passaggi satellitari utili, vengono mediati **differentiando tra situazioni meteorologicamente diverse**, definite in termini oggettivi sulla base delle misure ed in funzione delle principali applicazioni (energetiche, bioclimatiche).

Il risultato è un **Atlante del campo termico cittadino** immediatamente fruibile da parte di professionisti e autorità locali.

In questo lavoro vengono descritti i **risultati per il bacino aerologico milanese** e la **metodologia**, replicabile in contesti diversi.

**MOTIVAZIONE:** necessità di conoscenza climatica del campo di temperatura dell'aria ( $T_{aria}$ ) ad alta risoluzione ( $\leq 100$  m) in area urbana per applicazioni di adattamento e mitigazione climatica

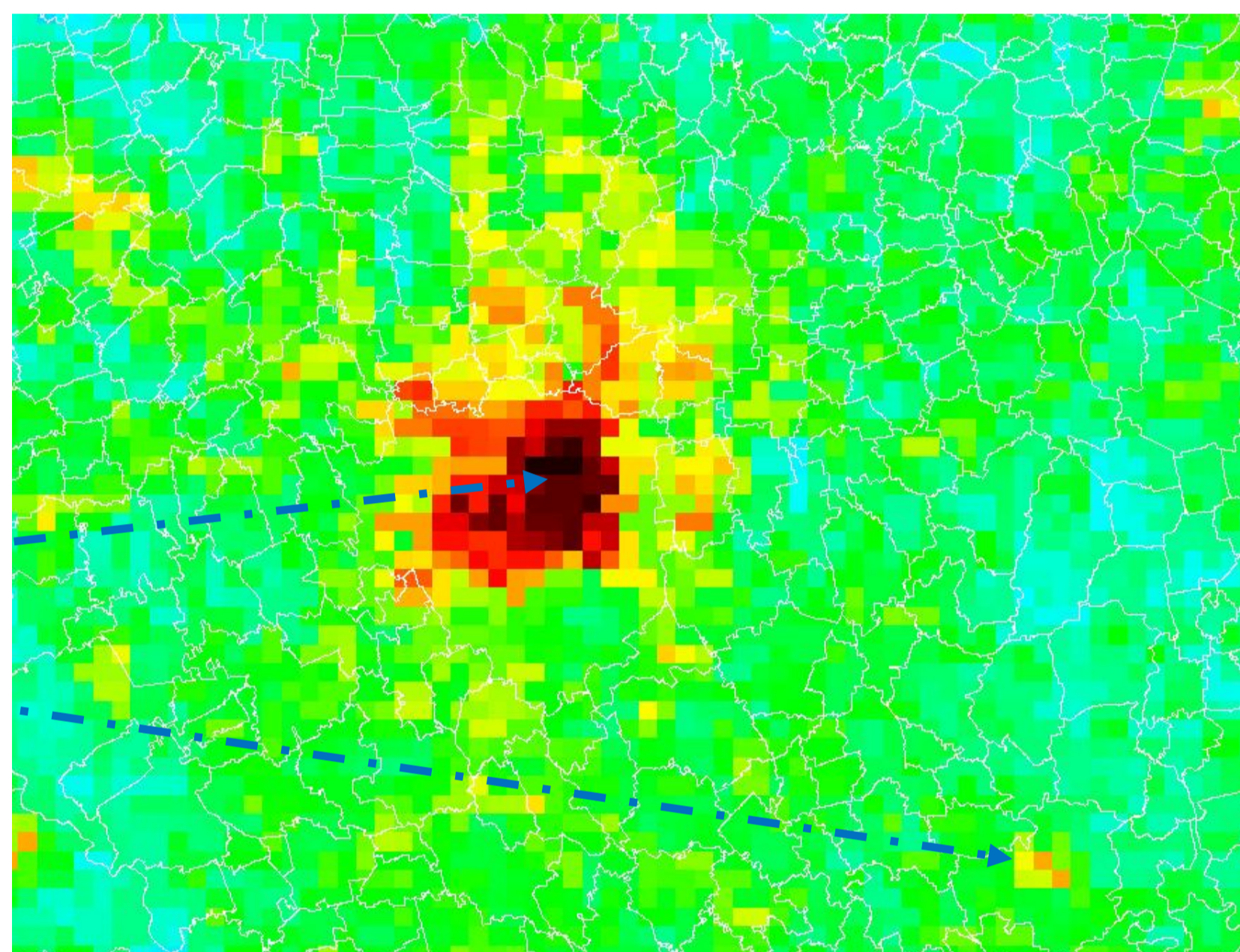
## 2) Variabile secondaria $T_{superficie}$ :

Ottenuta con telerilevamento dallo spazio:

Land Surface Temperature (LST) da Sentinel 3 - Copernicus

MILANO  
LODI

Sentinel 3 (LST, risoluzione 1 km):  
Milano e dintorni a sud-est (confini comunali)  
2018-07-07 09:10 UTC



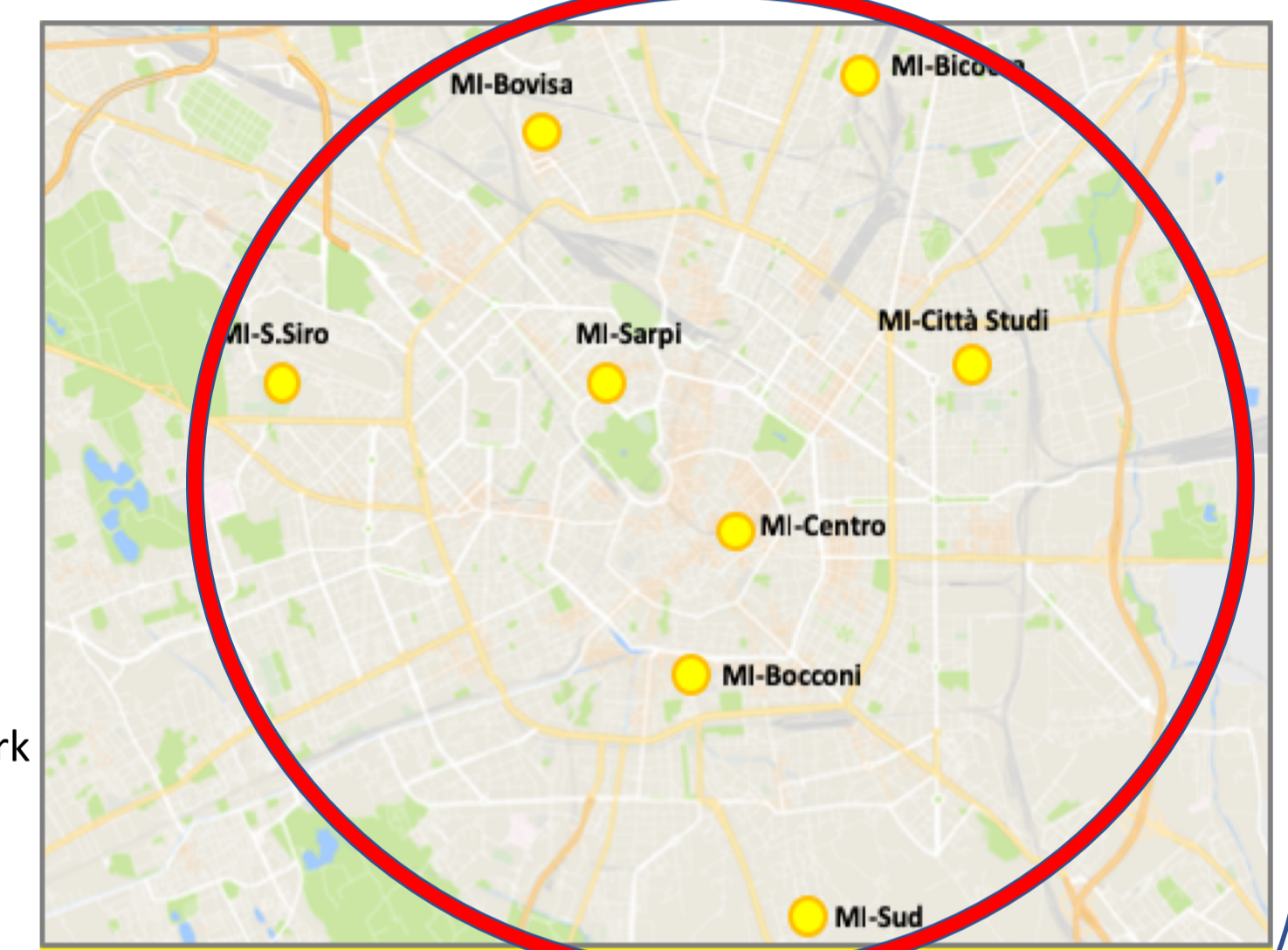
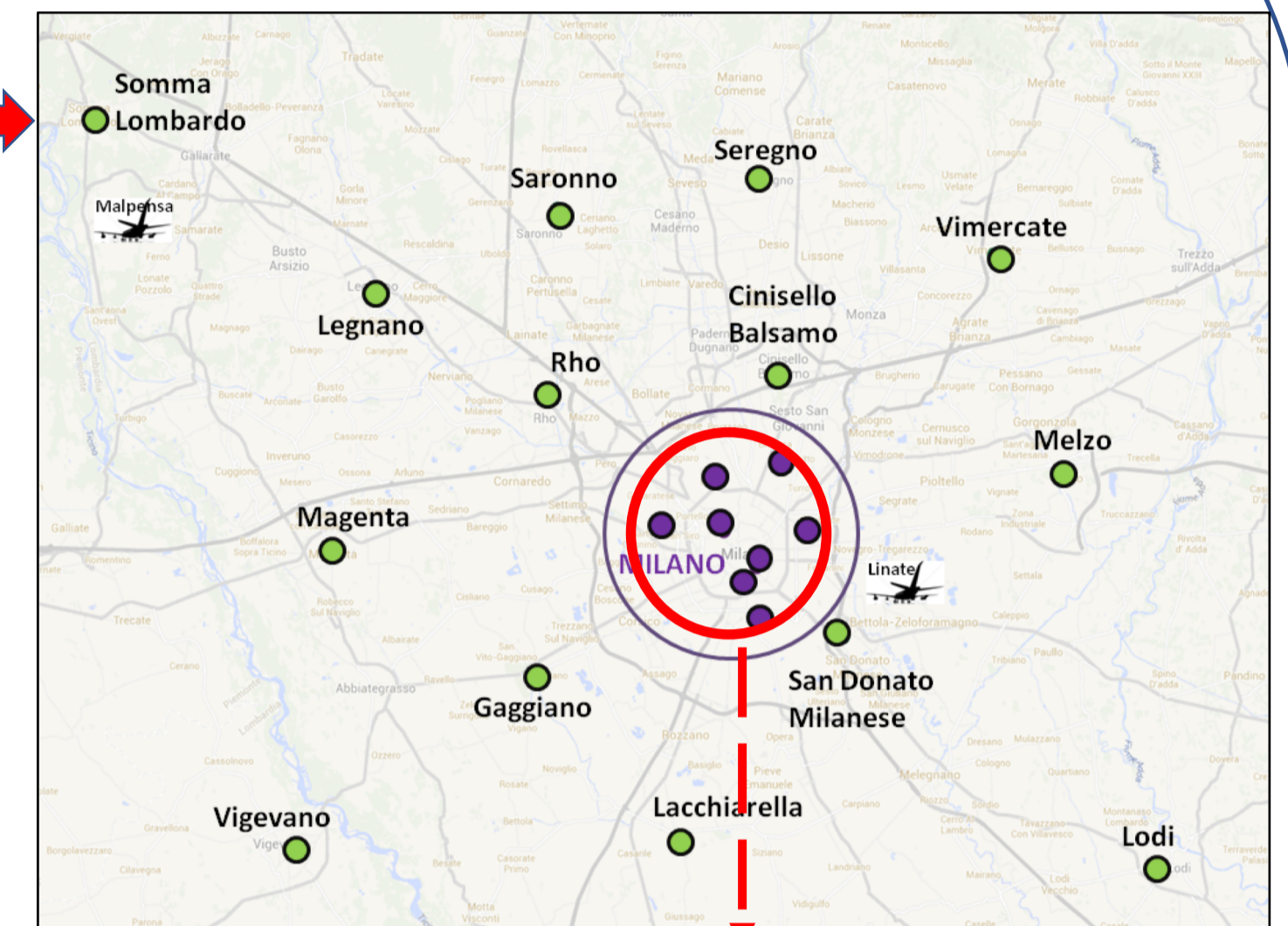
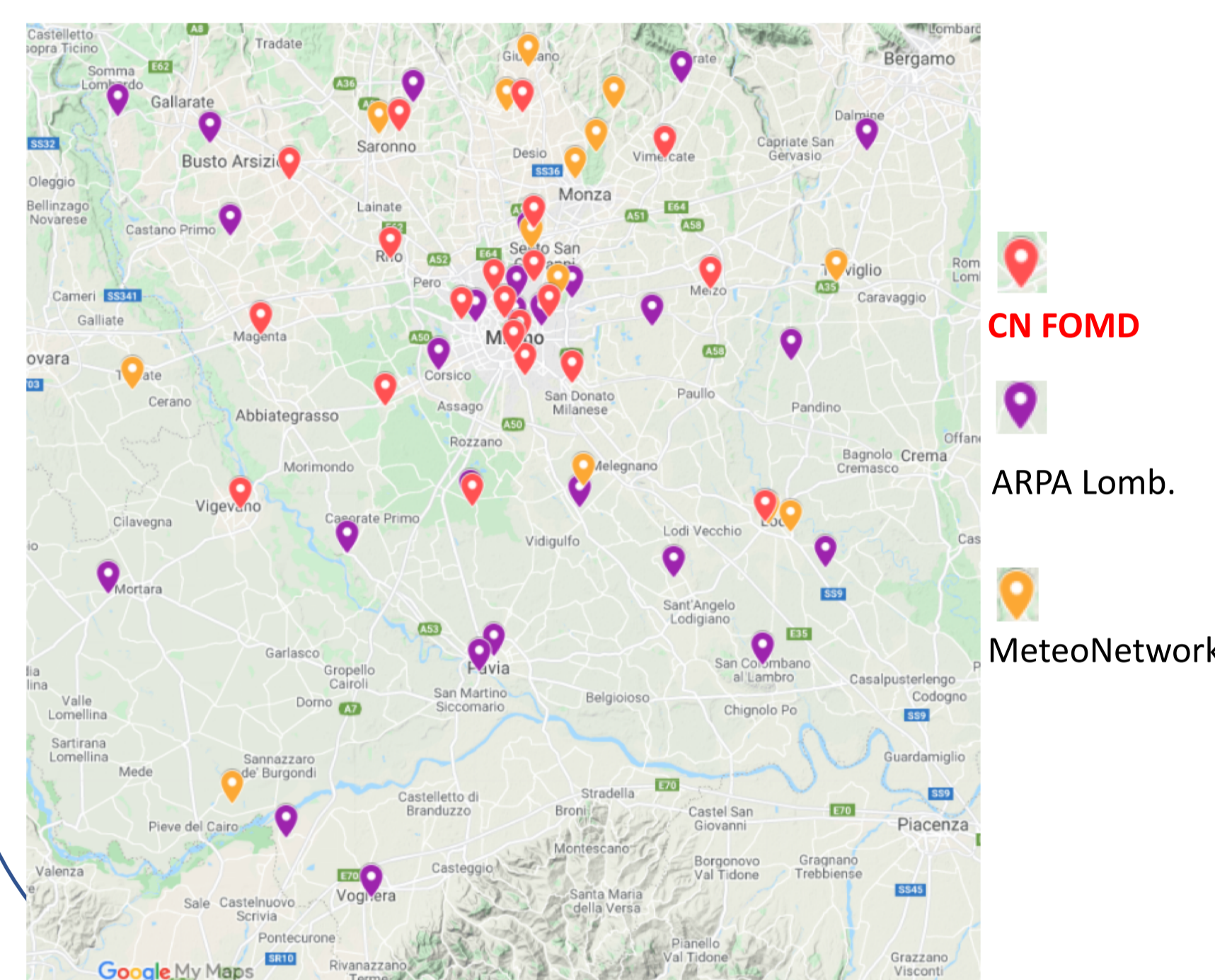
## 1) Variabile primaria $T_{aria}$ : reti di misura al suolo

Fond. OMD Urban Climate Network (CN), Milano subnet (Curci et al., MST, 2017)

Misure di  $T_{aria}$  ed altre ECV alla sommità del top dello Urban Canopy Layer (UCL) a partire dal 2011

Rete meteo di ARPA Lombardia  
Misure di  $T_{aria}$  da stazioni selezionate rurali (Frustaci et al., EGU, 2019) e urbane

Rete Meteonetwork  
Misure di  $T_{aria}$  da stazioni selezionate private



## 3) Integrazione delle due tipologie d'informazione (co-kriging)

### STEP 1

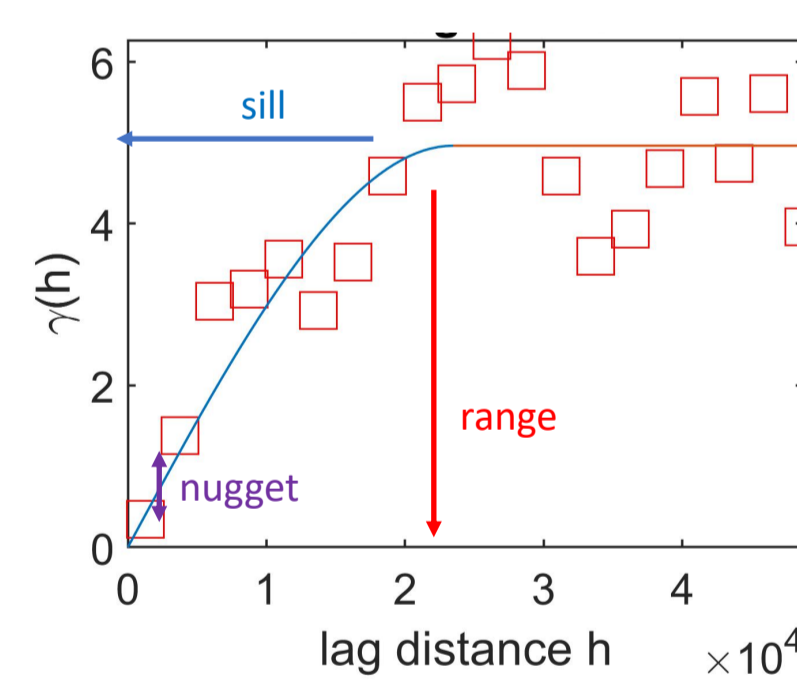
Costruzione del **semivariogramma empirico**  $\gamma$  per  $T_{aria}$  e LST data:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

$Z$  è la variabile regionalizzata,  $x_i$  la posizione nel dominio,  $h$  la distanza tra due punti e  $N(h)$  il numero delle coppie di punti separati da  $h$ .

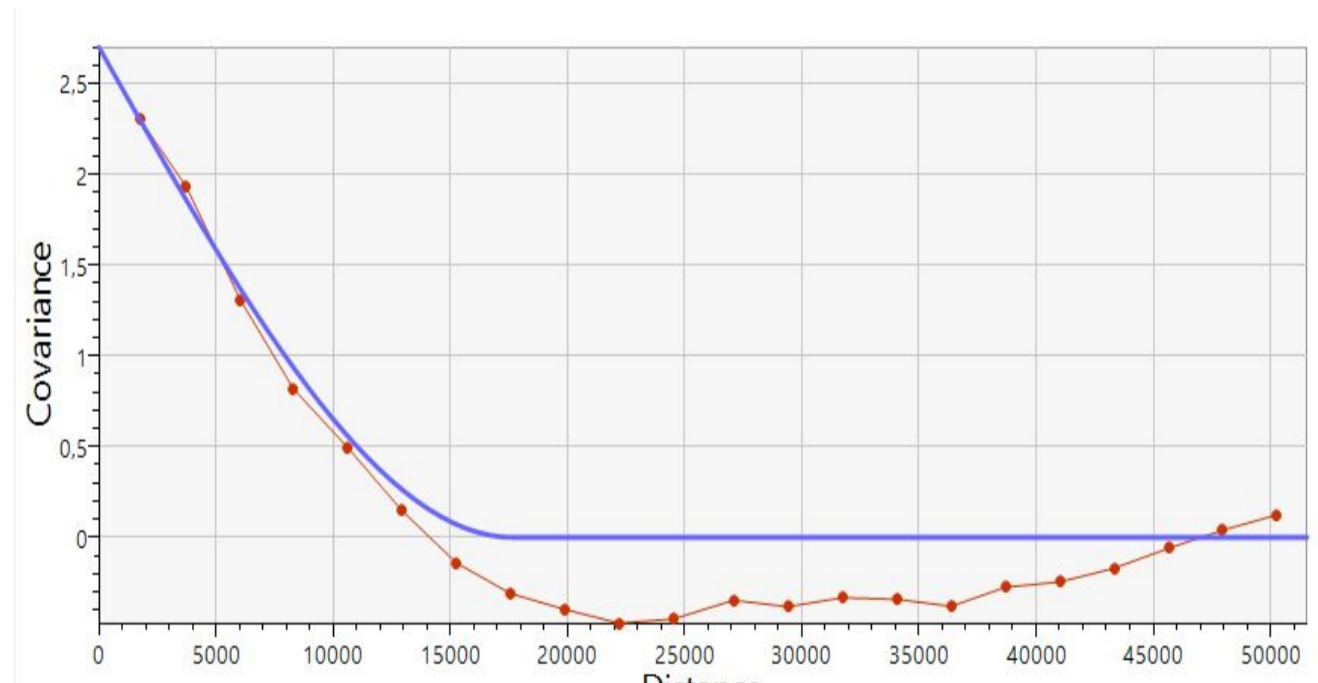
### STEP 2

Fitting di un modello per il semivariogramma empirico (**modello sferico**):  
**Range** e **Sill** (Nugget  $\approx 0$ )



### STEP 3

Costruzione del **cross-semivariogramma** (*covarianza*)



### STEP 4: Interpolazione co-kriging:

$$z_1^*(x_0) = \sum_{\alpha=1}^{n_1} \lambda_{\alpha} \cdot z_1(x_{\alpha}) + \sum_{\alpha=1}^{n_2} \omega_{\alpha} \cdot z_2(x_{\alpha})$$

dove  $z_1$  è la  $T_{aria}$  e  $z_2$  è il valore di LST ( $\lambda_{\alpha}$  e  $\omega_{\alpha}$  sono i pesi corrispondenti)

## 4) Classificazione delle Situazioni Tipo Climatiche (STC) relative alle ISOLE DI CALORE URBANE e ad EVENTI TERMICI ESTREMI nei trimestri ESTIVO e INVERNALE

**Criteri di classificazione:**

a) **situazioni meteorologiche che favoriscono la formazione di isole di calore:**

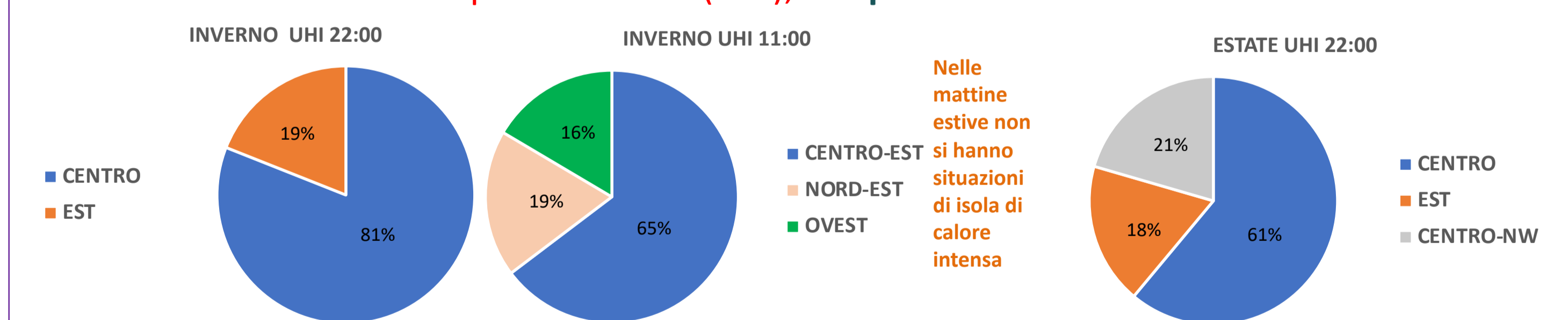
- Situazioni di **stabilità atmosferica** (alta pressione)
- Bassa ventilazione (**vento medio a Milano < 1.3 m/s**)
- Intensa isola di calore: **indice UHI  $\equiv T_u - T_r > 3$  °C**

$T_u$ : temperatura di una stazione urbana di Milano

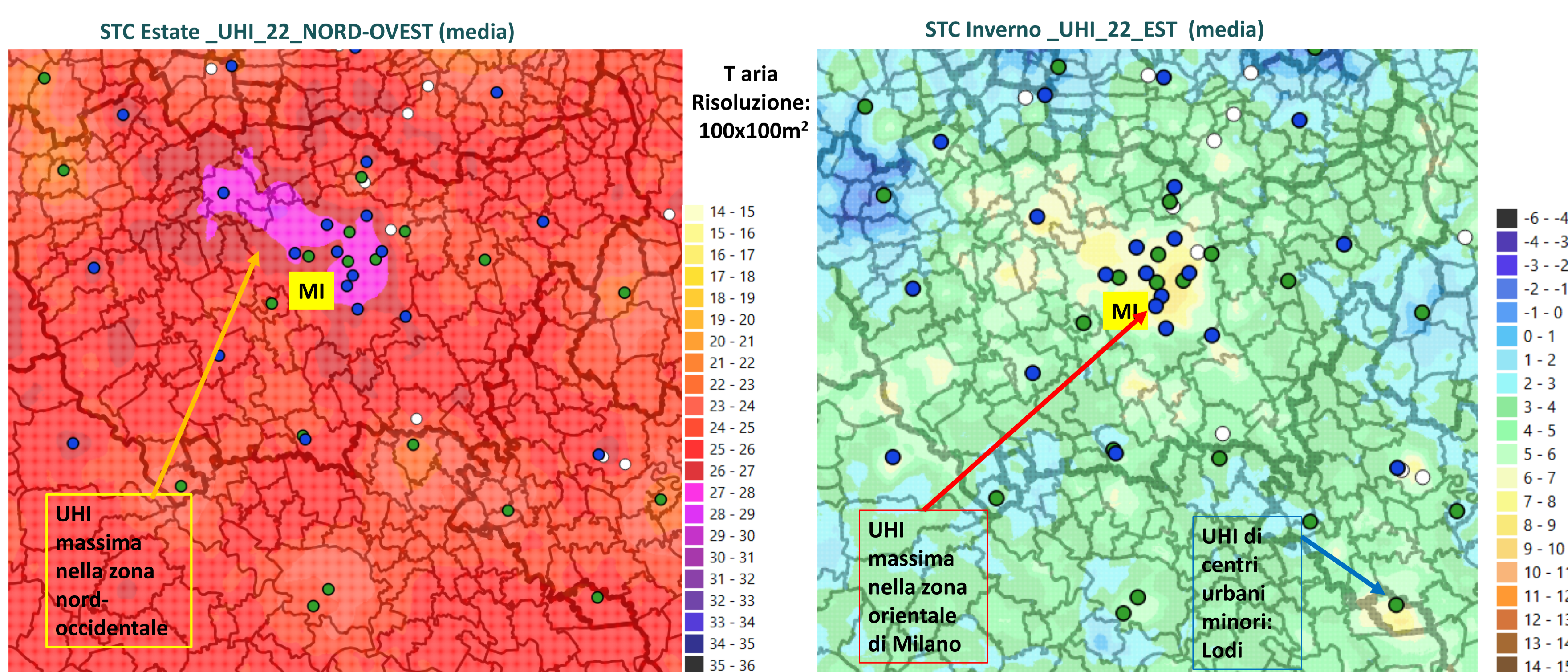
$T_r$ : temperatura media di stazioni rurali selezionate attorno a Milano

b) **configurazione dell'Isola di Calore Urbana di Milano** relativamente alla posizione del massimo dell'Indice UHI e della sua estensione nei comuni dell'hinterland (**Centro, Est, Ovest, Centro-Est, Centro-NW, Nord-Est**)

**Situazioni Tipo Climatiche (STC), Frequenze di accadimento:**

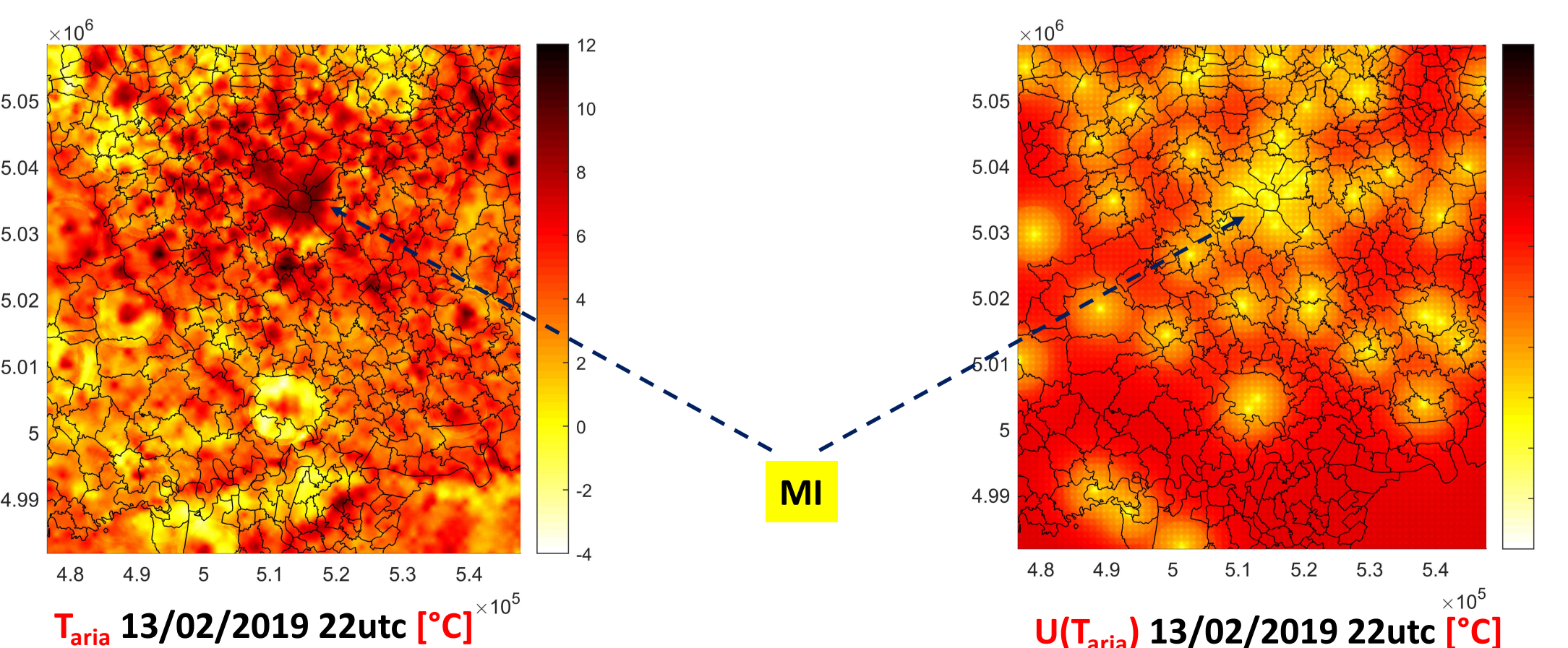


## ⇒ 5) **RISULTATO:** Mappe Climatiche di temperatura ad alta risoluzione (ATLANTE: <https://www.progettoclimami.it/atlante>)



## Contenuto dell'ATLANTE:

- mappe  $T_a$  per singola STC, dalle medie delle distribuzioni spaziali di  $T_a$  delle giornate corrispondenti alle singole STC
- mappe  $T_a$  medie stagionali (Inverno, Estate), quale media pesata delle mappe delle STC sulle rispettive frequenze di accadimento
- mappe  $T_a$  massime estive e minime invernali, corrispondenti ad episodi reali (es. max Ondata di calore in estate)
- mappe delle incertezze  $u(T_a)$  (associate a ciascuna delle mappe di cui sopra)



Ad ogni campo di  $T_{aria}$  è associato un campo di incertezza  $u(T_{aria})$