



Regione
Lombardia

TITOLO INCONTRO:

Prodotti, sperimentazioni e prospettive:

l'Atlante climatico delle temperature

Seminario di condivisione
degli esiti di progetto
rivolto ad amministratori,
dirigenti, funzionari e
tecnici di Regione
Lombardia e degli enti del
SIREG
Milano, 26 novembre 2020

Argomenti

Lo sviluppo del progetto

Il progetto ClimaMi

La climatologia dell'Isola di Calore Urbana

Metodologia e prodotti del secondo anno

L'Atlante delle temperature

Sviluppi e prospettive



Il progetto ClimaMi

Partenariato



FONDAZIONE
Osservatorio Meteorologico
Milano Duomo



FONDAZIONE
ORDINE INGEGNERI
PROVINCIA DI MILANO



FONDAZIONE DELL'ORDINE DEGLI ARCHITETTI,
PIANIFICATORI, PAESAGGISTI E CONSERVATORI
DELLA PROVINCIA DI MILANO



Fondazione
Lombardia
per l'Ambiente

Con il contributo di

Fondazione
CARIPLO

Partenariato:

Obiettivi:

- aumento della **Conoscenza** e della **Consapevolezza** del clima urbano
- costruzione di una **Climatologia Urbana** aggiornata
- assunzione del **Clima Locale** quale **fattore determinante** nelle attività professionali pubbliche e private quotidiane
- capillare **Incidenza** sull'efficacia, in termini climatici, degli interventi sull'**urbanizzato residenziale**

Target:

- i **progettisti** - ingegneri, architetti, urbanisti, periti industriali, geometri ...
- i **professionisti** che svolgono attività di gestione del territorio urbano
- i **tecnici e gli amministratori degli enti pubblici territoriali**
- la **comunità scientifica**

Lo sviluppo del progetto

Dall'esperienza del **Tavolo Tecnico** di ClimaMi (2019):

- Aspetti del lavoro interdisciplinare
- Lessico tecnico condiviso
- Rassegna dello stato dell'arte e della normativa
- Individuazione delle reali necessità



Kick off Meeting gennaio 2019

... agli **indicatori climatico-applicativi** (2019 e 2020):

- **Climatologia urbana** evoluta e aggiornata con le relative incertezze
- **Indicatori derivati specifici** (94) puntuali per i diversi campi di applicazione (**SI-CU**)
- **Atlante termico** ad alta risoluzione

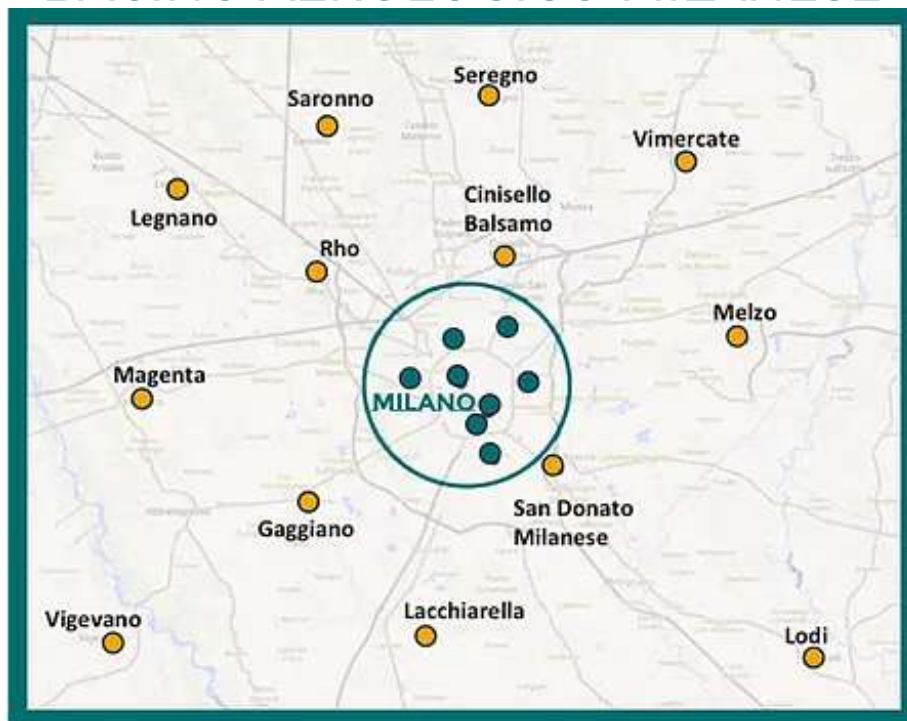
... e ai **corsi di formazione e approfondimento** (2019-'20).

Evento finale del 1° anno, dicembre 2019



Gli strumenti del Progetto: **le misure!**

Area di applicazione - anno 2019:
BACINO AEROLOGICO MILANESE

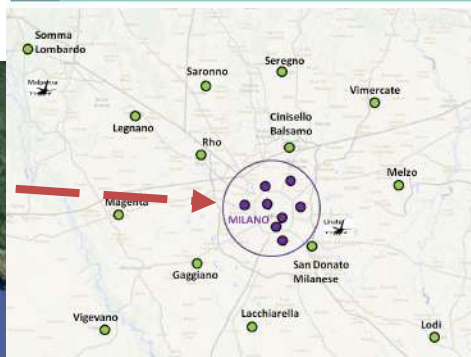
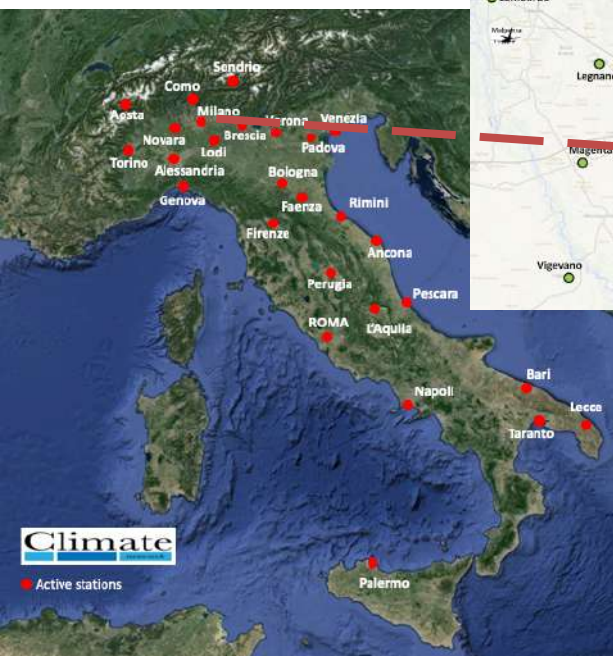


PERIODO CONSIDERATO:

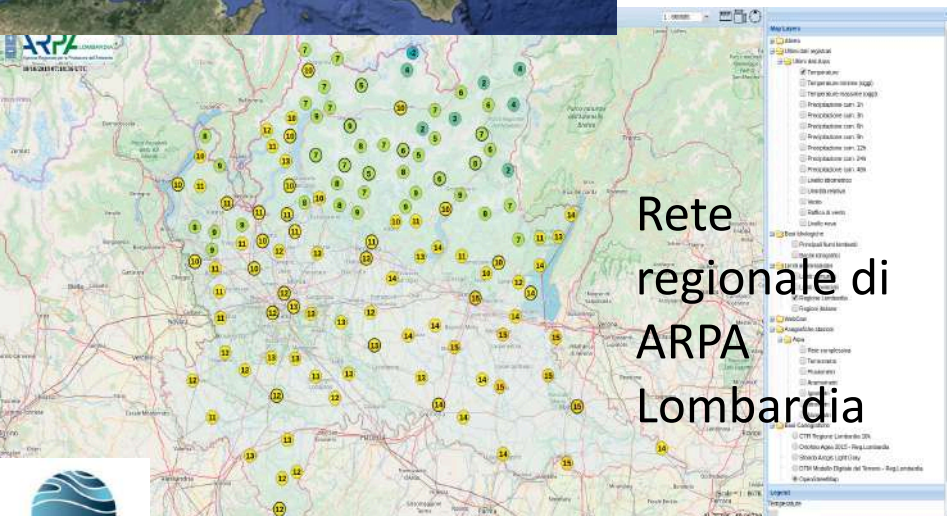
2012 – 2018 per tutte le stazioni
CLINO 1961-1991 e **CLINO** 1981-2010 per Milano
Centro

DATI utilizzati per il **DB ClimaMi**
2019:

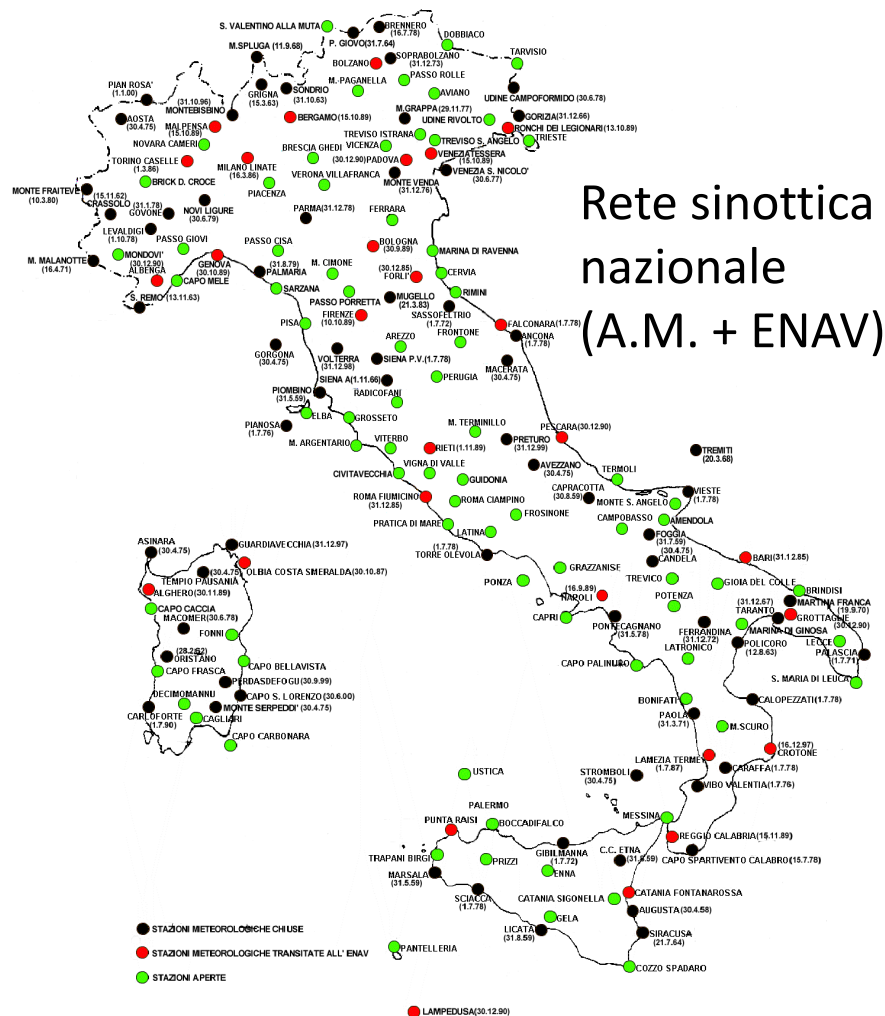
- ✓ **N° 19 stazioni meteo urbane** della rete nazionale **Climate Network®** di **Fondazione OMD** www.fondazioneomd.it/climate-network
 - **Criteri omogenei di posizionamento** delle stazioni nell'ambiente urbano (top Urban Canopy Layer)
 - **Stesso tipo di sensori** in tutte le stazioni (Vaisala WXT520-530) + sensore ridondato di temperatura
 - **Tracciabilità metrologica** delle misure (riferibilità agli standard metrologici nazionali attraverso una catena ininterrotta di calibrazione)
 - **Procedure di Controllo** di Qualità e Assicurazione di Qualità
 - **Validazione automatica e manuale** giornaliera da parte di meteorologi esperti
- ✓ **Dati di fulminazione** di **CESI S.p.A.**



Rete climatologica urbana di OMD



Rete regionale di ARPA Lombardia



Prodotti del primo anno: Il DB e le linee guida



- Sommario e introduzione
 - Cap. 1 - La crisi climatica e l'ambiente urbano (a cura di FLA)
 - Cap. 2 - L'adattamento alla crisi climatica in ambiente urbano (a cura di FLA)
 - Cap. 3 - Il clima e gli indicatori nell'ambiente urbano (a cura di FOMD)
 - Cap. 4 - Uso degli indicatori climatici (a cura di FOMD, FOIM, FOAM)
 - Cap. 5 - Il database ClimaMi (a cura di FOMD)
 - Cap. 6 - Gestione degli indicatori (a cura di FOMD)
 - Appendici e bibliografia
-
- **APPENDICE A – GLOSSARIO**
 - **APPENDICE B – TAVOLA SINOTTICA DEGLI INDICATORI ClimaMi**
 - **APPENDICE C – NOTA METODOLOGICA (Metodologie di calcolo degli indicatori climatici)**

Integrazione di reti terze (nel 2020)

Criteri di selezione: sufficiente durata e densità effettiva delle misure disponibili,
loro localizzazione e qualità/quantità dei metadata

Risorse disponibili: ARPA Lombardia e MeteoNetwork per un totale di 30 stazioni aggiuntive

Validazione: confront qualitative con le stazioni prossime della rete CN di Fond. OMD

*In prospettiva: reti di sensori distribuiti a basso costo
(Problematiche: gestione, controllo, integrazione)*

Oltre a 21 stazioni della rete di Fondazione OMD
sono stati selezionati e utilizzati i dati di temperatura
di:

26 stazioni di ARPA Lombardia

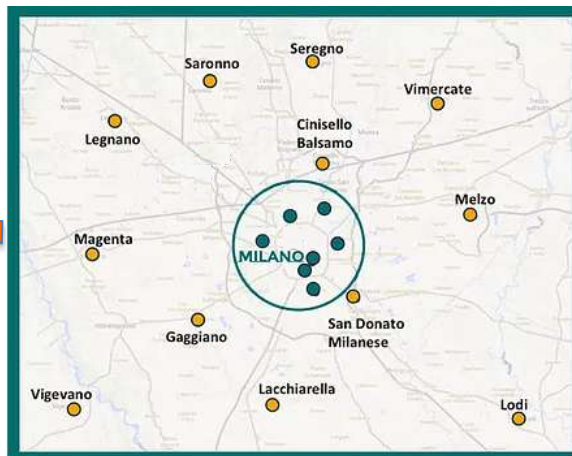
14 stazioni di MeteonetWORK

Estensione a molti altri centri urbani e al territorio circostante



SETTORE DI ATTIVITÀ:

- ☒ Energia
- ☐ Progettazione edificio-impianto
- ☐ Pianificazione urbana
- ☐ Gestione runoff urbano
- ☐ Gestione del verde pubblico
- ☐ Salute e benessere pubblici



VARIABILE FONDAMENTALE:

- ☒ Temperatura
- ☒ Umidità Relativa
- ☐ Precipitazioni
- ☐ Pressione
- ☐ Vento - direzione, velocità
- ☐ Radiazione solare
- ☐ Fulmini nube-terra

Database ver. 1.0

94
indicatori
climatici

in ogni stazione
meteo

METADATA

INDICATORE CLIMATICO:

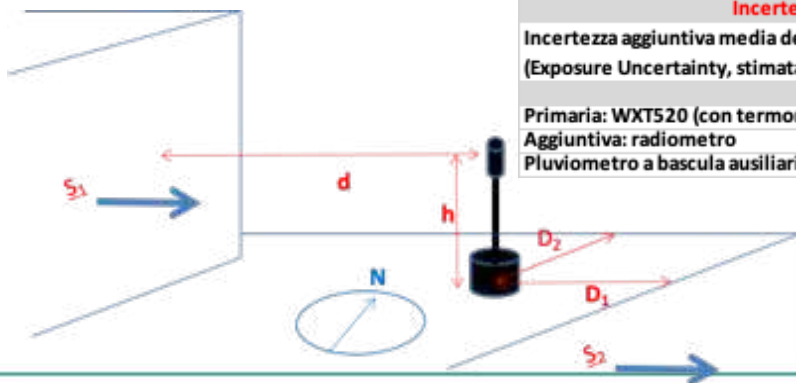
- ☐ Temperatura media
- ☐ Temperatura massima assoluta
- ☐ Temperatura media delle massime
- ☐ ...
- ☒ Gradi Giorno Invernali
- ☒ Humidex - numero medio di ore > 35°C
- ☒ Gradi Giorno Estivi
- ☐ ...

DETTAGLIO TEMPORALE:

- ☐ Decadale
- ☐ Mensile
- ☐ Stagionale
- ☒ Stagione termica inverno
- ☒ Stagione termica estate
- ☐ Annuale

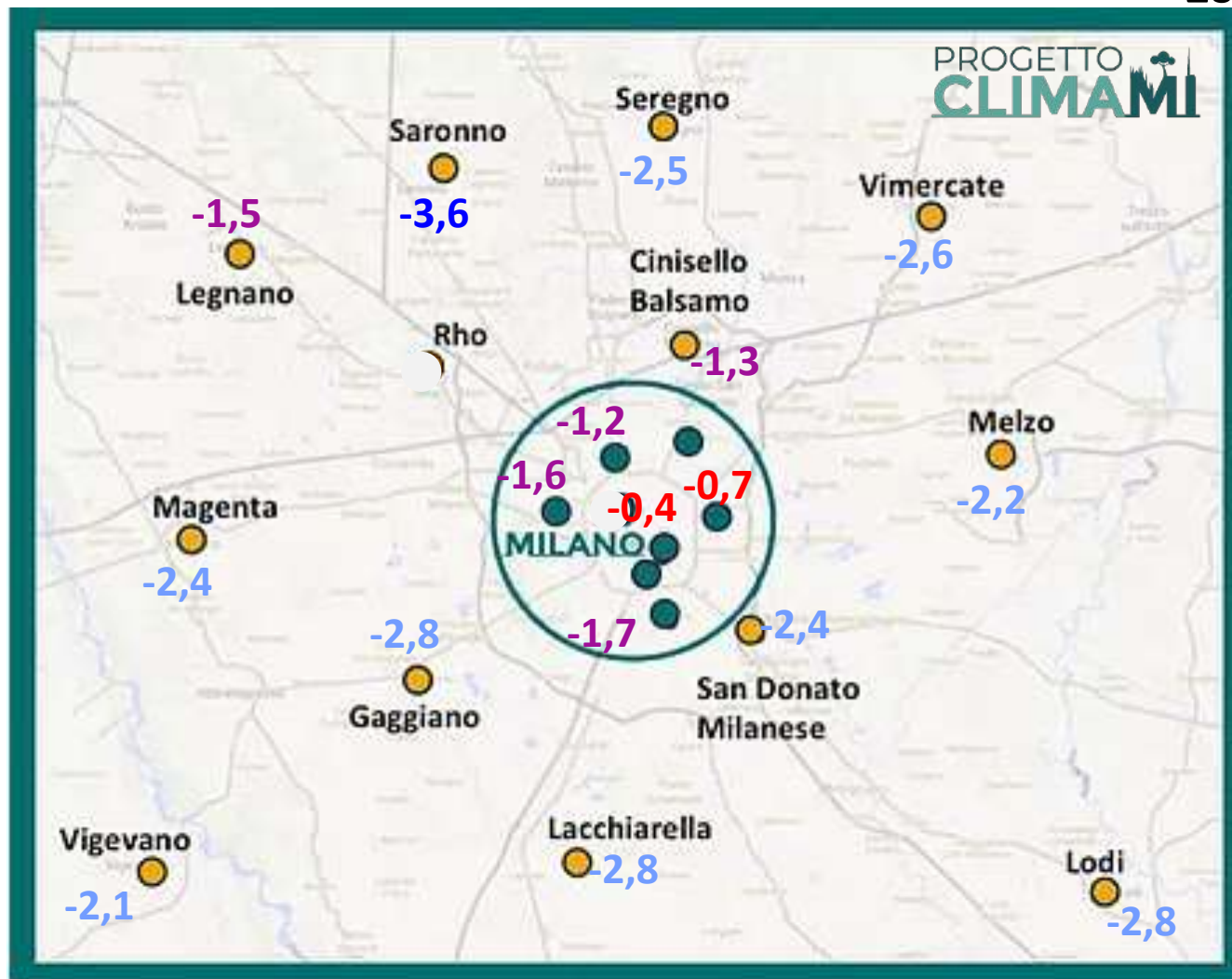
Dati e Metadati

Metadati stazioni meteo CN per ClimaMI	1	2	3	4
Stazione	MI	MI	MI	MI
Parametri	Sud	Centro	Bovisa	Bicocca
Installazione o inizio misure o disponibilità dati della stazione	15/12/11	18/03/11	16/09/11	30/11/12
Localizzazione (Siting)				
Altitudine s.l.m (m) dei sensori (stazione compatta): da GEPro 2019	128	135	150	143
Latitudine WGS84 (GPS più foto, deg)	45,431289	45,459641	45,502578	45,510169
Longitudine WGS84 (GPS+ foto, deg)	9,200497	9,194909	9,163837	9,211582
Distanza da MI Centro (km), calcolata	3,183	0,000	5,355	5,768
Classificazione				
Uso del suolo circostante (Land use, da Urban Atlas 2012)	11.1/12.1	12.1	11.1	12.1
Local Climate Zone (LCZ, da WUDAPT-Geopedia)	2	3	4	3
Classificazione WMO-CIMO Guide ed. 2018 per i sensori Temperatura e Umidità	4	5	5	5
Classificazione WMO-CIMO Guide ed. 2018 per il sensore Vento	5	4	4	4
Classificazione WMO-CIMO Guide ed. 2018 per il sensore Precipitazione	2	2	2	2
Classificazione WMO-CIMO Guide ed. 2018 per il sensore Radiazione (se presente)	2	2	1	1
Esposizione (Exposure)				
Albedo della superficie piana orizzontale sottostante	0,14	0,17	0,19	0,21
H (m) Altitudine s.l.m. del suolo circostante (piano strada): da GEPro 2019	108	117	131	130
h (m) Elevazione dei sensori dalla superficie di appoggio della stazione: da GEPro 2019	2,3	2,5	2,0	2,6
B (m) Altitudine s.l.m. della superficie piana orizzontale sottostante: da GEPro 2019	126	133	148	140
D1(m) - Distanza dalla parete verticale sotto- o sovrastante più vicina (A)	1	0	0	1
D2 (m) - Distanza dalla parete verticale sotto- o sovrastante (B)	1	8	2	-
S1 (m) - Altezza della parete verticale sotto- o sovrastante (A)	20	7	1	15
dir S1 - Orientazione della parete verticale sotto- o sovrastante (A)	S	E	SE	SW
S2 (m) - Altezza della parete verticale sotto- o sovrastante (B)	20	7	17	-
dir S2 - Orientazione della parete verticale sotto- o sovrastante (B)	E	NE	SW	-
Incertezze aggiuntive a quelle di taratura				
Incertezza aggiuntiva media della temperatura dovuta all'esposizione dei sensori (Exposure Uncertainty, stimata per similarità con quelle di Milano: 0,3 o 0,6 o 0,9)	0,9	0,6	0,9	0,9
Strumentazione				
Primaria: WXT520 (con termometro ridondato PT100)	sì	sì	sì	sì
Aggiuntiva: radiometro				
Pluviometro a bascula ausiliario				sì



<https://www.fondazioneomd.it/climate-network>

Esempio di indicatore progettuale

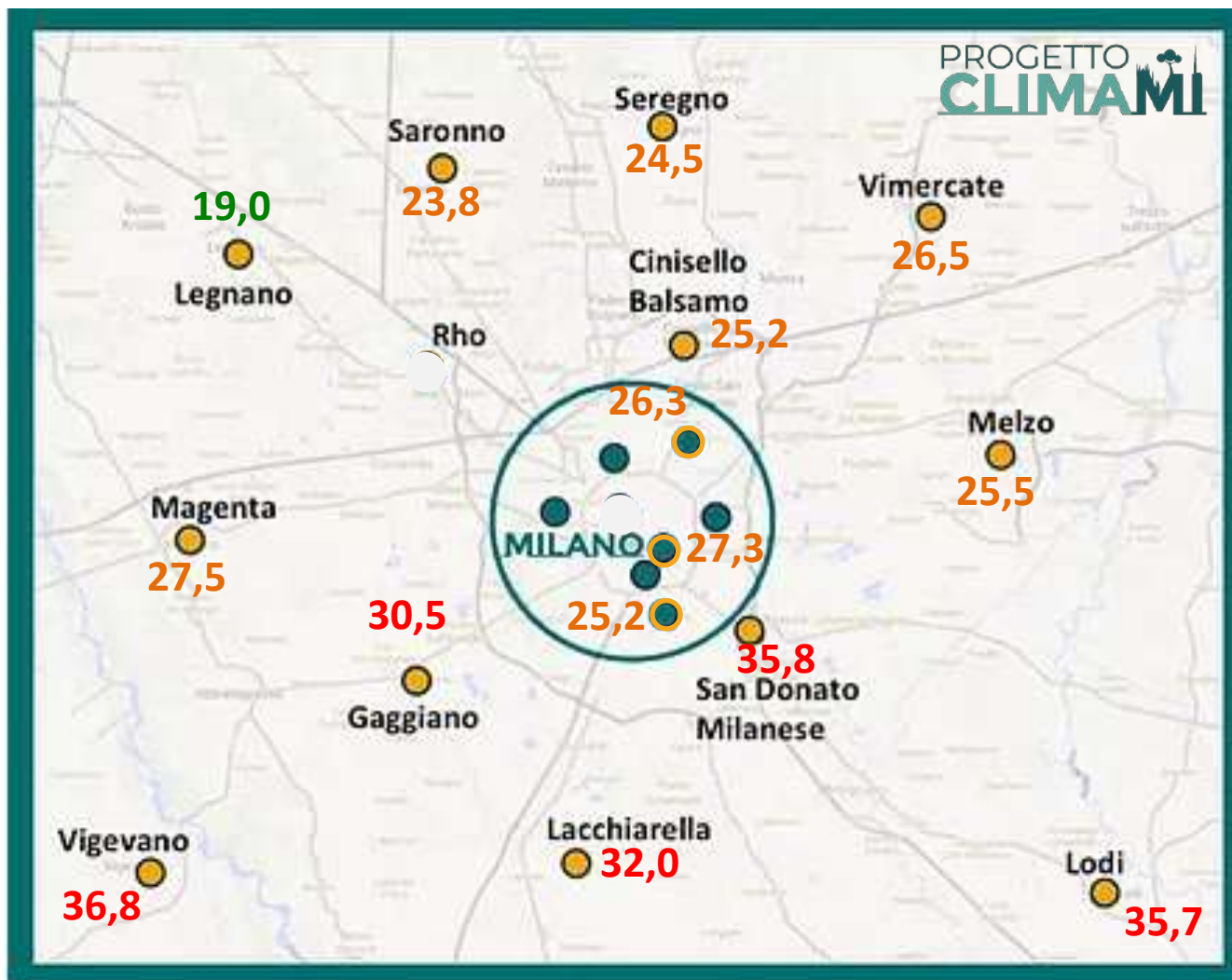


- ☐ T giorno medio h
- ☐ PREC giorno medio h
- ☐ RadSol giorno medio h
- ☐ ...
- ☒ **T esterna invernale di progetto ED. LEGGERI**
- ☐ T esterna invernale di progetto ED. PESANTI
- ☐ T esterna estiva di progetto
- ☐ T escursione giornaliera MEDIA e MASSIMA
- ☐ ...
- ☐ Rosa dei Venti - 16 settori

TEMPERATURA ESTERNA INVERNALE DI PROGETTO
(°C)
edifici leggeri

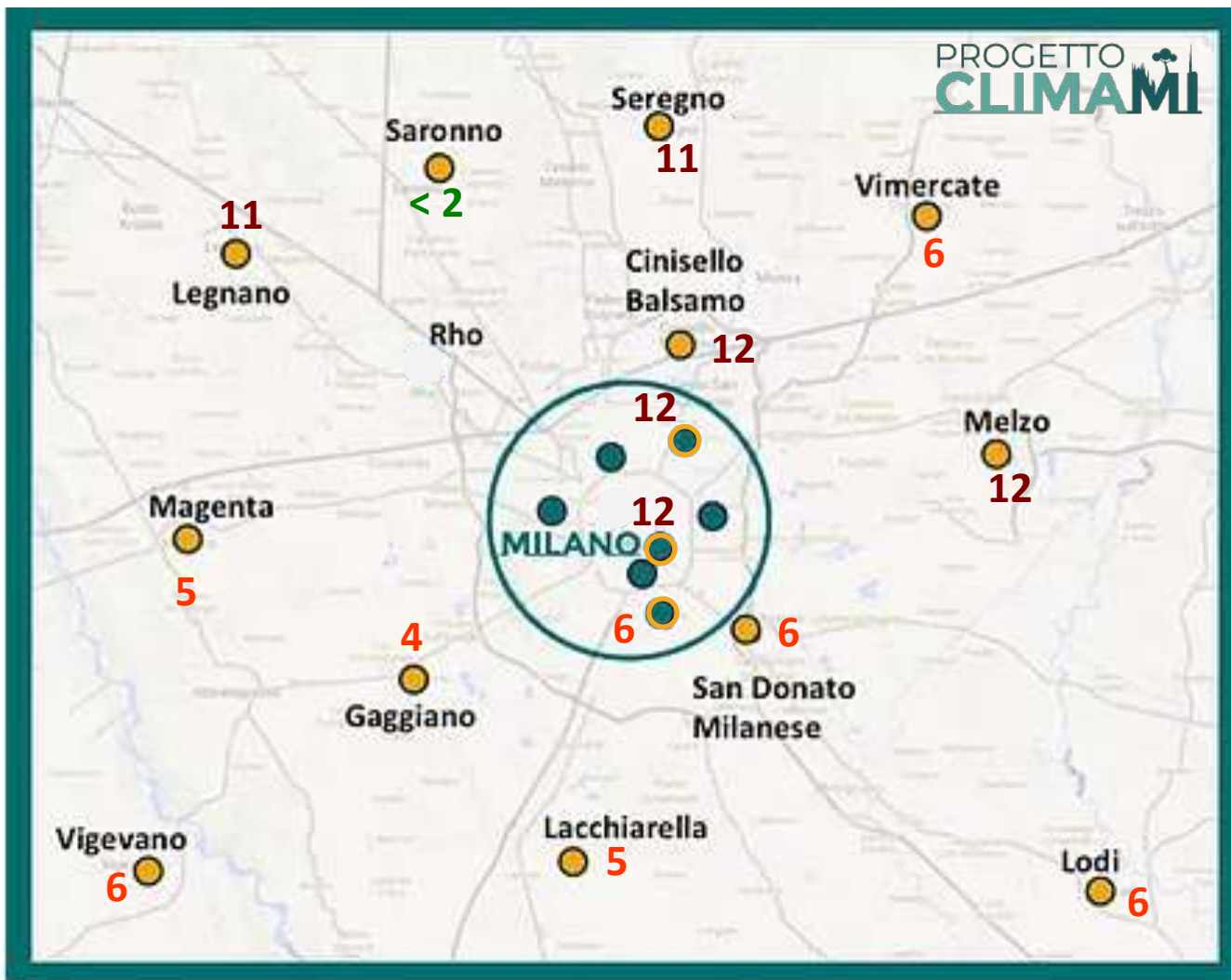
Esempio di indicatore bioclimatico

- ☐ HW N° medio gg/anno
- ☐ HW N° Max gg/anno
- ☐ HW durata media
- ☐ HW durata Max
- ☐ ...
- ☒ **HUMIDEX $\geq 35^{\circ}\text{C h}$, gg**
- ☐ HUMIDEX $\geq 40^{\circ}\text{C h}$, gg
- ☐ ...
- ☐ Notti TROPICALI
- ☐ Giorni di CALURA
- ☐ Giorni di GELO
- ☐ Giorni di GHIACCIO



Esempio di indicatore bioclimatico

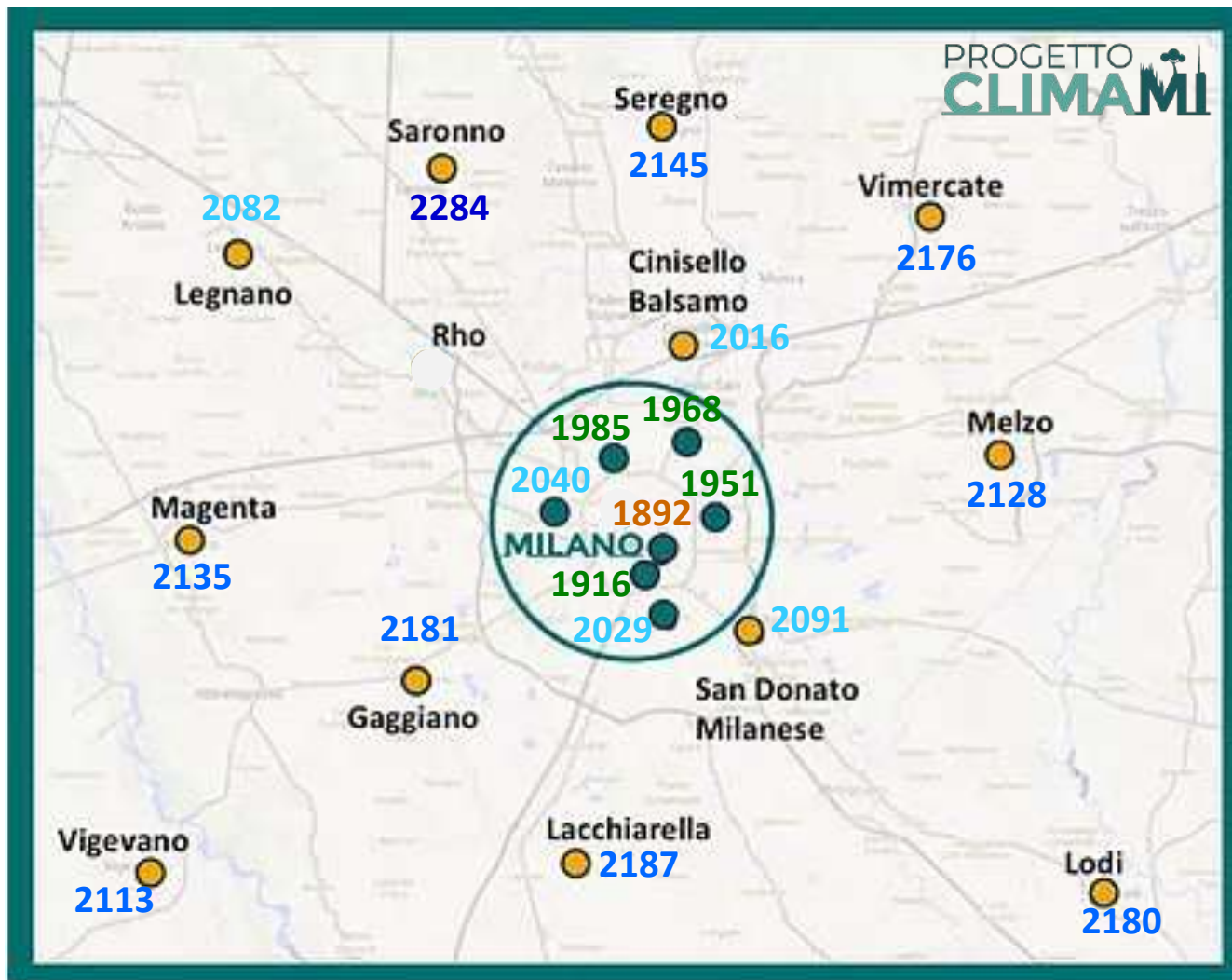
- ☐ HW N° medio gg/anno
- ☐ HW N° Max gg/anno
- ☐ HW durata media
- ☒ **HW durata Max**
- ☐ ...
- ☐ HUMIDEX $\geq 35^{\circ}\text{C h}$, gg
- ☐ HUMIDEX $\geq 40^{\circ}\text{C h}$, gg
- ☐ ...
- ☐ Notti TROPICALI
- ☐ Giorni di CALURA
- ☐ Giorni di GELO
- ☐ Giorni di GHIACCIO



ONDATE DI CALORE: durata massima (gg consecutivi, rif. CLINO '61-'90)
Giornate di allerta/pericolo per la salute

Gradi Giorno Invernali

- ☐ T media
- ☐ T max assoluta
- ☐ T media delle massime
- ☐ T min assoluta
- ☐ ...
- ☐ T escursione giornaliera
MEDIA e MASSIMA
- ☒ **GRADI GIORNO INVERNALI**
- ☐ GRADI GIORNO ESTIVI
- ☐ ...
- ☐ T Giorno Medio orario

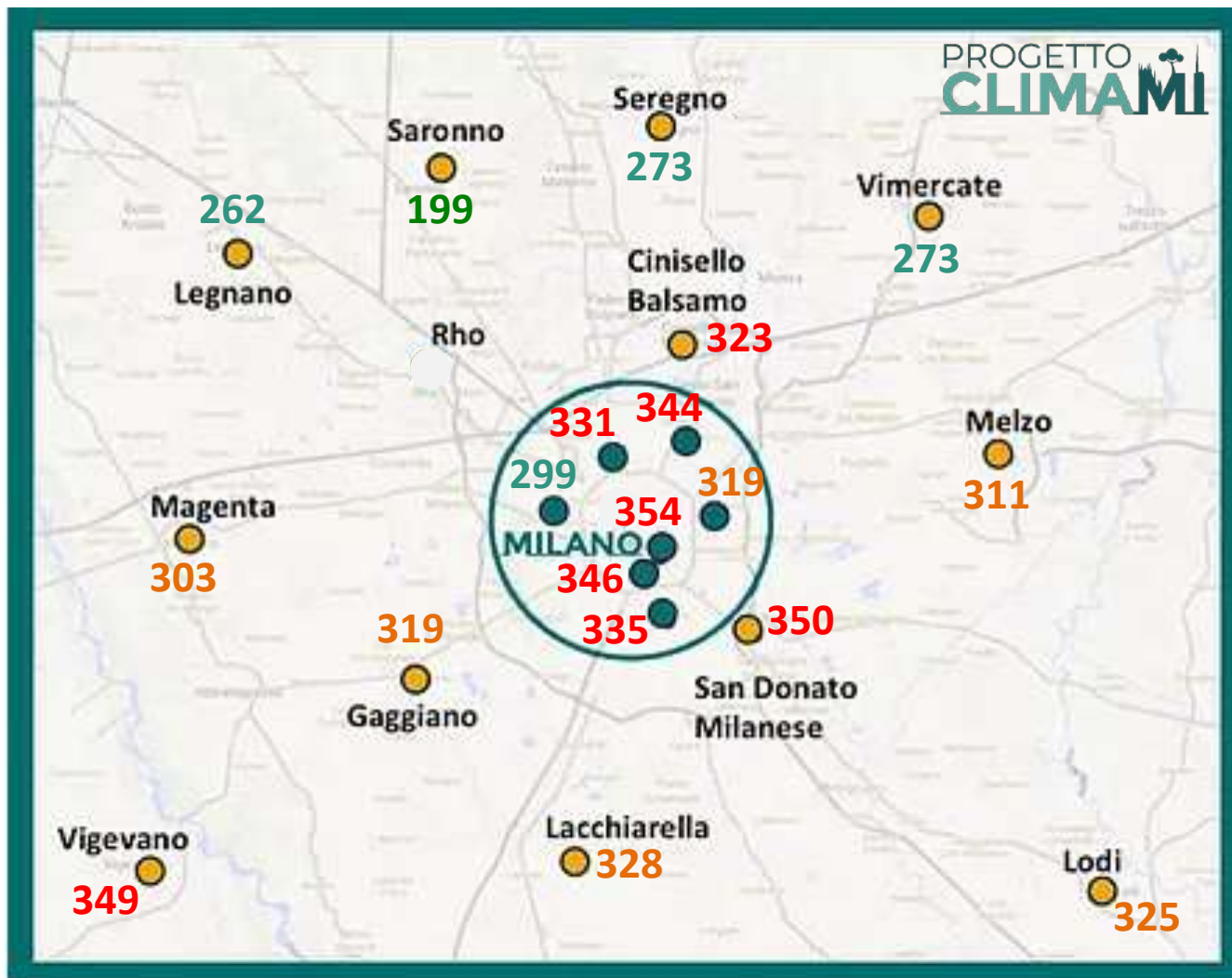


DPR 412/93:

- 2404 GG per Milano e comuni limitrofi
- 2592 GG per Lodi

GRADI GIORNO (DPR 412/93)
valore medio STAGIONE TERMICA INVERNALE

Gradi Giorno Estivi



- ☐ T media
- ☐ T max assoluta
- ☐ T media delle massime
- ☐ T min assoluta
- ☐ ...
- ☐ T escursione giornaliera
MEDIA e MASSIMA
- ☐ ...
- ☐ GRADI GIORNO INVERNALI
- ☒ **GRADI GIORNO ESTIVI**
- ☐ ...
- ☐ T Giorno Medio orario

GRADI GIORNO ESTIVI

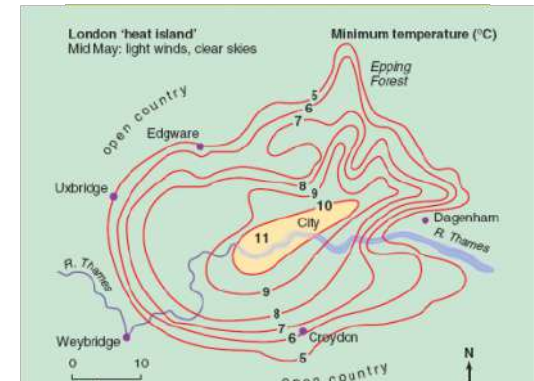
valore medio STAGIONE TERMICA ESTIVA (GIU-AGO)

Definizione e caratteristiche dell'isola di calore urbana

UHI: **isoterme chiuse** che individuano un'area superficiale relativamente più calda, in genere urbanizzata

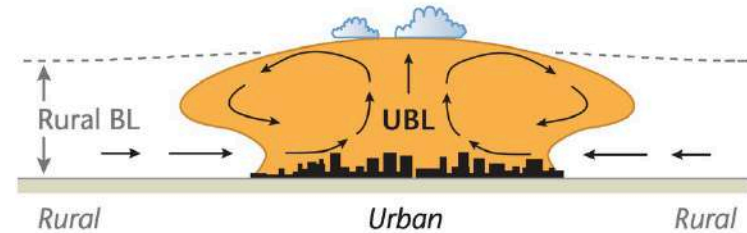
- Il termine deriva per analogia tra la configurazione delle isoterme e quella delle curve di livello topografiche di un'isola.
- Il calore si propaga verticalmente fino a formare una cupola (**heat dome**) in **condizioni di calma**, ed un pennacchio caldo (**urban heat plume**) sottovento in **condizioni ventilate a scala meso-sinottica**.

*Easy to know,
hard to know more!*



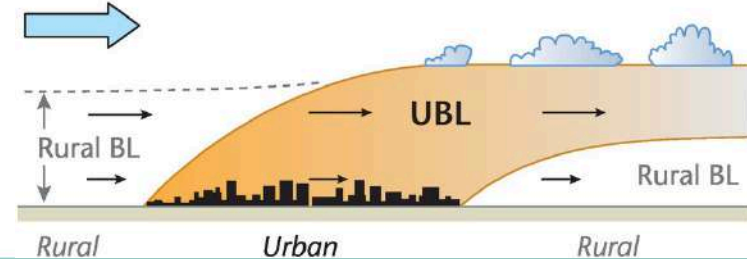
(a) Urban 'dome'

No ambient wind



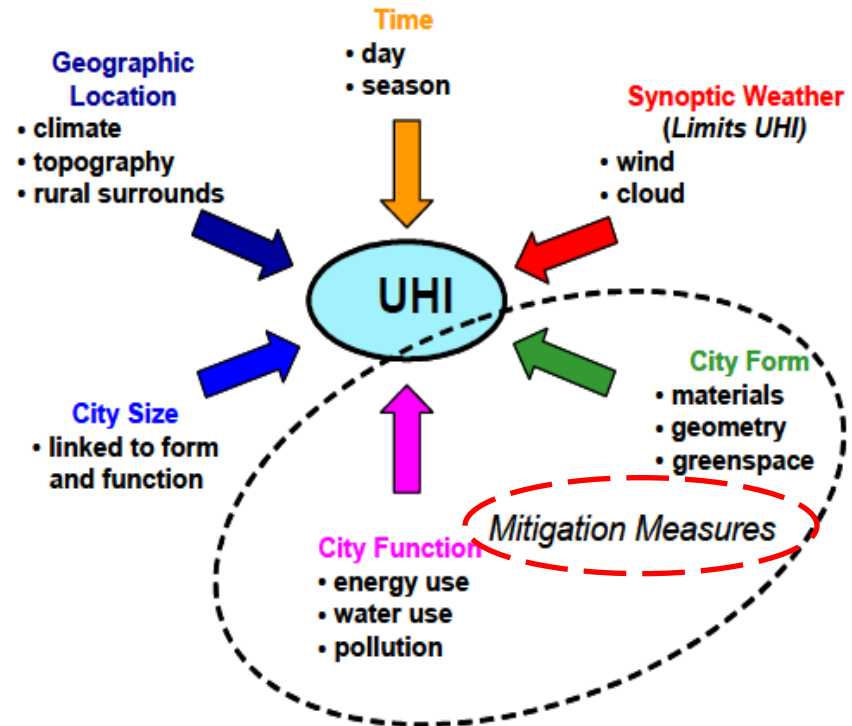
(b) Urban 'plume'

Ambient wind



Cause dell'Isola di calore urbana

- **Differente raffreddamento** tra superfici urbane
 - Superfici urbane esposte alla
 - radiazione solare con maggiore
 - **capacità** e **conduttività** termica,
 - minore **albedo** e maggiore **emissività**.
- **Effetti geometrici** che aumentano
 - l'efficienza del riscaldamento
 - radiativo diurno (**Urban Canyon Effect**)
 - riducendo il raffreddamento radiativo
 - notturno, e attenuano il **vento**.
- Formazione di uno strato d'**inversione notturna** che limita il rimescolamento turbolento.

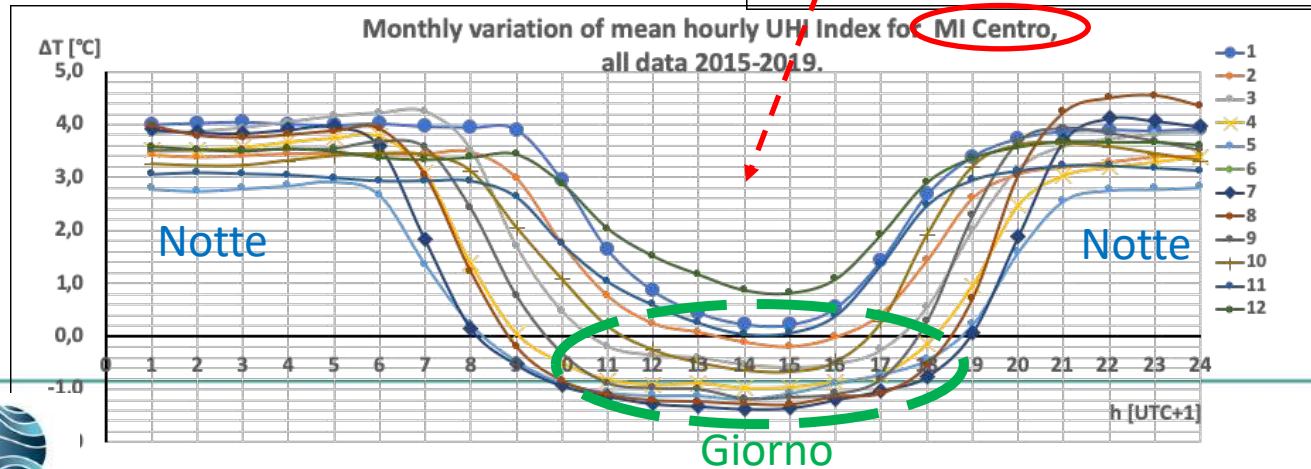
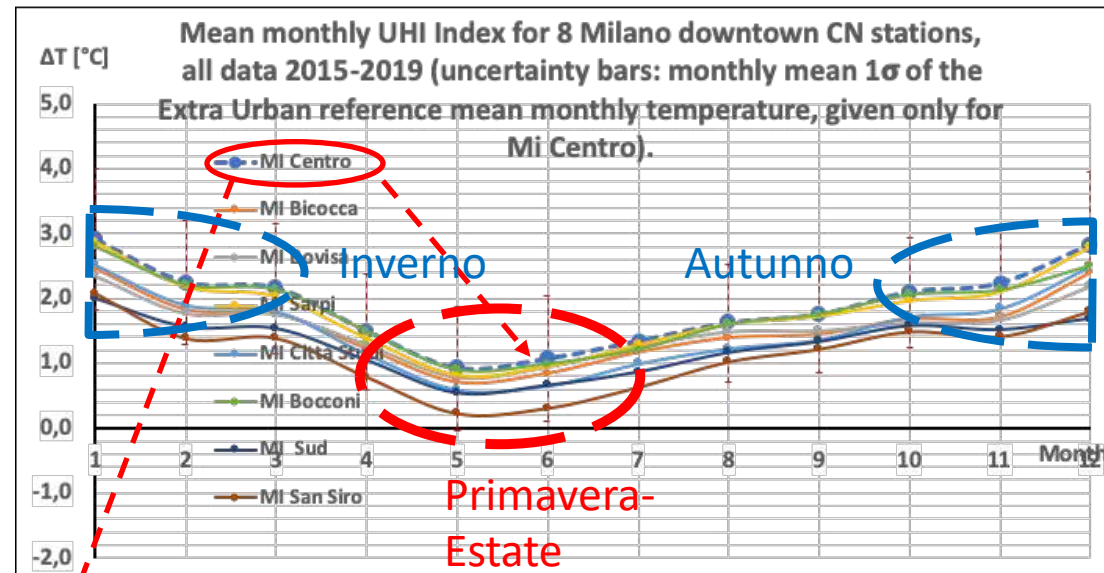


⇒ Le caratteristiche dell'Isola di Calore Urbana sono specifiche e diverse per ogni città

Caratteristiche dell'Isola di Calore Urbana di **Milano**

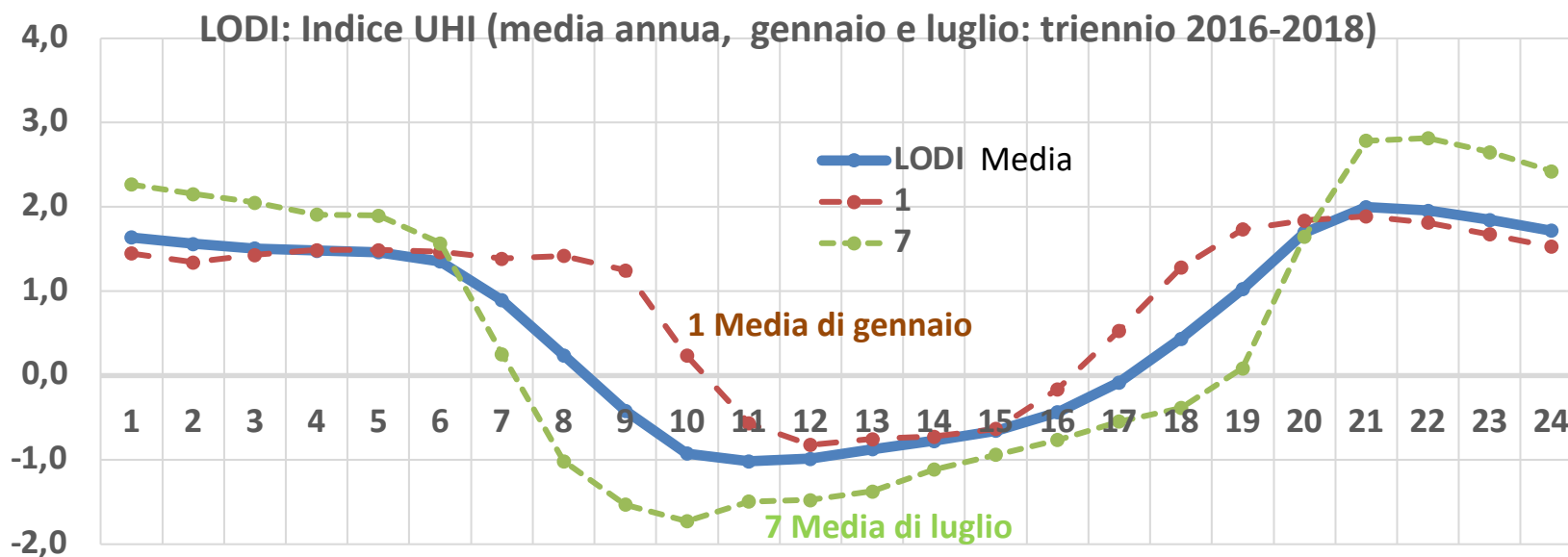
Medie mensili
delle 8 stazioni

*NB: le caratteristiche
dell'Isola di calore sono
sito-specifiche e vanno
determinate per ogni
singola città*



Variazioni giornaliere
di Milano Centro
in funzione del mese

L'isola di calore di Lodi



Il centro di Lodi è mediamente **più caldo** dell'area rurale circostante di **+0,6°C**.
Di sera la differenza è di **+2°C** e si mantiene a **+1,5°** per tutta la notte (d'estate **tra 2 e 3°C**).
Durante il giorno la differenza è negativa, **tra -0,5 e -1,0°C** (mattinate estive fino a **-1,7°C**)

NB: Milano ha un effetto isola di calore con indice medio annuo di +4,5°C

Dagli indicatori puntuali ai Layers tematici

Dal [singolo Osservatorio](#):



Serie storica pluricentenaria di **Milano Brera** (dal 1773):
ricostruzione del cambiamento climatico urbano di Milano
(dovuto sia al clima che all'evoluzione della città)

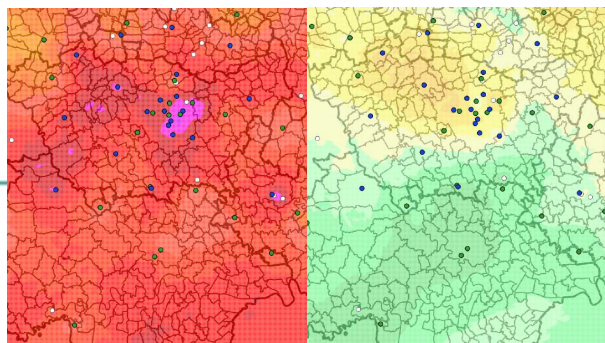
... alle [reti distribuite di monitoraggio](#):



Rete Climatologica Urbana
Climate Network®
di Fondazione OMD



... per giungere ad una [descrizione spaziale climatologica](#)

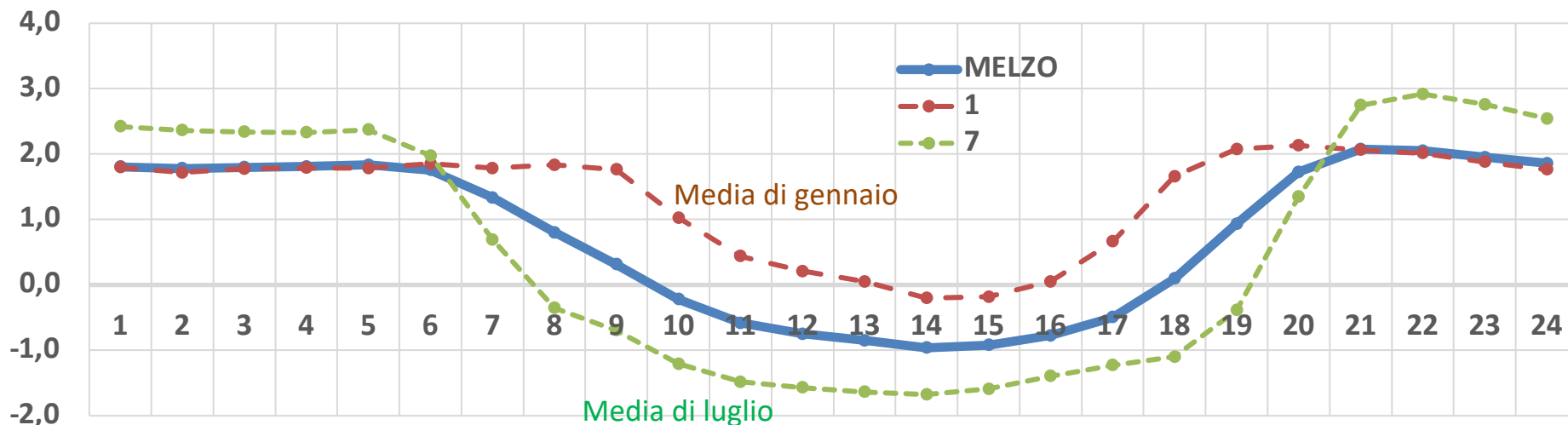


[finalizzata alle applicazioni](#):

Atlante delle temperature
di ClimaMi

L'isola di calore di MELZO

MELZO hourly UHI Index, 3y mean and January and July (2016-2019)



La stazione CN di Melzo (parzialmente periferica)

è mediamente **più calda** dell'area rurale circostante di **+0,8°C**.

Di sera la differenza è di **+2°C** e si mantiene a **+1,8°** per tutta la notte (d'estate **tra 2,5 e 3°C**).

Durante il giorno d'estate la differenza è negativa attorno a **-1°C** (d'estate fino a **-1,7°C**)

⇒ Anche I centri minori manifestano un fenomeno non trascurabile di isola di calore

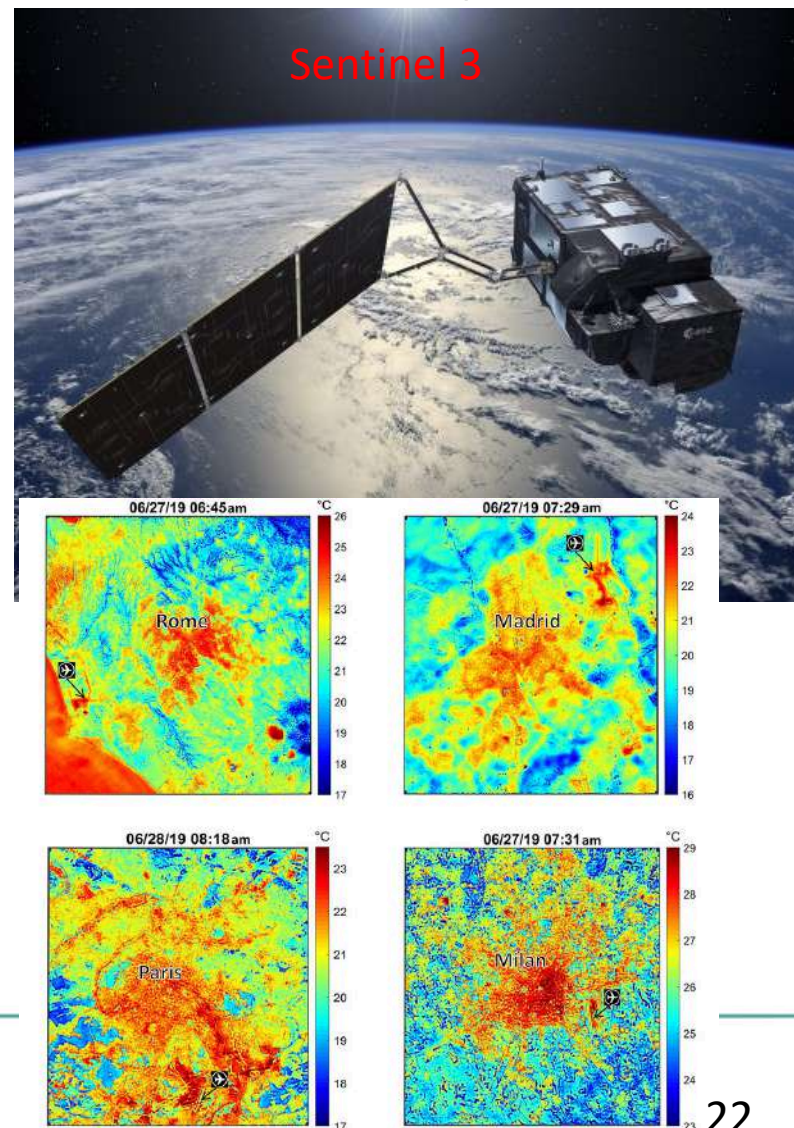
Altri strumenti necessari per la descrizione spaziale: il **telerilevamento dallo spazio**

Vantaggi:

- Molte piattaforme in orbita da anni
- Dati in genere liberamente disponibili
- Risoluzione spaziale medio - alta (30 ÷ 1000 m)

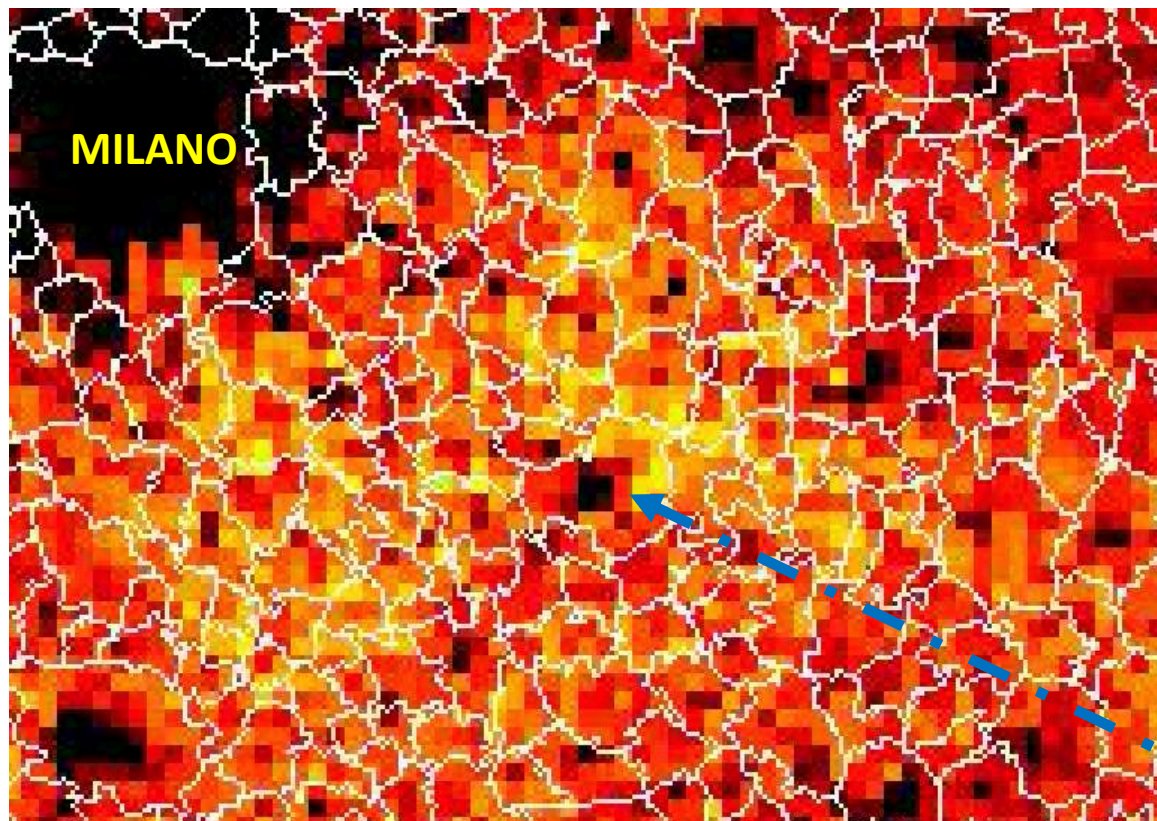
Svantaggi:

- Solo singoli orari (mattina, sera)
- Solo in totale assenza di nubi (IR)
- Risoluzione temporale limitata (giorni-settimane)
- Misura derivate della temperatura superficiale (LST)



*Dalla ISS: Ondata di calore del
27 e 28 giugno 2019*

Esempio di misure della temperatura superficiale urbana (**LST**, *nuova ECV*) in telerilevamento



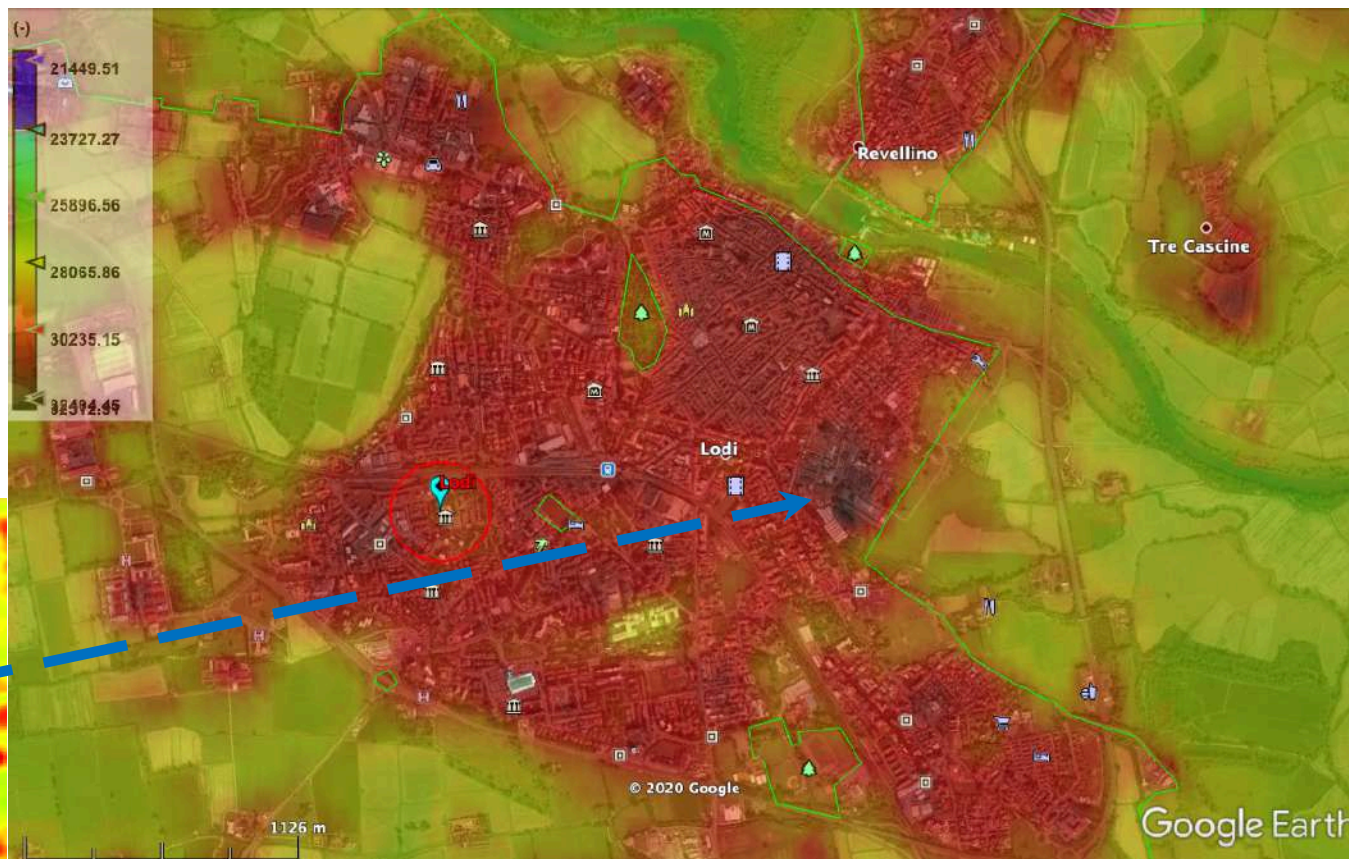
I **satelliti** permettono un'**alta risoluzione spaziale** ma misurano la **temperatura della superficie** e limitatamente a situazioni di cielo sereno!

Sentinel 3 (LST, risoluzione 1 km):
Milano e dintorni a sud-est (confini comunali)
2018-07-31 19:19 UTC

Lodi
Città

Misure in alta risoluzione da satellite

Immagine
nell'infrarosso
termico (B10) dal
Landsat 8 sulla
città di Lodi in
una situazione di
ondata di calore.



Landsat 8 – Band 10 (IR termico, risoluzione 100 m),
LODI, 2019-07-30 10:10 UTC

Relazione tra **LST** e Temperatura dell'aria T_a

LST (calcolata dalle radianze B10 e B11) e T_a sono correlate, ma non in modo semplice!

	Bilinear	Regression	LST = f (T; NDVI)						
AM Episods & NDVI		2	4	6	9	10	11	12a	12b
Regression	R ²	0,03	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,9
	m (T)	-0,3	0,03	0,3	0,6	0,6	0,9	0,8	0,5
	m (NDVI)	6,7	-16,5	0,3	-16,5	-7,6	-3,4	0,5	-7,1
	c	2,0	40,0	28,6	26,7	15,9	4,4	0,0	4,7
	Std. Err. (LST)	2,7	1,2	0,8	0,9	1,2	1,2	1,2	0,5
	F (sign. if ≥ 40)	1	83	77	99	40	37	28	112

LST dipende fortemente dalle caratteristiche della superficie, che possono variare nel tempo:

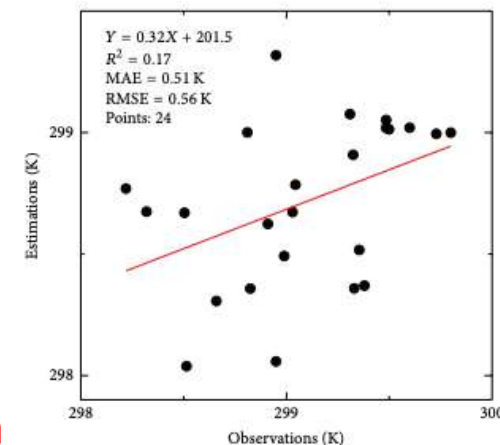
Uso del suolo (LCZ, Corine, DUSAF, ...)

Frazione verde (NDVI)

Albedo

.....

⇒ L'uso delle temperature superficiali ottenibili da satellite **non** sono immediatamente utilizzabili per la maggior parte delle applicazioni



Metodologia e prodotti del secondo anno

STEP 1

Building of the **empirical semivariogram** γ for both air temperature and LST satellite data

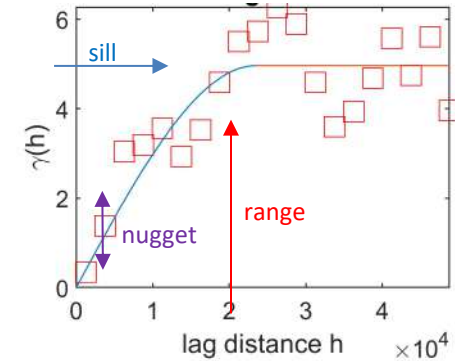
$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

Z is the regionalized variable, x_i the position in the domain, h the separation distance between two points and $N(h)$ the pairs of points separated by h .

STEP 2

Fitting of a model to the empirical semivariogram (*spherical model*).

RANGE, SILL, NUGGET



STEP 4

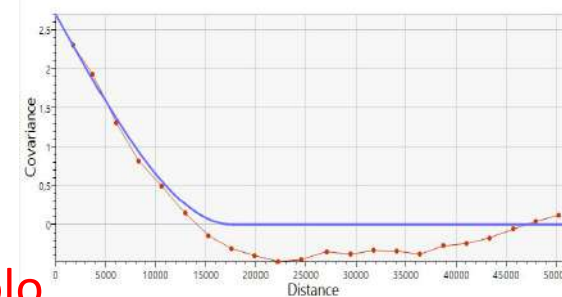
Performing the **cokriging interpolation**

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

where z_1 is air temperature and z_2 is the LST (λ_{α} and ω_{α} are the corresponding weights)

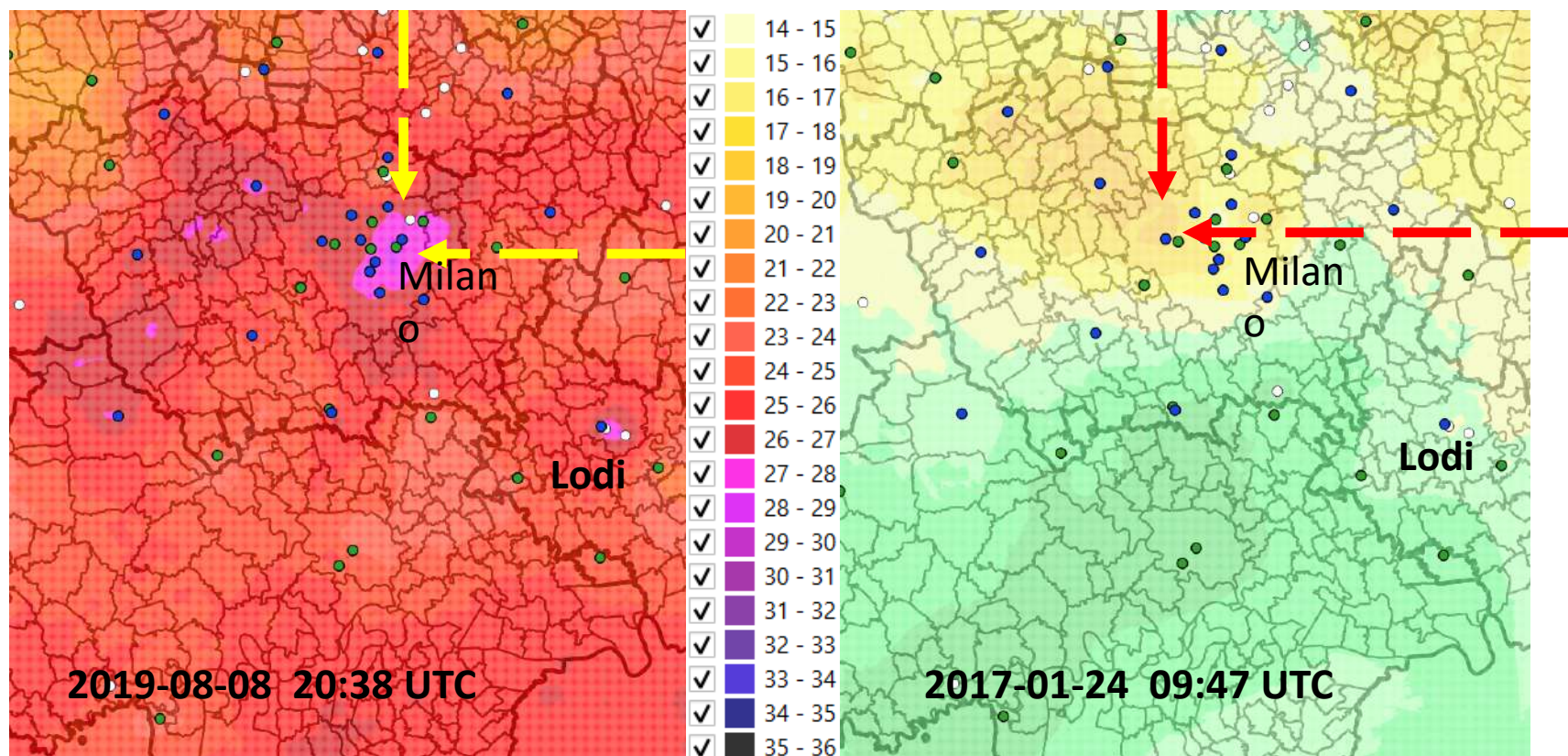
STEP 3

Building and fitting the **crossvariogram (covariance)**



Analisi spaziale integrata delle misure discrete al suolo e delle temperature superficiali da satellite a media risoluzione (LST a 1 km) con la tecnica del co-kriging per ottenere mappe ad alta risoluzione (100 m).

Integrazione di misure nella canopea urbana e della temperatura superficiale (**LST & Ta**)



Campo termico ad alta risoluzione spaziale (100 m) per una
situazione estiva serale ed una invernale mattutina

La climatologia della S-UHI

Climatologia: medie dalle immagini disponibili

(ad esempio **LST media** per un'area cittadina o per singoli pixels)

Problematiche:

- E' possibile solo per gli orari dei passaggi (mattino e sera)
- Comunque poche immagini disponibili (specialmente quelle ad alta risoluzione)

Soluzione:

- Individuare situazioni meteorologiche d'interesse in base:
 - alla stagione
 - a particolari situazioni (ondate di calore)
 - a particolari configurazioni dell'Isola di Calore Urbana
(in funzione di particolari tipi di circolazione atmosferica – Tipi di Tempo)

In ClimaMi:

Periodo considerato: dati orari dal **1/7/2015** al **31/08/2019**

Situazioni Tipo Climatiche

Per il **trimestre estivo** e il **trimestre invernale** sono state considerate

le 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 **$UHI \equiv T_u - T_r > 3^\circ\text{C}$**

T_u : temperatura di una stazione urbana di Milano

T_r : temperatura media di stazioni rurali selezionate attorno a Milano

⇒ Sono state quindi considerate le diverse configurazioni dell'Isola di Calore Urbana di Milano
relativamente alla posizione del massimo dell'Indice UHI

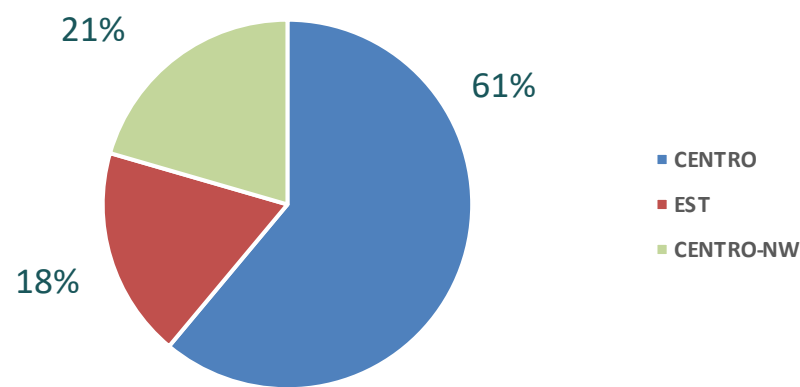
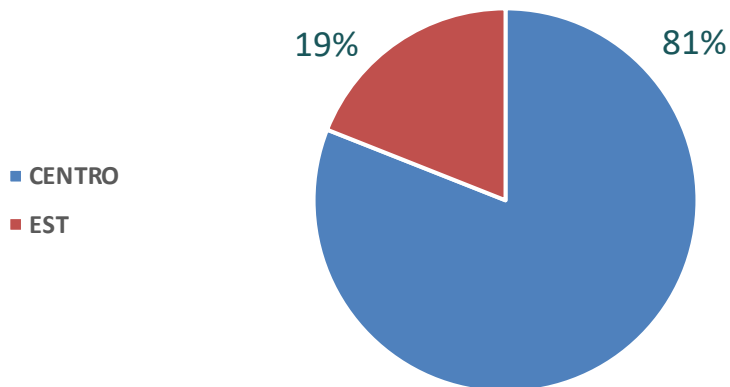
(Centro, Est, Ovest, Centro-Est, Centro-NW, Nord-Est)

individuate dalle **Situazioni Tipo Climatiche (STC)**

STC e frequenze di accadimento

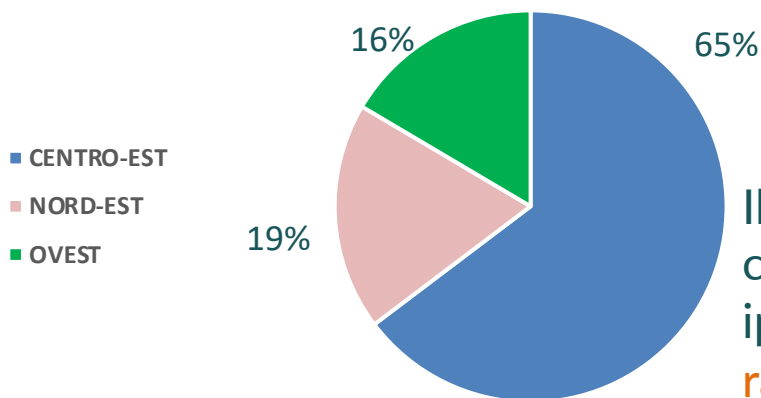
INVERNO_SERA

ESTATE_SERA



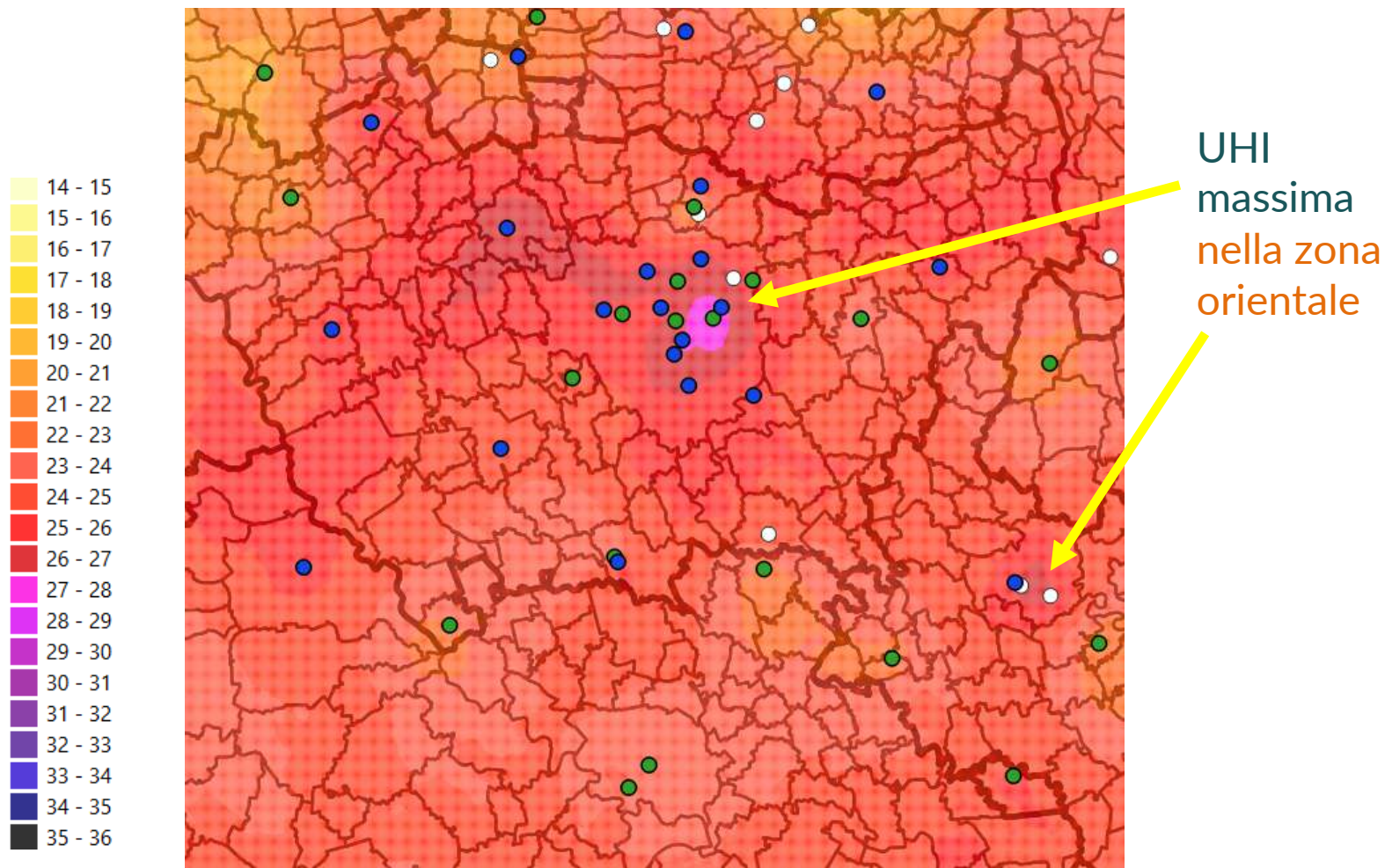
INVERNO_MATTINA

Nelle mattine estive non si hanno situazioni di isola di calore intensa

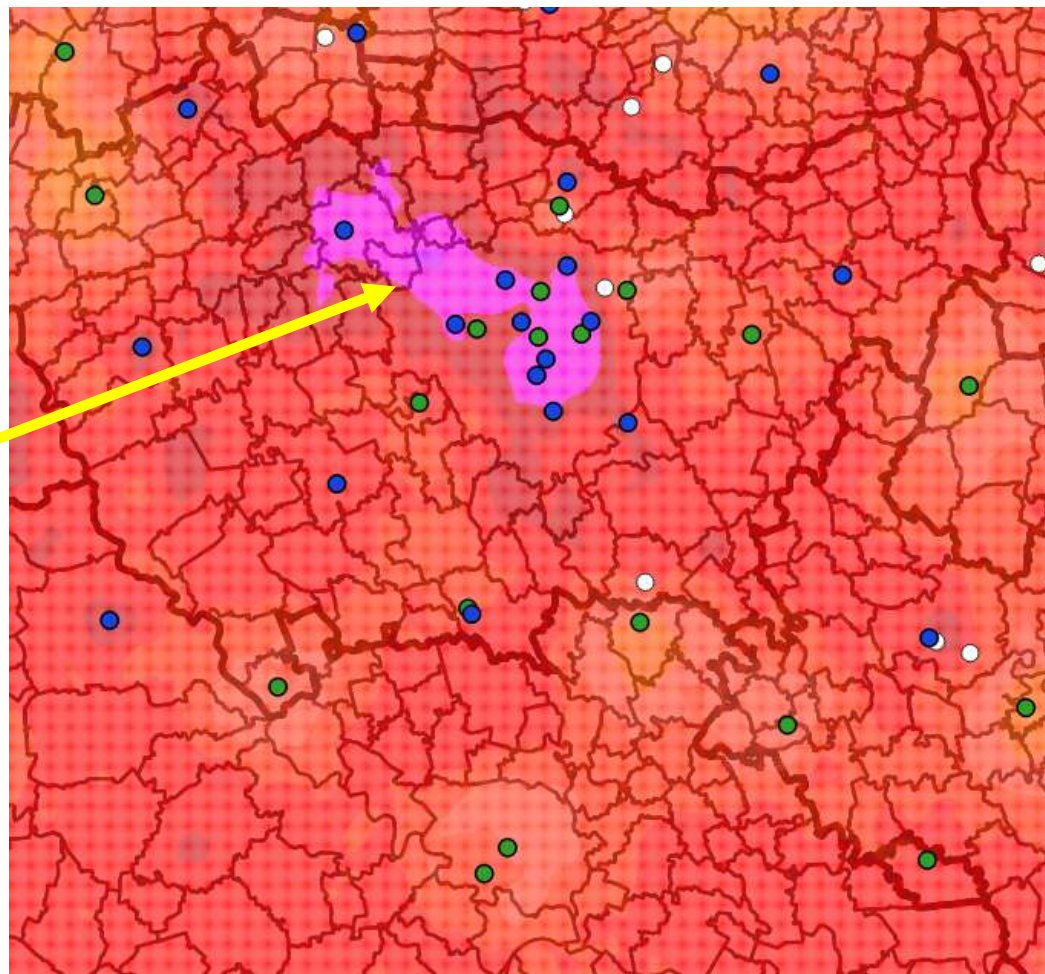


Il numero di episodi analizzato, specie per le casistiche invernali, è inferiore rispetto a quello ipotizzato. Tuttavia gli episodi sono rappresentativi della situazione.

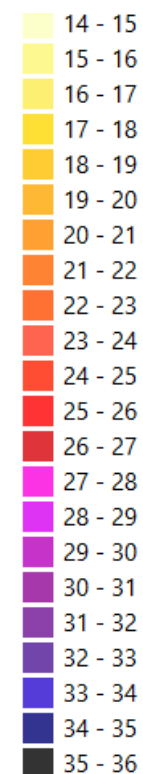
STC Estate_Sera_EST (media)



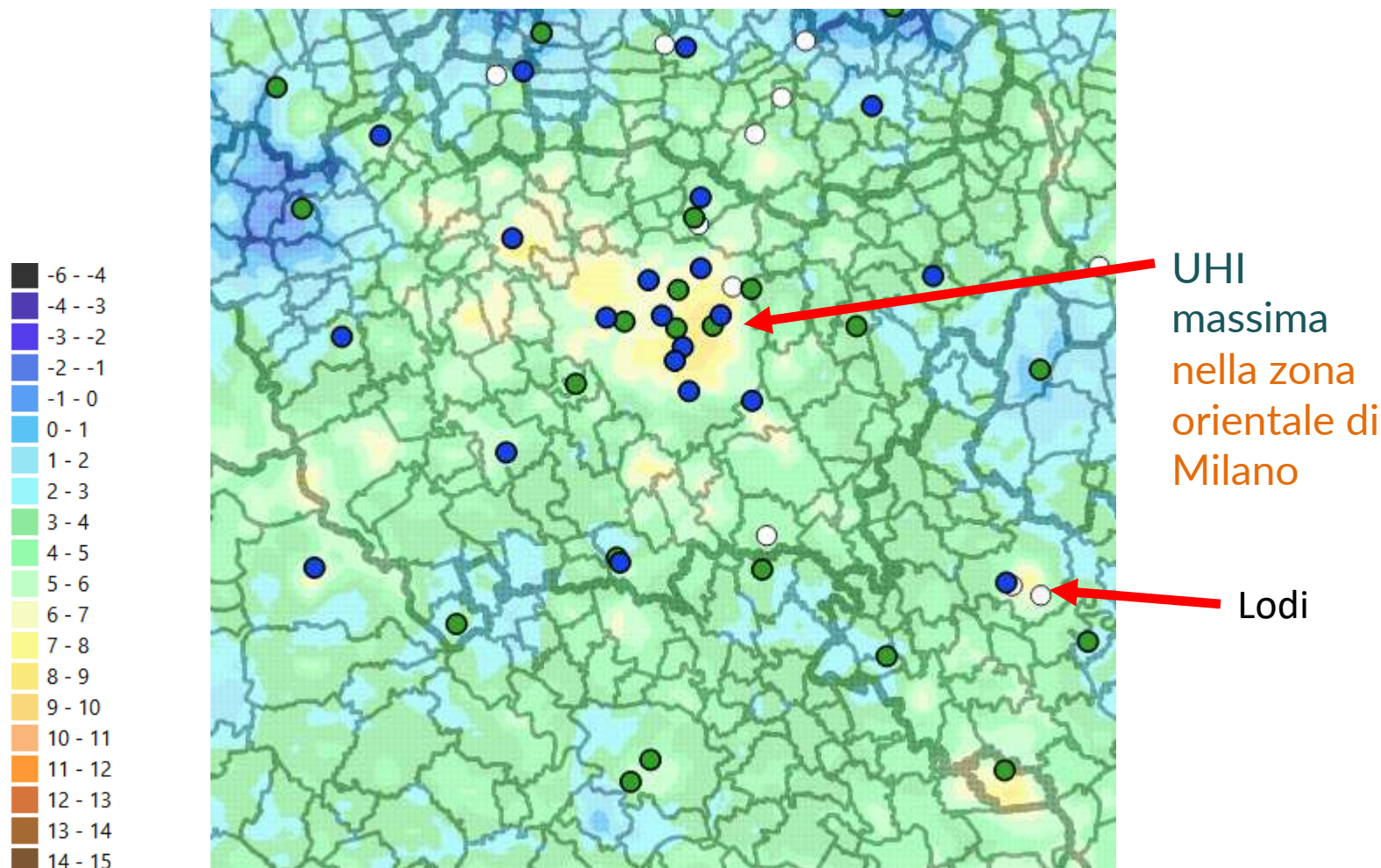
STC Estate_Sera_CENTRO-NW (media)



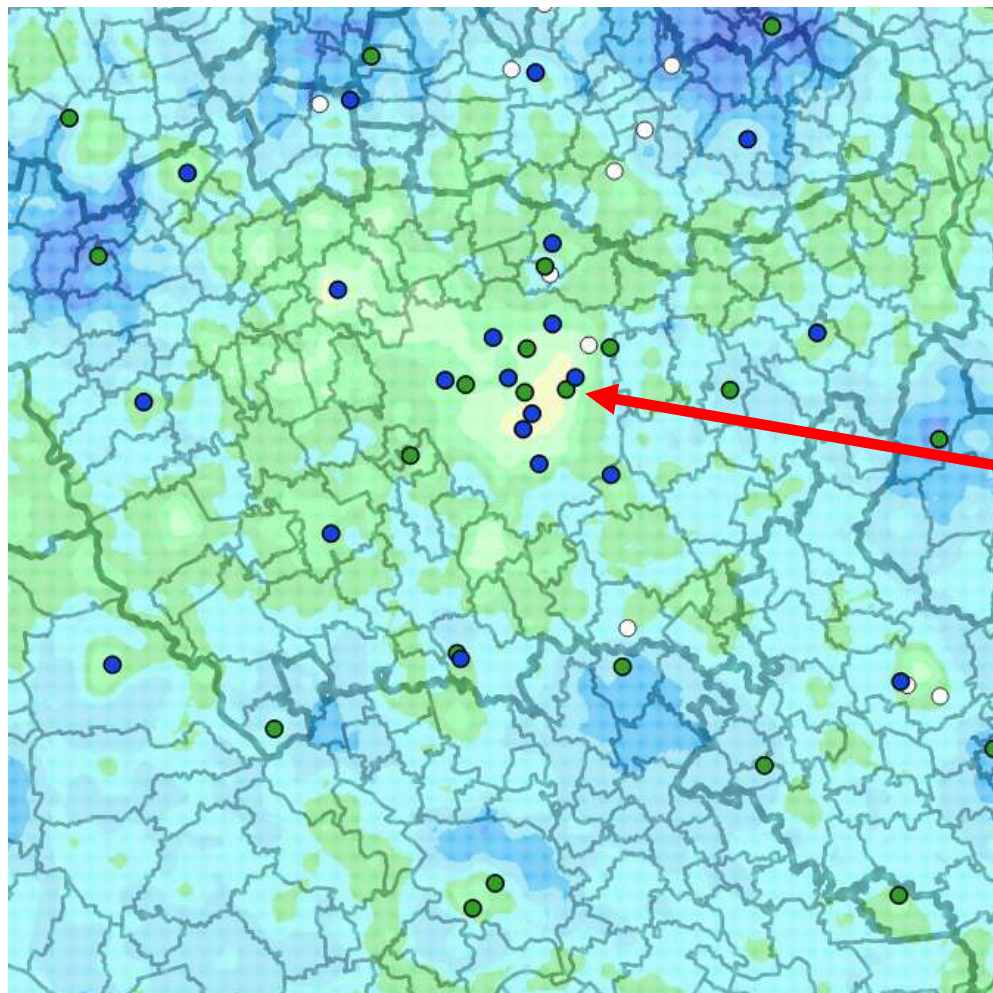
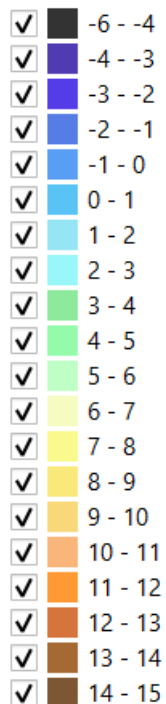
UHI
massima
nella zona
nord-
occidentale



STC Inverno_Sera_EST (media)

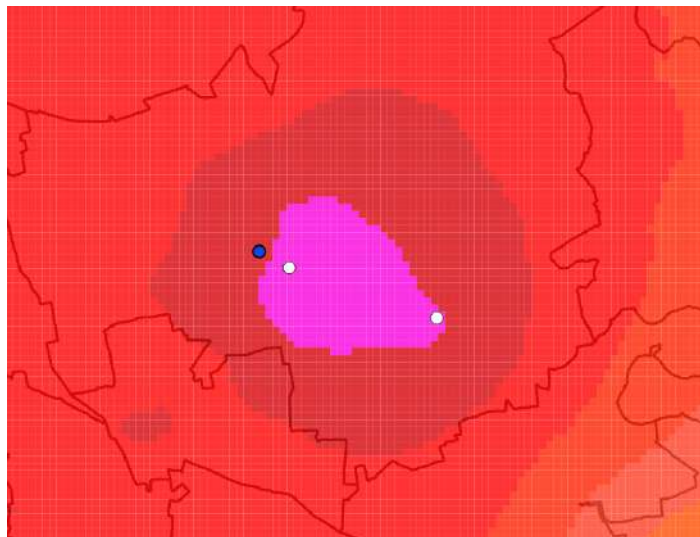


STC Inverno_Sera_CENTRO (media)



UHI
massima
nella zona
centrale di
Milano

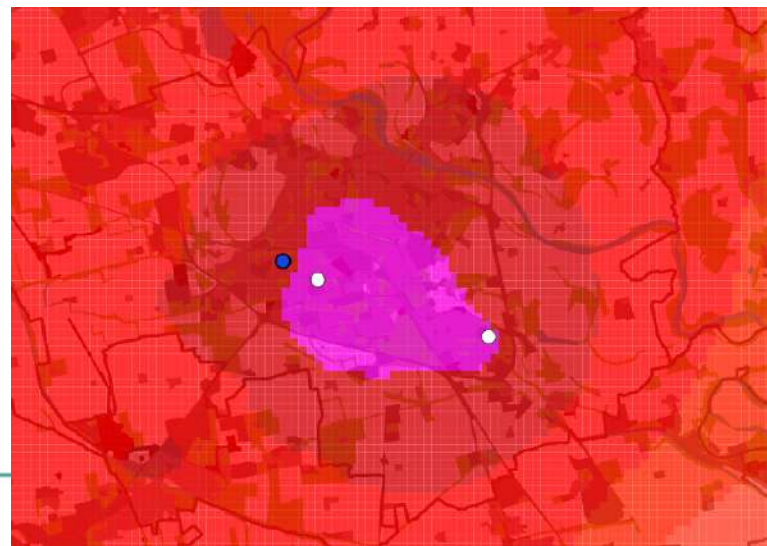
L'Atlante climatologico delle temperature (2020)



Vantaggi

- Dati di temperatura su **grigliato regolare** (celle **100m x 100m**) per l'intero dominio spaziale
- Dati di temperatura per i centri urbani **non dotati di stazione meteo**

➤ Le informazioni climatiche dell'Atlante possono essere **incrociate e correlate** con quelle dei **database topografici istituzionali (DUSAF, etc...)** e contribuire quindi ai processi decisionali, progettuali e gestionali



L'Atlante climatologico delle temperature (2020)

- Sarà prossimamente consultabile sul sito di progetto (<https://www.progettoclimami.it/>)
- Realizzato in **webGIS**, permetterà di consultare e scaricare le distribuzioni spaziali di temperatura dell'aria con **risoluzione 100 metri** rappresentative di:
 - Media e minima stagionali per inverno (mattina/sera)
 - Media e massima stagionali per estate (sera)
 - Media e massimo/minimo per Situazione Tipo Climatica
 - Ondate di calore serali
 - Ondate di calore mattutine
- Si potrà scaricare sia l'immagine raster sia il layer vettoriale di temperatura per l'intero dominio o per confini amministrativi.

Sviluppi e prospettive

Applicazioni della metodologia alle sperimentazioni ad alta risoluzione

Estensione temporale del DB (medie decennali 2011 ÷ 2021) e dell'Atlante

Uso di altri sensori e consolidamento della metodologia

Esportazione delle metodologie di ClimaMi

Conclusioni

Soddisfazione per i risultati conseguiti sul piano metodologico e climatologico

Necessità di sperimentazioni e applicazioni

Continuazione della diffusione tra tutti i possibili stakeholders e di Capacity Building

Sviluppi futuri

Grazie per l'attenzione!

Domande?

www.fondazioneomd.it
www.progettoclimami.it

