



# Temperature e precipitazioni: caratteristiche, distribuzione spaziale, trend temporali, dati

27 OTTOBRE 2020

*Il clima urbano e i principali fenomeni locali*

# Il clima urbano e i principali fenomeni locali

- Definizioni e concetti introduttivi
- Dal clima globale a quello locale
- Il clima delle città
- Superfici urbane e loro effetti sul clima locale
- L'isola di calore urbana
- Fenomeni associati all'isola di calore
- L'isola di calore a Milano
- L'evoluzione del clima urbano

# Definizioni e concetti introduttivi

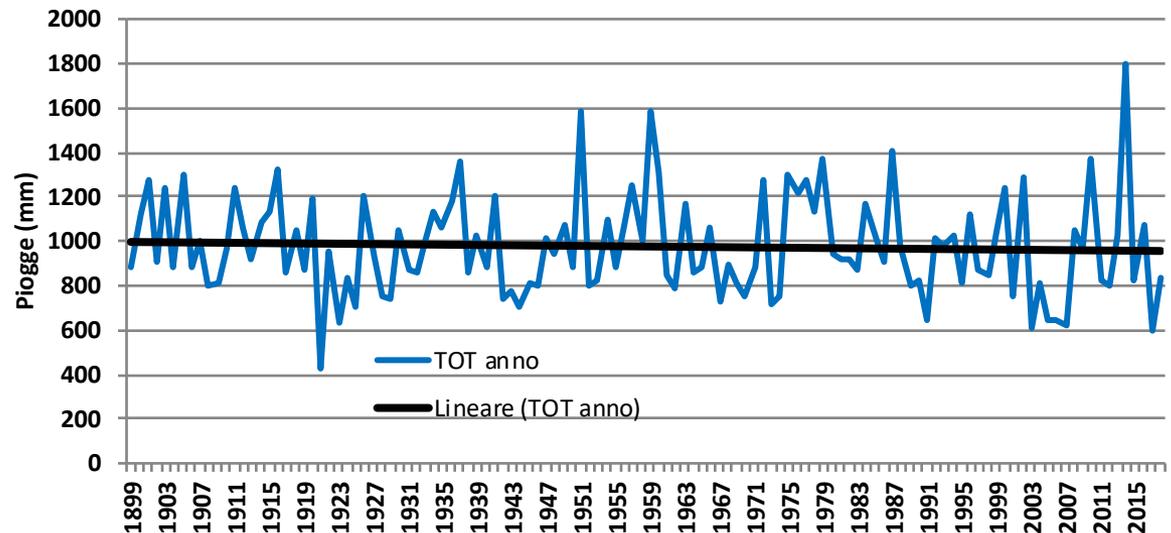
**CLIMA:** Condizioni medie del tempo relative

- ad una circoscritta area con caratteristiche di omogeneità
- e ad uno specifico intervallo temporale:

WMO: 30 anni (**C**limate **N**ormal, ovvero CLINO: 1961-90, ..., **1991-2020**)

Variabilità temporale  
molto lenta, da valutare insieme ai fattori che la governano.

Variabilità spaziale  
ampia, in funzione delle disomogeneità locali.



La **CLIMATOLOGIA** studia le **medie** basate sulle misurazioni istantanee delle condizioni meteorologiche.

# Monitoraggio meteorologico



Misure “istantanee” delle variabili meteorologiche per scopi diversi (Analisi e previsione del tempo, protezione civile, assistenza alla navigazione aerea e marittima, gestione in tempo reale di sistemi meteo-dipendenti, info per i media, ecc.):

- Pressione
- Temperatura
- Umidità
- Vento
- Precipitazione
- Radiazione



Queste sono le variabili principali e vengono considerate «**essenziali**» sia per il monitoraggio che per la conoscenza del clima.

## ECV: Essential Climatic Variables

# Misure climatologiche

## Monitoraggio meteorologico:

specifiche tecniche per **posizionamento, sensori e modalità di misura in funzione delle applicazioni** operative, ad esempio:

- accuratezza del decimo di grado per la temperatura
- posizionamento sufficientemente lontano da fonti di calore, ecc.

## Per usi climatici:

stazioni climatologiche con ulteriori stringenti requisiti per la **continuità e riferibilità** delle misure rispetto a quelle di semplice monitoraggio, ad esempio:

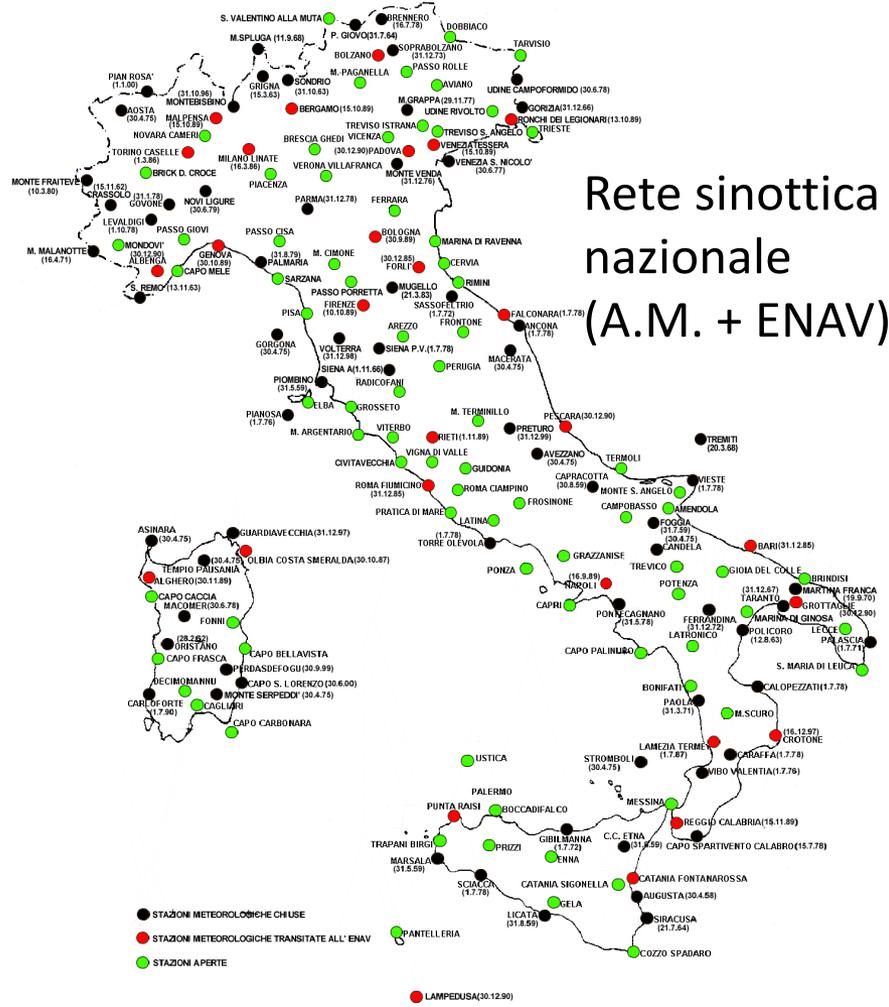
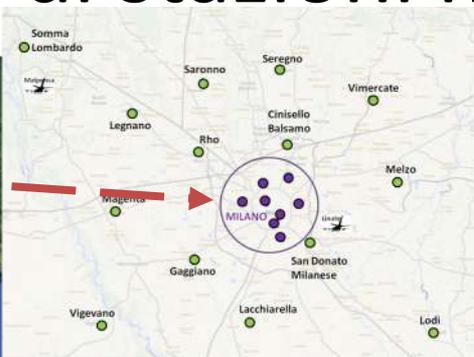
- riferimento costante delle misure a standard internazionali (**Metrologia**)
- documentazione completa e periodicamente aggiornata della stazione di misura e dei dintorni (**Metadata**)

**NB: ogni misura deve sempre essere associata ad un'incertezza e ai metadata!**

# Reti di stazioni meteorologiche



**Rete climatologica urbana di OMD**



**Rete sinottica nazionale (A.M. + ENAV)**

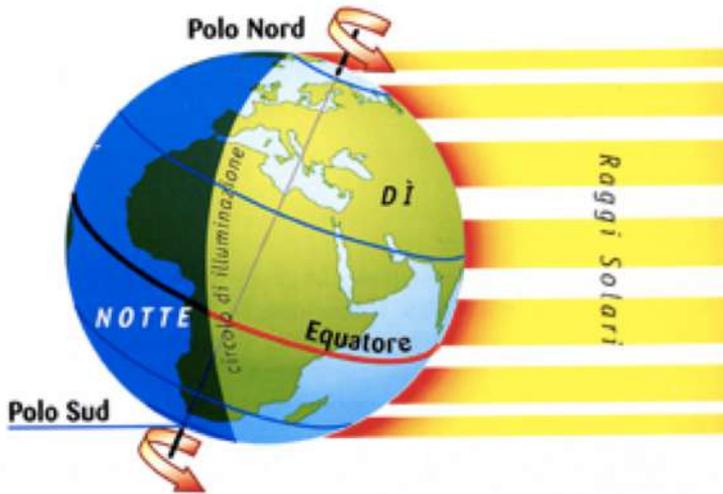


**Rete regionale di ARPA Lombardia**

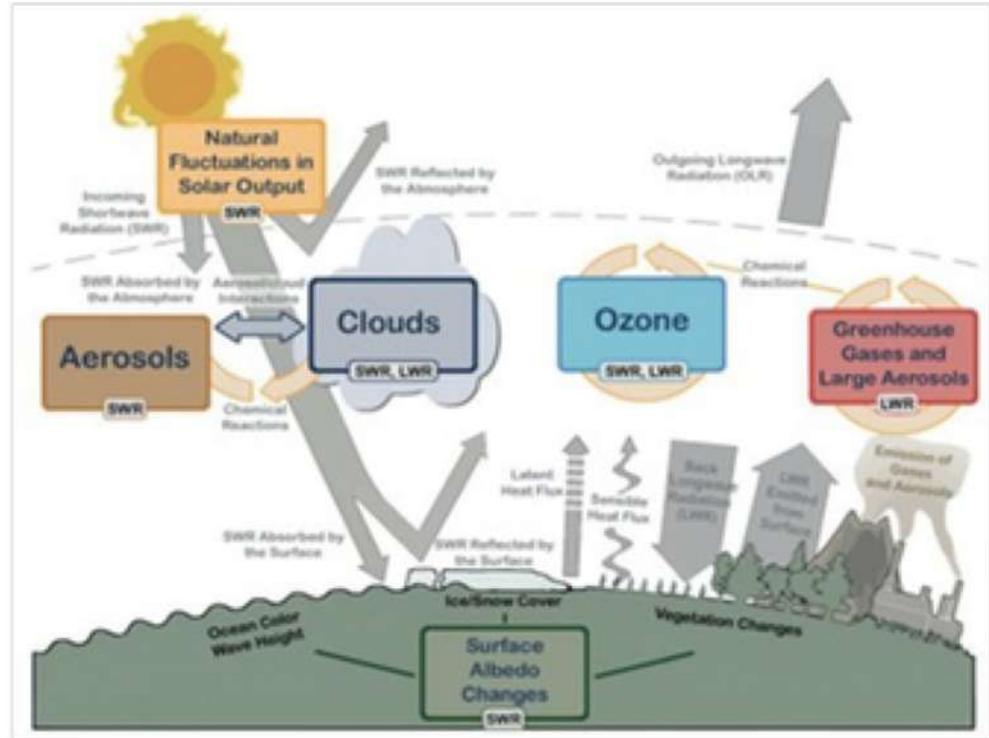
Ogni rete è giustificata dalla specifica applicazione: sinottica, locale aeronautica, ecc.

# Equilibrio radiativo e clima della Terra

- $T_{media} \approx 15^{\circ}C$ : temperatura media globale sulla superficie terrestre
- Alternanza delle stagioni, zone polari/equatoriali



- Il clima globale è determinato dal Sole, dalla superficie terrestre (terre e oceani) e dalle caratteristiche chimico-fisiche dell'atmosfera.

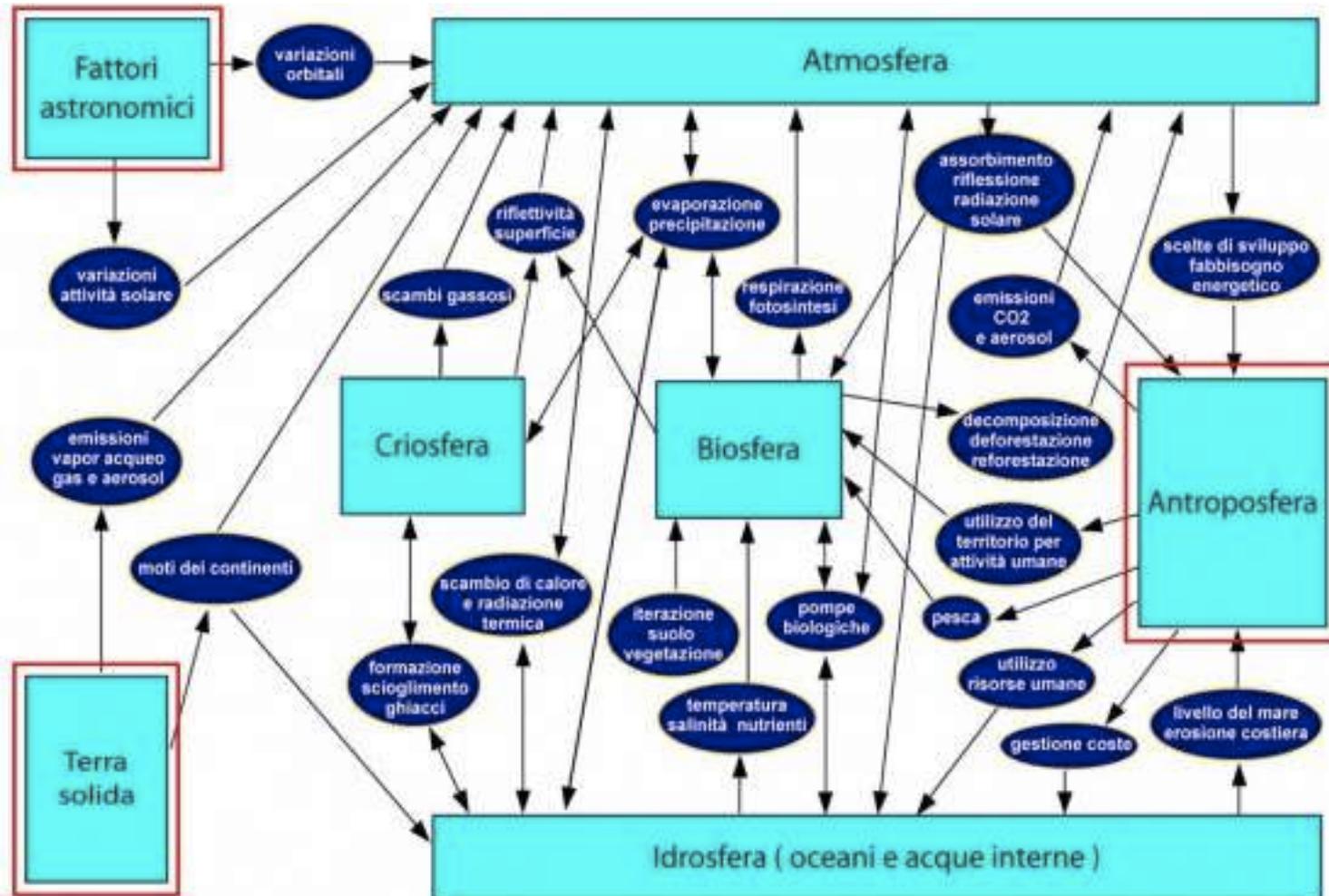


*Principali driver del cambiamento climatico.*

*Fonte: Climate Change 2013: The Physical Science Basis.*

*Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*

# Il sistema climatico



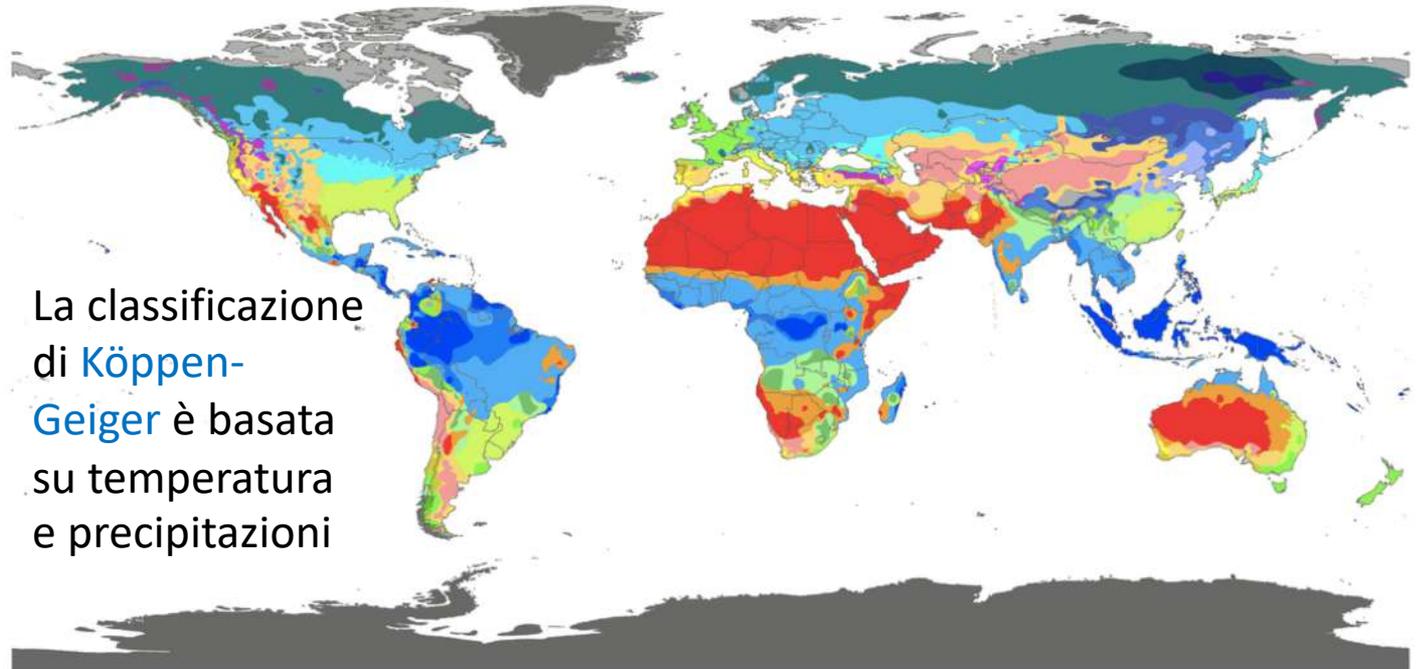
# Dal clima globale a quello locale

Il clima di ogni singola zona o località è principalmente determinato da quello della più vasta regione in cui si trova.

E' però possibile definire climi locali e

**microclimi** all'interno di ogni area.

Classificazione climatica mondiale secondo il sistema Köppen-Geiger



La classificazione di Köppen-Geiger è basata su temperatura e precipitazioni



 Af	 BWh	 Csa	 Cwa	 Cfa	 Dsa	 Dwa	 Dfa	 ET
 Am	 BWk	 Csb	 Cwb	 Cfb	 Dsb	 Dwb	 Dfb	 EF
 Aw	 BSh	 Cwc	 Cfc	 Dsc	 Dwc	 Dfc		
 BSk				 Dsd	 Dwd	 Dfd		

FONTE: Stazione dati GHCN v.2.0  
Temperatura (N=4,844) e  
Precipitazioni (N=12,396)

PERIODO RILEVAZIONE: tutti i disponibili

RILEVAZIONE MINIMA: 30 per ogni mese

RISOLUZIONE: 0.1 gradi lat/long

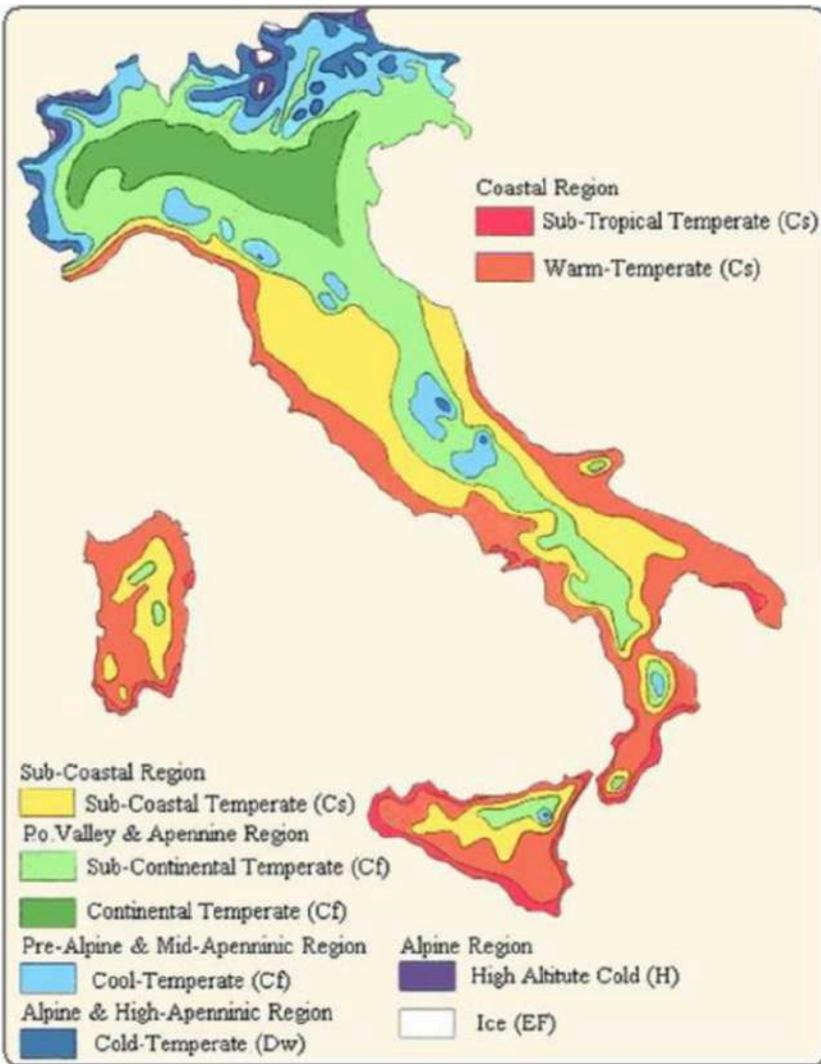
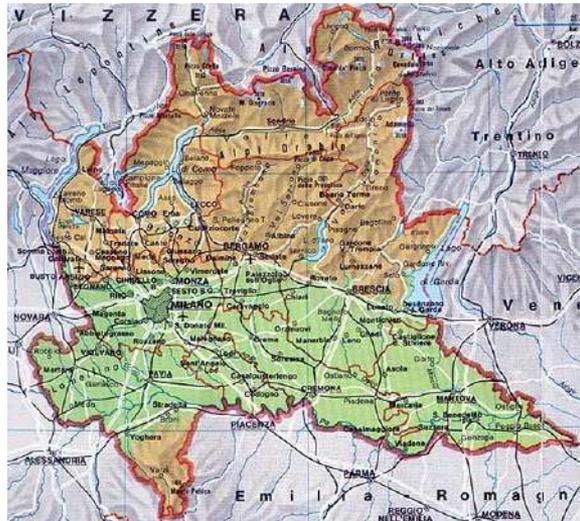
Contact : Murray C. Peel (mpeel@unimelb.edu.au) for further information

# Il clima Italiano e della Lombardia

Il clima d'Italia è classificato come "temperato caldo senza stagione secca":

**Cfa** di Köppen-Geiger.

È però possibile e necessaria una classificazione dei numerosi climi locali dovuti alla complessità orografica della penisola e delle singole regioni italiane.

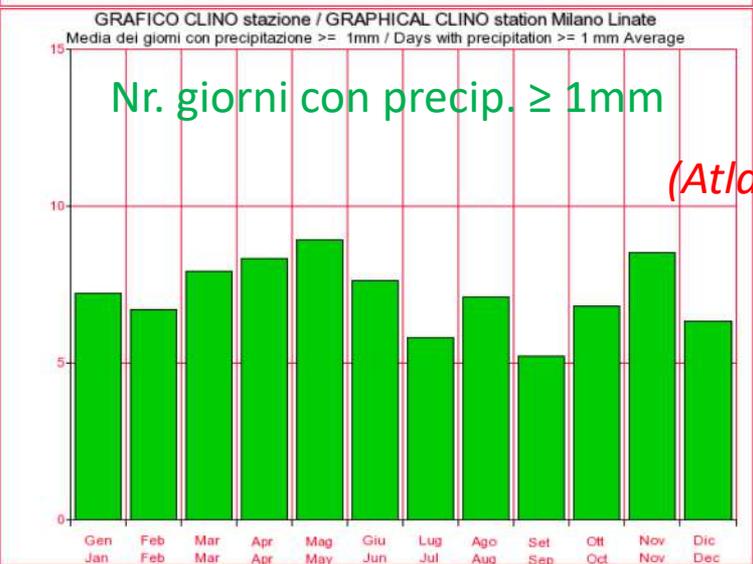
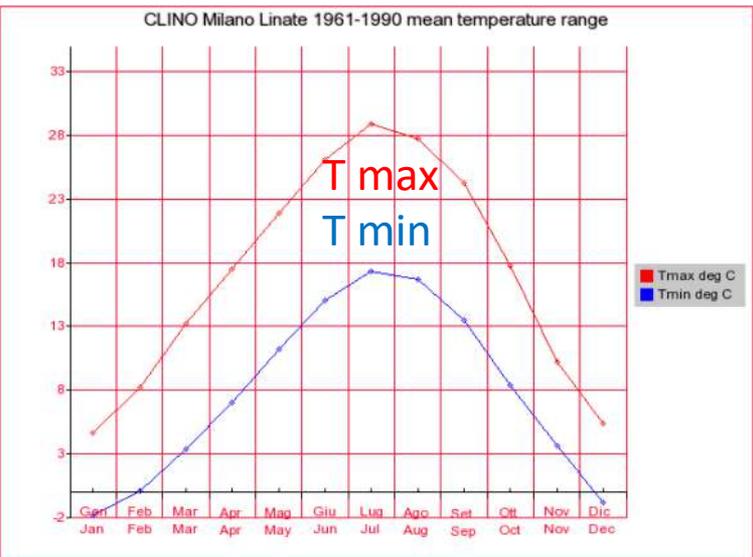


# Il clima di Milano da misure sinottiche

Stazione sinottica aeroportuale di Milano

Linate (AM/ENAV): WMO Nr. 16080

CLINO 1961-90



(Atlante Climatologico Servizio Meteorologico A.M.)

	STAZIONE 80 MILANO-LINATE											
	medie	mensili			periodo 61 -			90				
	Tx1d	Tx2d	Tx3d	Tx-m	Tn1d	Tn2d	Tn3d	Tn-m	Tx>S	Tn<l	OT>S	OT<l
gennaio	4.1	4.3	5.4	4.6	-2.4	-1.9	-1.3	-1.9	0.0	20.8	0.0	8.4
febbraio	7.1	8.1	9.3	8.2	-0.5	0.2	0.3	0.1	0.0	14.3	0.0	3.2
marzo	11.2	13.2	15.0	13.2	1.5	3.2	4.9	3.3	0.0	5.5	0.0	0.7
aprile	16.3	17.7	18.5	17.5	6.6	6.5	7.8	7.0	0.6	0.4	0.0	0.0
maggio	20.4	21.9	23.2	21.9	9.4	11.5	12.3	11.2	7.2	0.0	0.7	0.0
giugno	24.6	26.0	27.9	26.1	13.8	14.8	16.4	15.0	19.8	0.0	4.1	0.0
luglio	28.4	29.2	29.0	28.9	16.8	17.7	17.5	17.3	27.5	0.0	8.3	0.0
agosto	28.9	28.2	26.1	27.7	17.5	17.1	15.5	16.7	24.9	0.0	6.3	0.0
settembre	25.6	24.4	22.9	24.3	14.6	13.6	12.3	13.5	13.9	0.0	1.9	0.0
ottobre	20.5	17.8	15.4	17.8	10.7	8.4	6.2	8.4	0.7	0.6	0.0	0.0
novembre	12.4	10.3	8.1	10.2	5.8	3.5	1.4	3.6	0.0	6.1	0.0	1.0
dicembre	6.6	5.5	4.4	5.4	-0.2	-0.9	-1.5	-0.9	0.0	19.7	0.0	6.7
	Ur%	Rtot	R>R1	R>R2	Rmin	Q1	Q2	Q3	Q4	Rmax	Sol	Rdz
gennaio	86	64.3	7.2	2.3	0.0	12.6	42.3	68.6	107.6	196.7	1.9	370
febbraio	78	62.6	6.7	2.1	0.8	19.7	47.3	63.2	97.5	155.2	3.4	662
marzo	71	81.6	7.9	3.0	0.0	33.4	63.7	83.4	121.7	205.6	4.9	1090
aprile	75	82.2	8.3	2.8	7.1	33.9	56.9	85.6	118.0	224.2	5.9	1670
maggio	72	96.5	8.9	3.1	3.6	37.7	67.8	97.6	140.8	289.2	6.8	1974
giugno	71	65.4	7.6	2.4	22.3	39.0	52.3	62.0	90.1	134.6	8.1	2250
luglio	71	68.0	5.8	2.0	16.5	27.0	41.5	51.1	105.8	201.6	9.2	2316
agosto	72	93.0	7.1	2.7	4.3	42.5	75.5	102.4	150.0	187.5	8.1	1977
settembre	74	68.5	5.2	2.1	3.3	15.0	38.3	72.8	107.7	209.5	6.2	1438
ottobre	81	99.7	6.8	3.0	2.4	30.8	44.5	84.6	148.1	416.9	4.2	866
novembre	85	101.0	8.5	3.6	1.2	37.8	85.8	107.5	137.1	265.2	2.2	431
dicembre	86	60.4	6.3	2.2	14.3	35.8	46.0	62.4	80.7	156.2	1.9	310

# Alcuni database meteo-climatici esistenti

- Scala meso-sinottica:
  - WMO-OGIMET: <https://www.ogimet.com/home.phtml.en>
  - NOAA-NCDC: <https://www.ncdc.noaa.gov/>
  - Servizio Meteorologico A.M: <http://www.meteoam.it/>
- Scala regionale/locale:
  - ARPA Lombardia: <https://www.arpalombardia.it/> (meteo)
  - Fond. OMD: rete urbana metropolitana (Climate Network®)  
<https://www.fondazioneomd.it/>

**NB: data policy!**

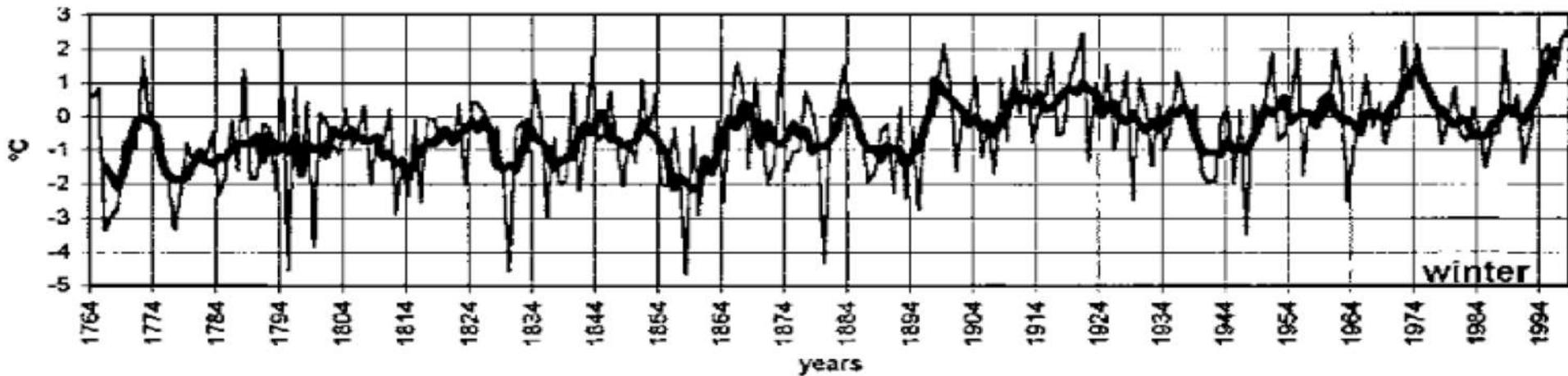
# Il clima delle città

Clima urbano:

Per **ogni applicazione** è definito dalle medie delle misure meteorologiche effettuate per periodi sufficientemente prolungati **nell'ambito artificiale (non naturale) del contesto urbanizzato**, diverso da quello rurale.

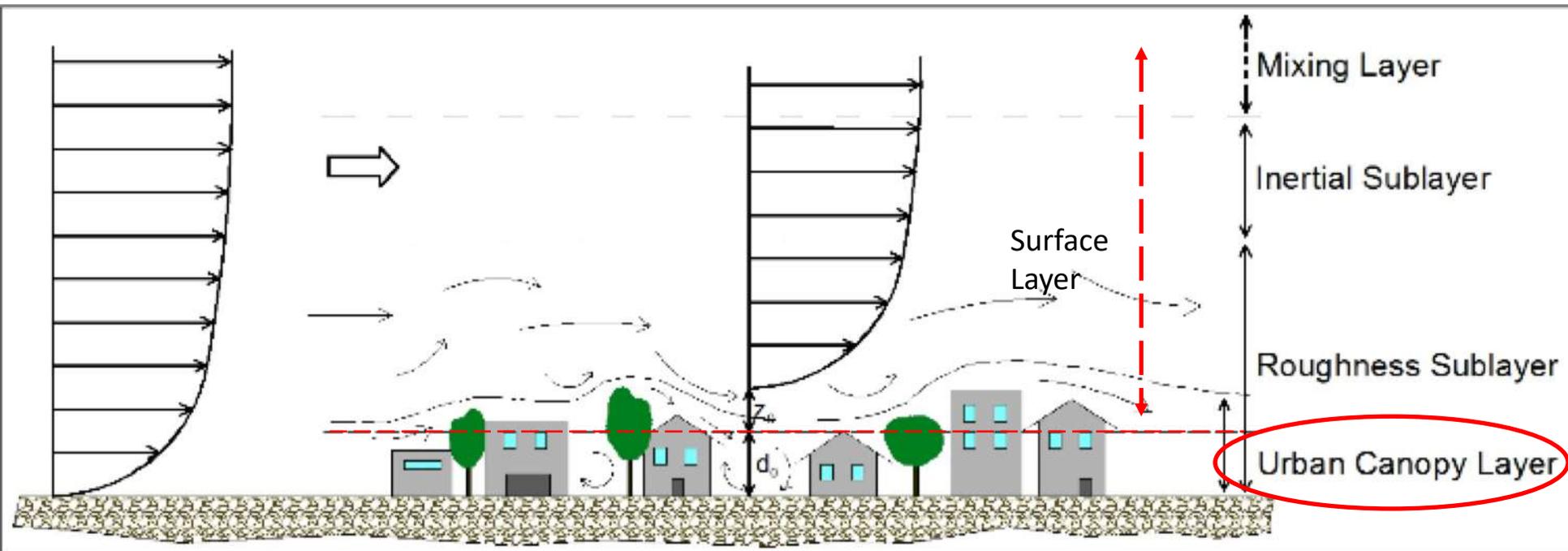


Ad esempio dalle serie storiche, come quella dell'**Osservatorio di Milano Brera**:



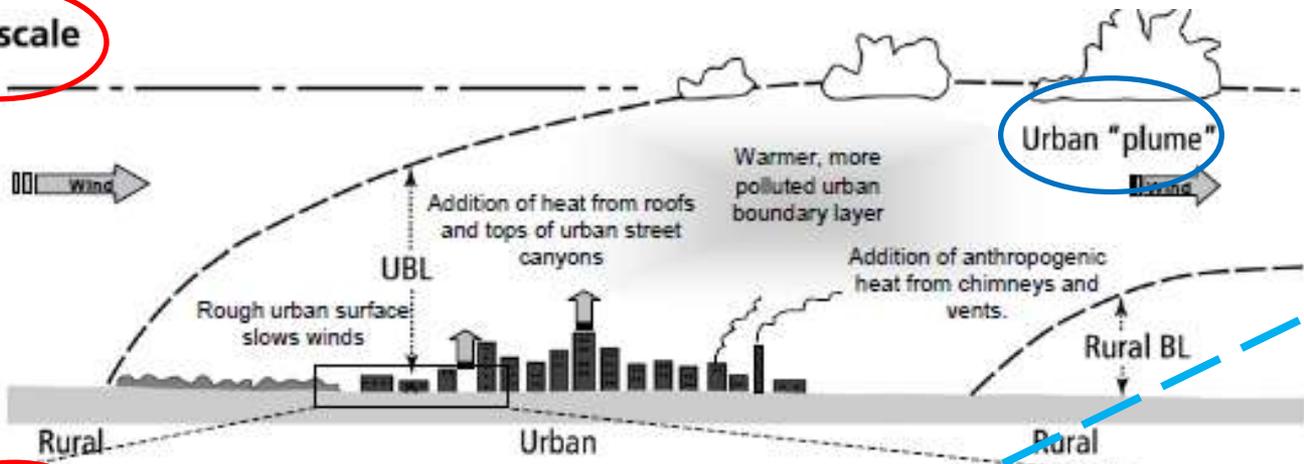
# Dall'ambiente rurale all'ambiente urbano

L'aumento della "rugosità superficiale" crea nuove stratificazioni nella parte inferiore dello strato atmosferico a contatto e direttamente influenzato dalla superficie terrestre.

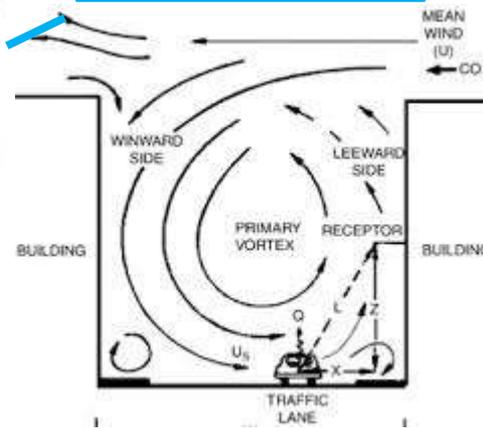


# Struttura e processi nell'atmosfera urbana

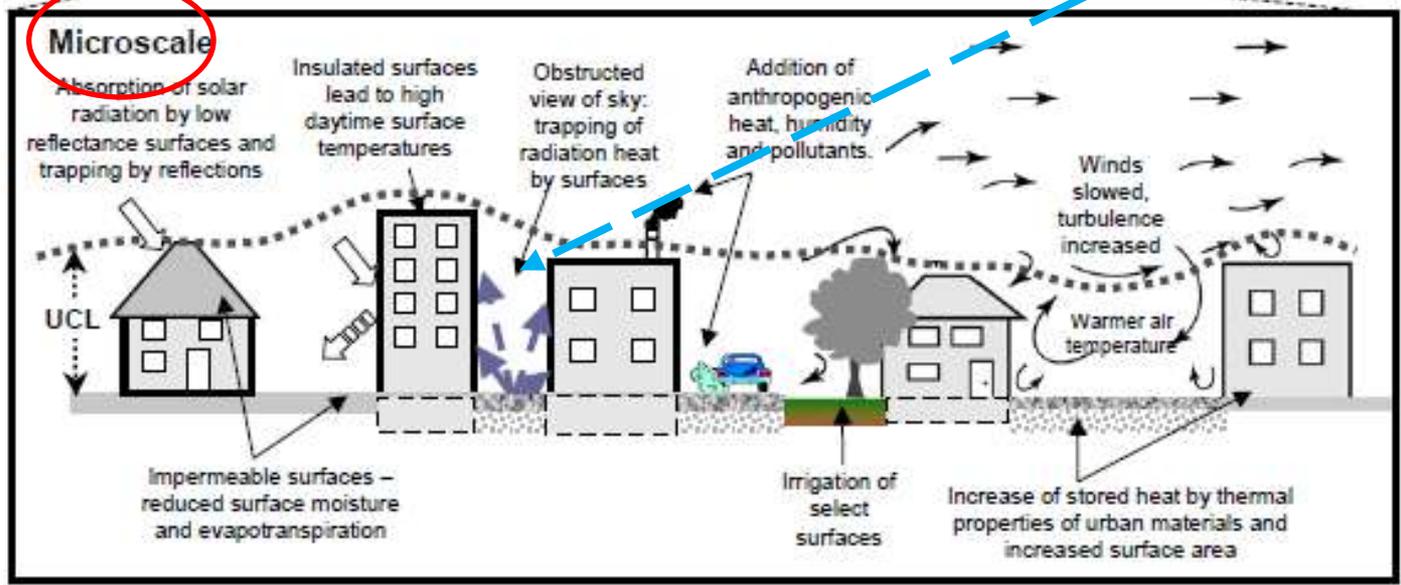
Mesoscale



“Urban canyons”



Microscale



Necessità di una modellizzazione sofisticata!

# La definizione del clima urbano

## Cosa e dove misurare

- Le **variabili d'interesse** per le attività antropiche cittadine:
  - Temperatura (energia, benessere, ...)
  - Umidità (benessere, verde urbano, ...)
  - Vento (benessere, sicurezza, ...)
  - Radiazione (energia, benessere, ...)
- A livello strada:
  - **Rappresentatività** molto limitata, ma importanti per la bioclimatologia
- Nella canopea urbana:
  - **Rappresentatività** limitata, importante per bilancio energetico di singoli edifici, necessita di moltissimi punti di misura ma descrive la città nei dettagli
- A livello dei tetti (sommità della canopea urbana):
  - **Buona rappresentatività** a scala urbana, bastano poche stazioni

*Trasferibili in indici applicativi per diretti usi specifici come nel DB di:*



# Dall'osservatorio storico alla rete urbana

**Insufficienza** delle misure in un solo punto della città e necessità di descrivere la **molteplicità della morfologia e fisiologia urbana**

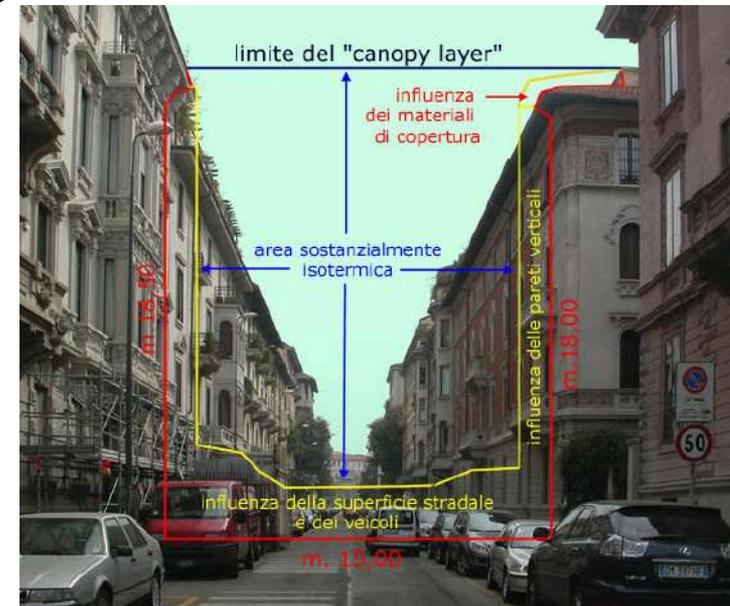
⇒ **Rete** sufficientemente **rappresentativa** ma **sostenibile** (minimo di stazioni necessarie):

- non può essere a livello strada (ogni punto di misura è rappresentativo solo molto localmente)
- non può essere solo nei parchi o su torri (poco rappresentativi dell'atmosfera cittadina)

⇒ posizionamento

**alla sommità della canopea urbana** (su tetti omogenei/rappresentativi, rispettando regole di esposizione dei sensori)

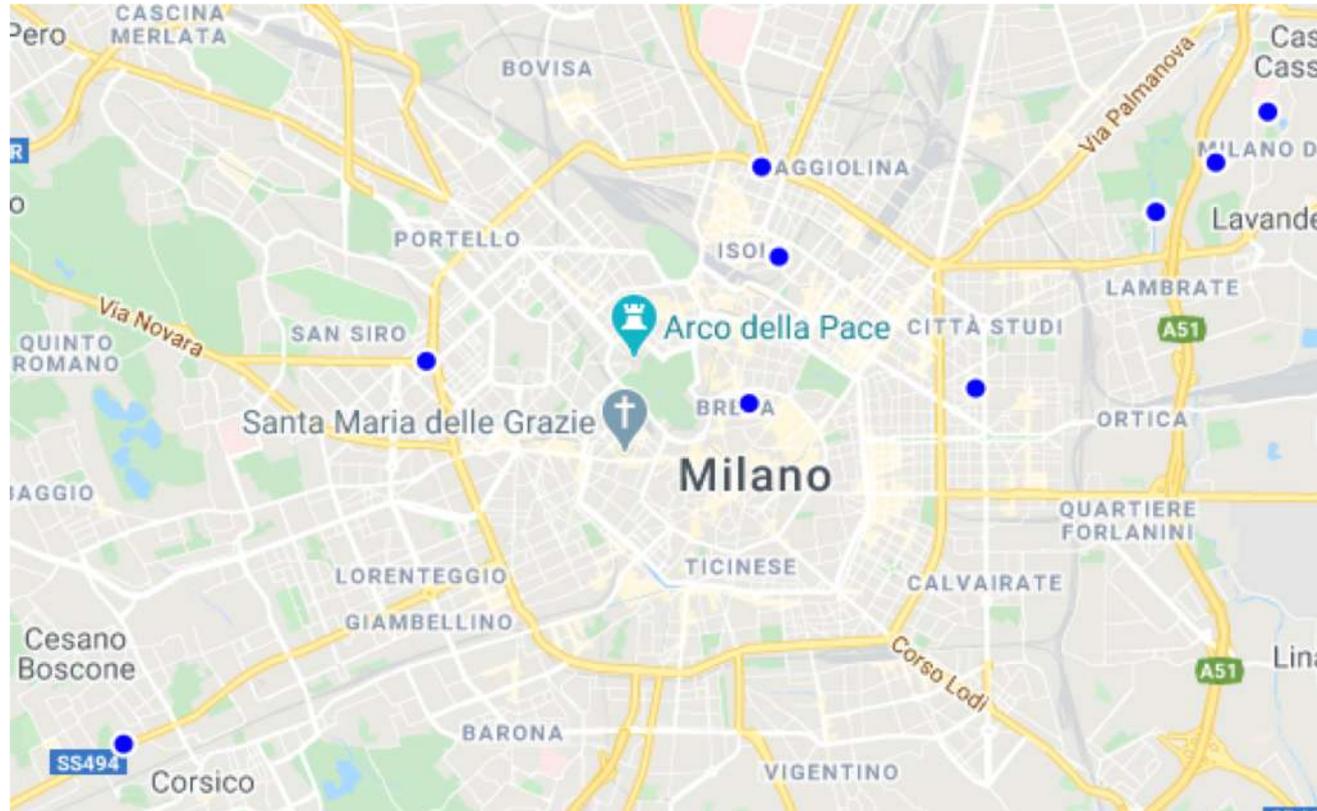
- **Incerteza:** dell'ordine di **1°C** per la temperatura



# Reti in ambito urbano

Stazioni ARPA ereditate dal PMIP per il monitoraggio della qualità dell'aria:

Posizionamento stazioni ed esposizione sensori differenziate, possono misurare strati diversi dell'atmosfera urbana.



**Solo** un paio di stazioni misura nella parte superiore della canopea urbana.

# Urban Climate Network (CN)

Fondazione

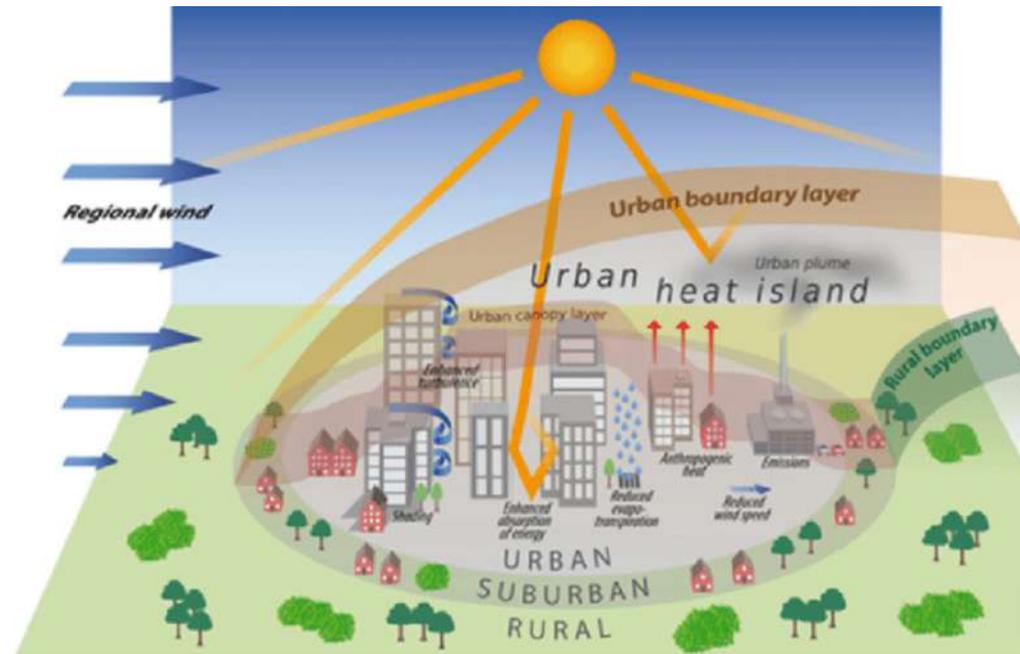
Osservatorio Meteorologico Milano Duomo (OMD)



8 stazioni in città, 20 totali nell'area milanese

# Superfici urbane e loro effetti sul clima locale

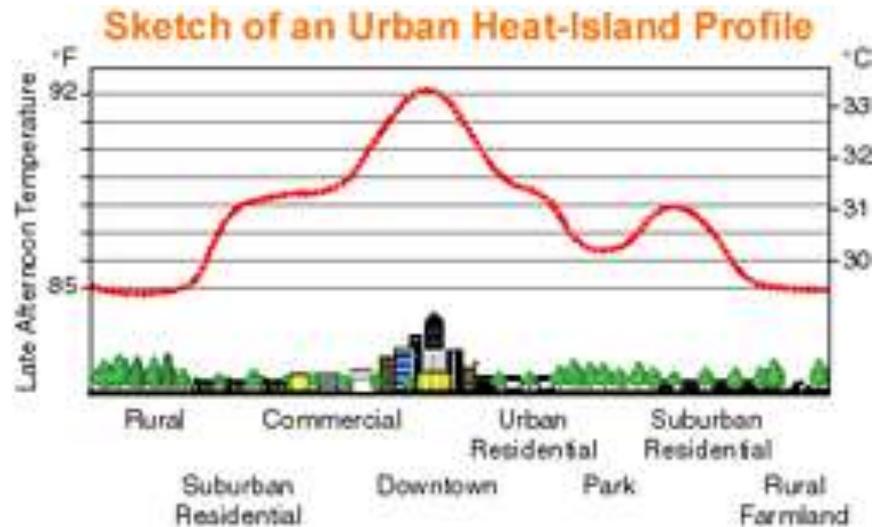
- Albedo (frazione di radiazione riflessa)
- Apertura del cielo  
(Sky View Factor: SVF)
- Uso del suolo e edifici (H/L)
- Permeabilità del suolo
- Sorgenti e pozzi di calore
- Aree verdi e acquiferi



# L'isola di calore urbana (UHI)

- E' il **principale fenomeno dell'atmosfera urbana**, già osservato da **L. Howard** nella città di Londra (**1810**)
- **A. Kratzer** nel volume *“Das Stadtklima”* (**1937**) introduce per primo il concetto di *“Städtische Wärmeinsel”*: Isola di calore cittadina
- Urban Heat Island (UHI): **T. R. Oke** (**1982**), The energetic basis of the urban heat island, Quarterly Journal of the RMS, 108 (455), 1-2

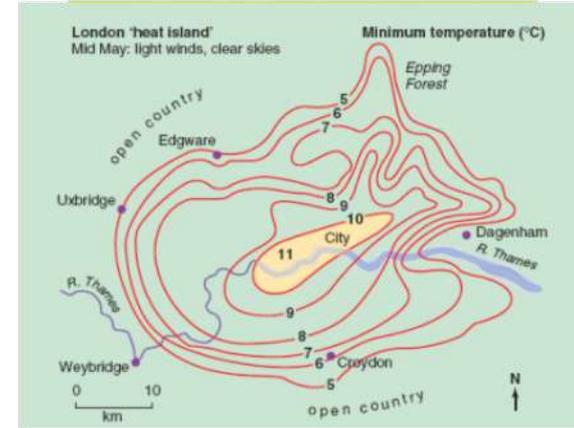
*Area urbana o metropolitana  
mediamente più calda delle  
aree rurali circostanti  
per cause antropogeniche*



# 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.

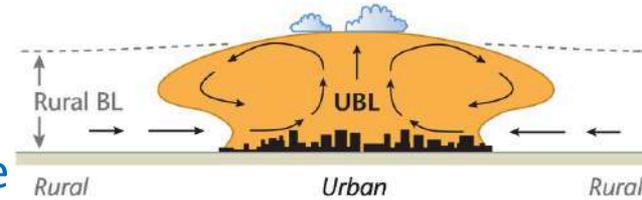


La **temperatura media annua** di una grande città ( $\sim 10^6$  abitanti) può essere di **1° ÷ 2°C mediamente** più elevata rispetto all'ambiente rurale circostante, mentre **in singole notti calme e serene** può raggiungere i **12°C** (in genere in funzione della popolazione residente e della sua densità).

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**.

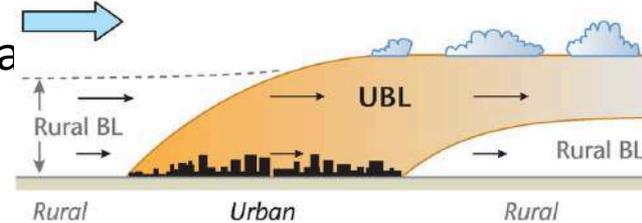
(a) Urban 'dome'

No ambient wind



(b) Urban 'plume'

Ambient wind



# Il fenomeno dell'Isola di Calore in termini quantitativi

- Indice UHI:  $I_{UH} \equiv \Delta T = T_{urb} - T_{rur}$
- Zona climatica locale (LCZ) : Iain D. Stewart, T. R. Oke, E. Scott Krayenhoff (2013)

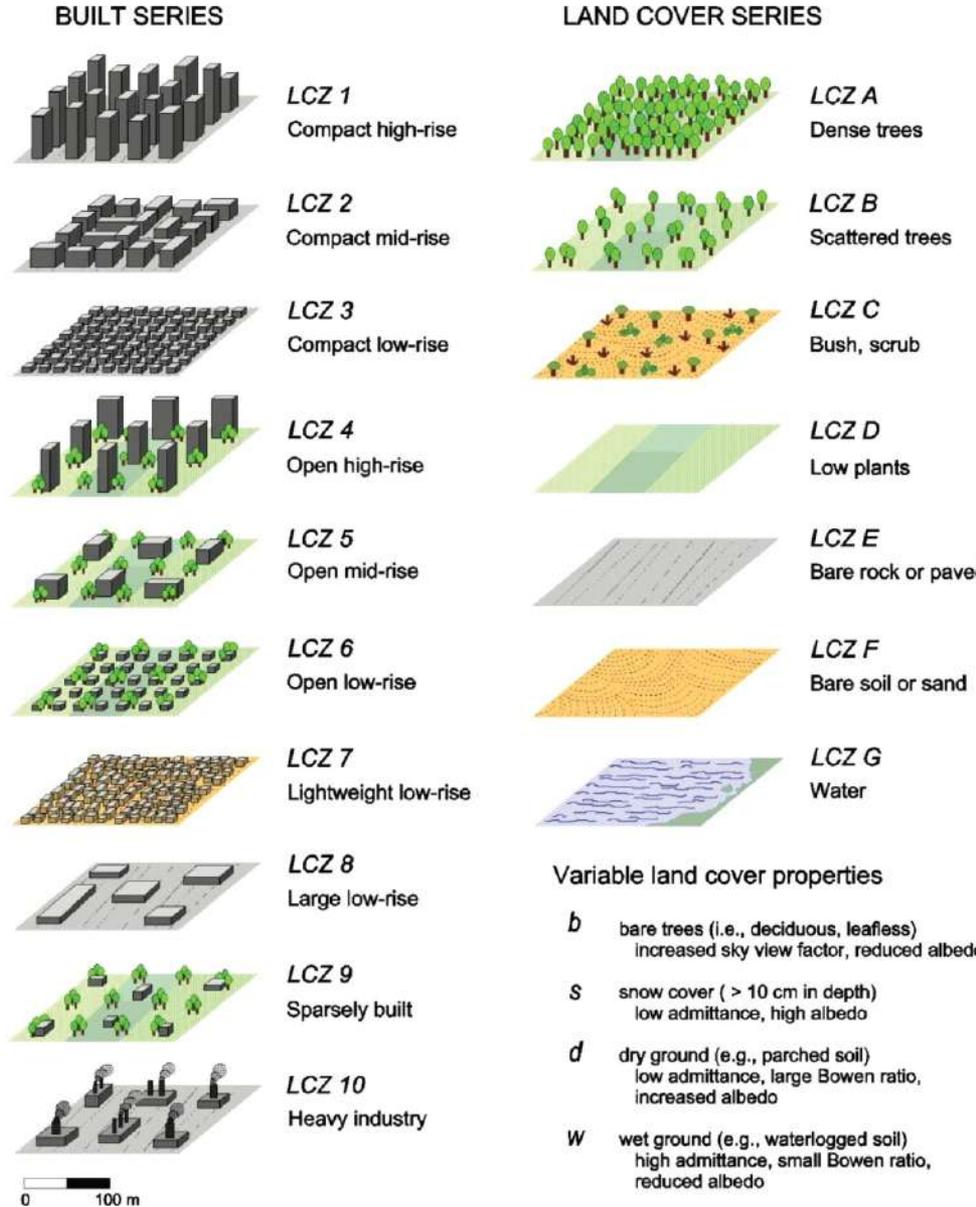


# Classificazione delle superfici urbane

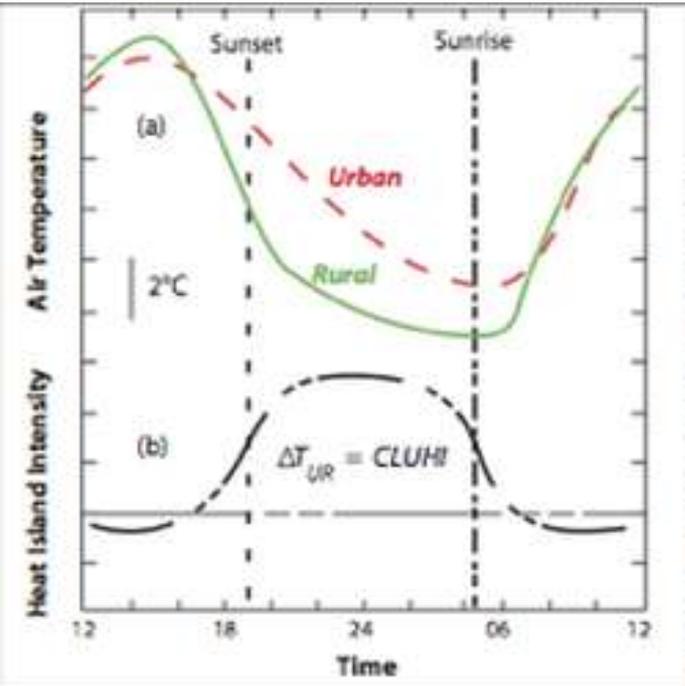
## Local Climate Zone (LCZ):

Classificazione morfologica di tipo climatico riconducibile a parametri oggettivi e misurabili (Albedo, SVF, H/L, ecc.)

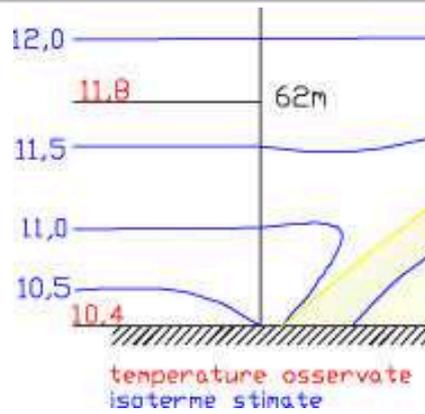
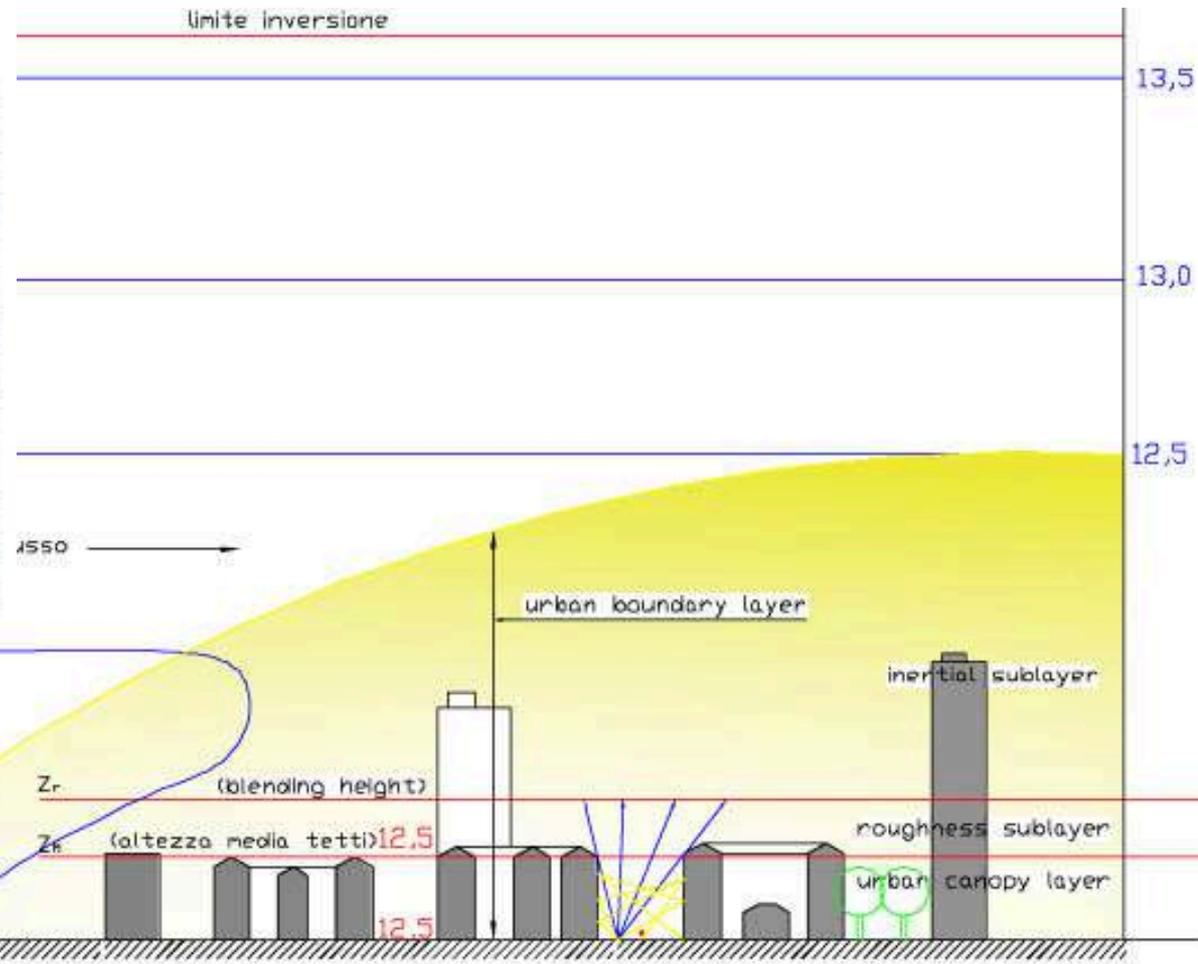
[Stewart, I.D. and Oke, T.R. 2012. Local Climate Zones for urban temperature studies. Bulletin of the American Meteorological Society, 93: 1879-1900.](#)



# Caratteristiche dell'Isola di calore



Modified from Oke, 1982, and Rurnalls and Oke, 2000



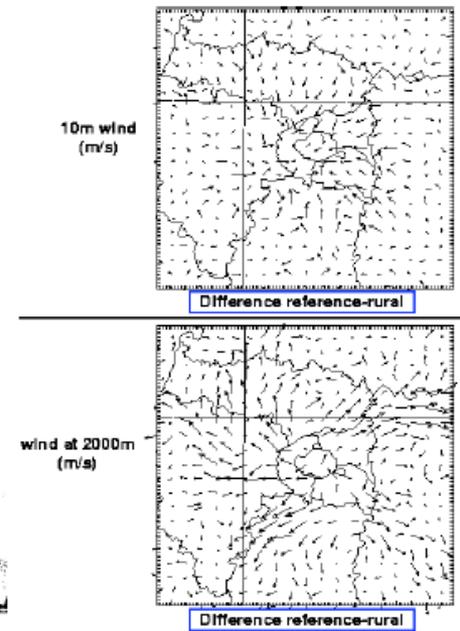
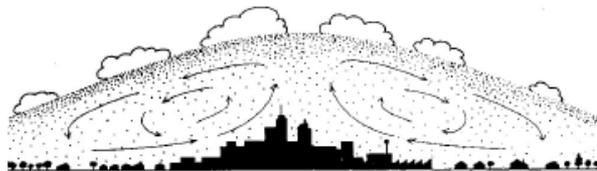
Grillini- CML, 2008

# Fenomeni associati all'isola di calore

- **Temperatura**
  - I profili verticali nei bassi strati vengono modificati alterando le condizioni di stabilità/instabilità
- **Umidità relativa**
  - Ridotta a causa della temperature più elevata
- **Vento**
  - Variazioni d'intensità (attrito) e variabilità (turbolenza)
  - Circolazioni cicloniche indotte nei venti in superficie
- **Precipitazioni**
  - Possibile intensificazione di quelle convettive
  - Diminuzione (?) di quelle non convettive

## circolazioni indotte

- isola di calore intensifica moti turbolenti convettivi sopra le aree urbane
- mediamente aumenta la velocità verticale
- convergenza nei bassi strati (richiama aria dalla periferia verso il centro)
- divergenza al top del PBL

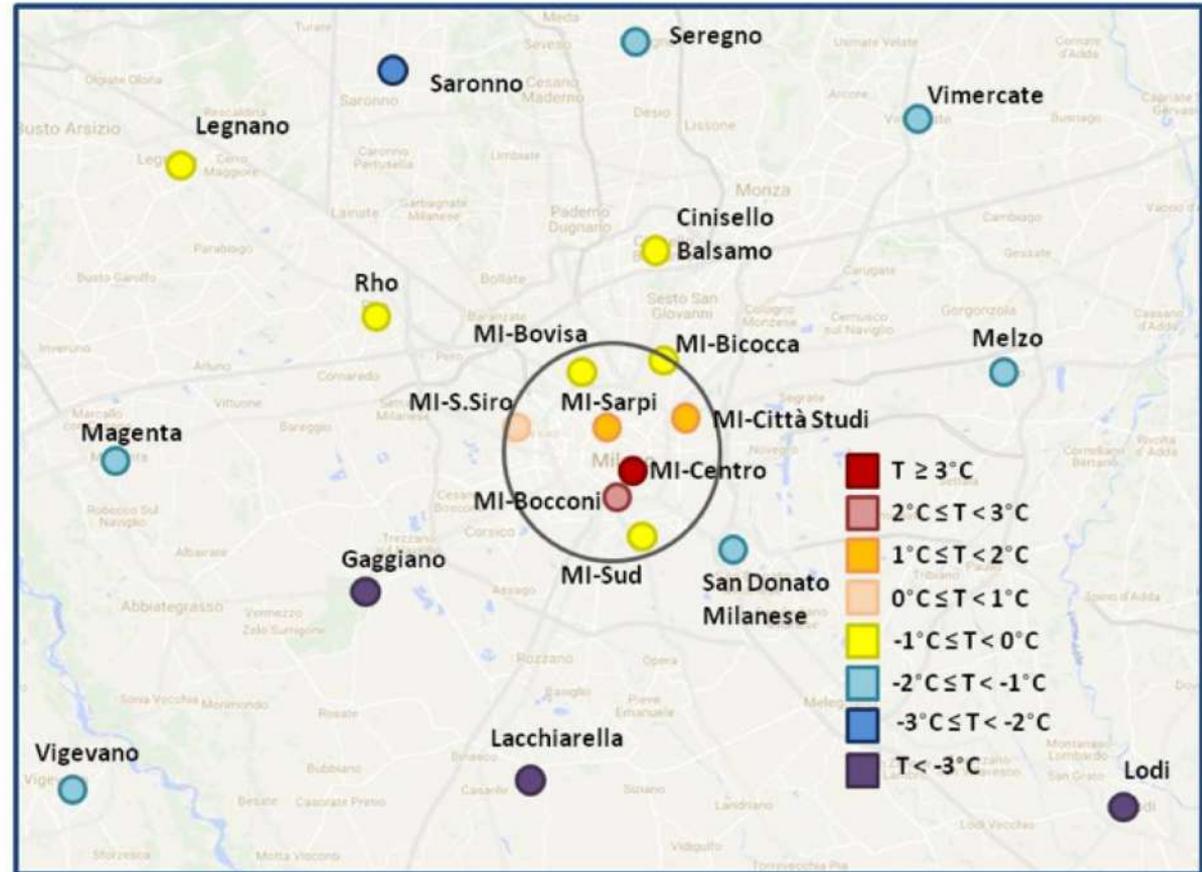


# Esempio dell'Isola di calore a Milano

Stazioni della rete di Fond. OMD Climate Network<sup>®</sup> nell'area metropolitana di Milano:

**Indice UHI** il 1° Gennaio 2017 alle ore 05:00 AM

Il fenomeno della UHI è ben evidenziato dalla stazione di Milano Centro e da quelle immediatamente circostanti

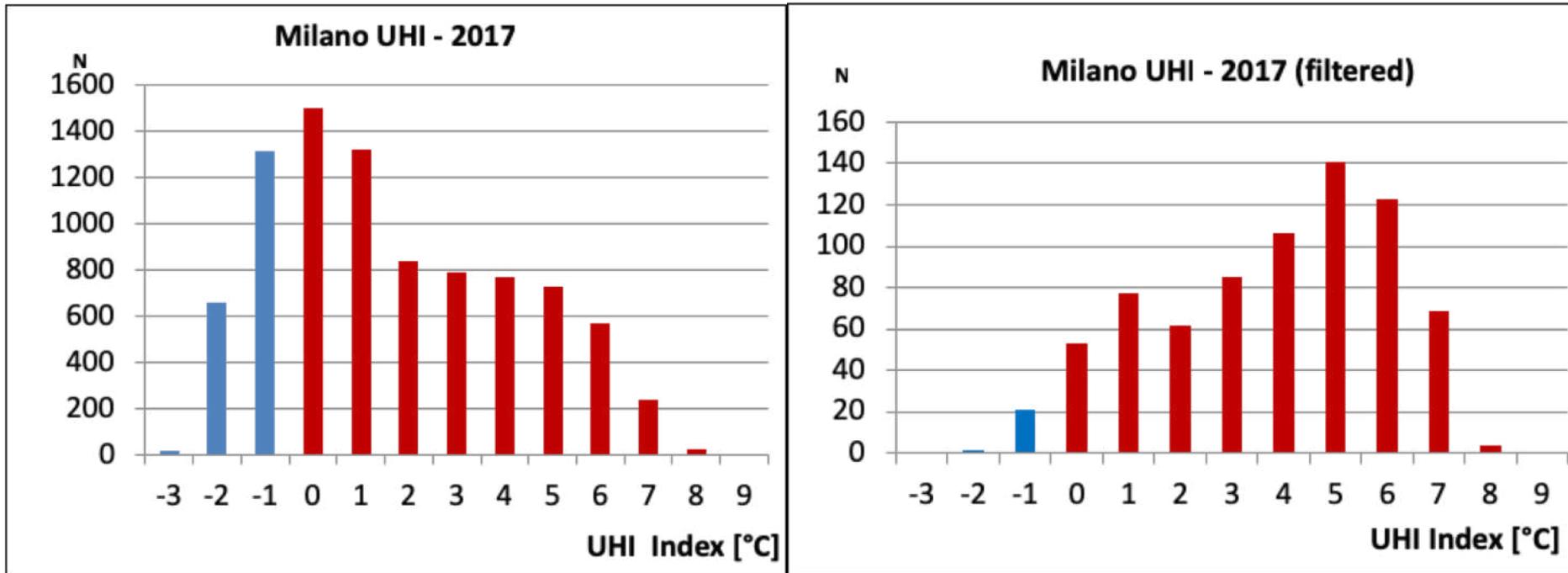


# Caratteristiche dell'isola di calore nella canopea urbana di Milano

- Si sviluppa solo in particolari condizioni meteorologiche :
  - Stabilità atmosferica
  - Cielo sereno o poco nuvoloso
  - Scarsa ventilazione
- Ha una stagionalità:
  - È più frequente ed intensa specialmente d'inverno
  - È meno frequente ed intensa d'estate (ma può sovrapporsi alle ondate di calore)
- Ha una tipica evoluzione giornaliera:
  - Si sviluppa principalmente la sera
  - Si riduce nelle ore pomeridiane
  - Può assumere valori negativi durante specialmente di giorno e in primavera e d'estate

# Climatologia della UHI a Milano

Statistica dell'indice UHI relativa al 2017 e alla stazione di Milano Centro (misure alla sommità dell'UCL, riferimento extra-urbano: media di 6 stazioni rurali selezionate di reti esterne, base oraria)

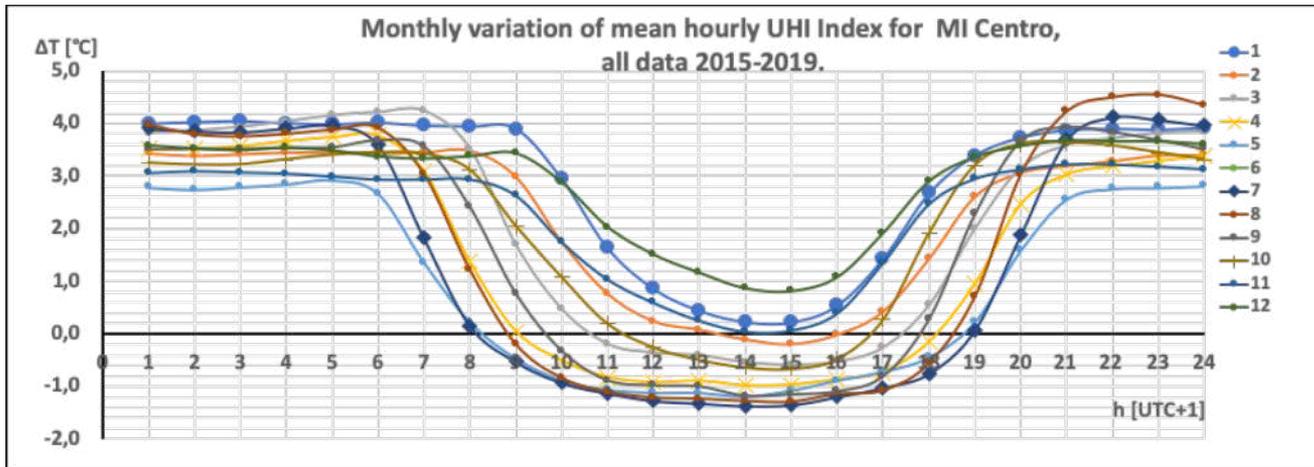
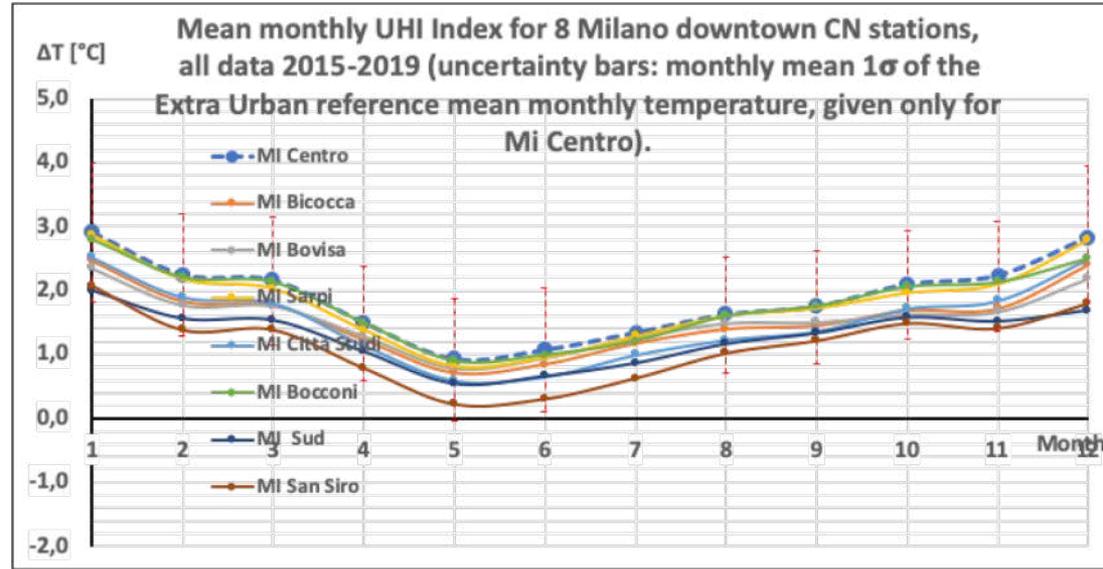


Tutte le misure (orarie)

Solo casi senza significativi effetti sinottici

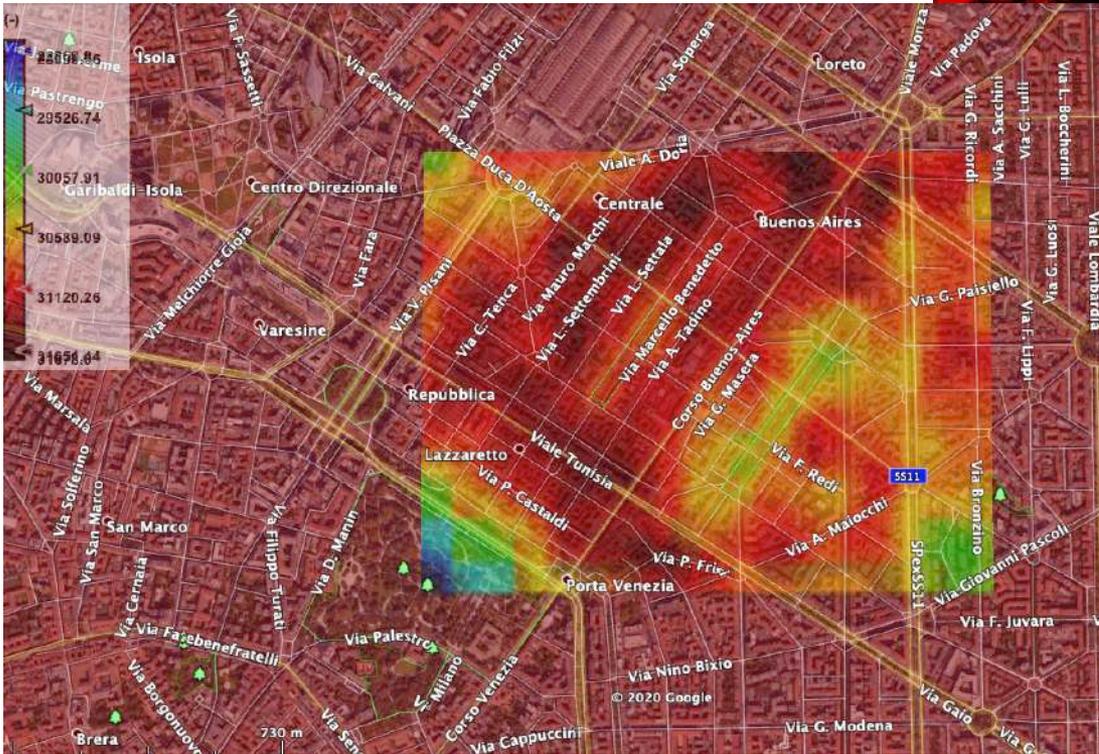
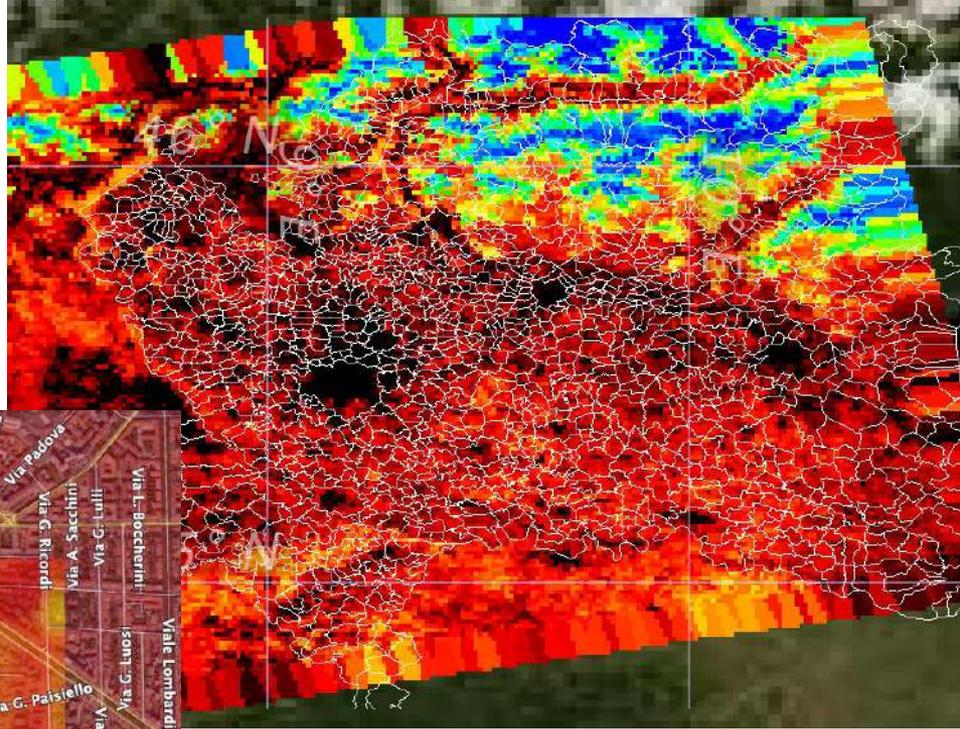
# Evoluzione diurna e stagionale a Milano dell'indice UHI

Medie mensili delle 8 stazioni



Variazioni giornaliere di Milano Centro in funzione del mese

# Misure da satellite: l'isola di calore superficiale

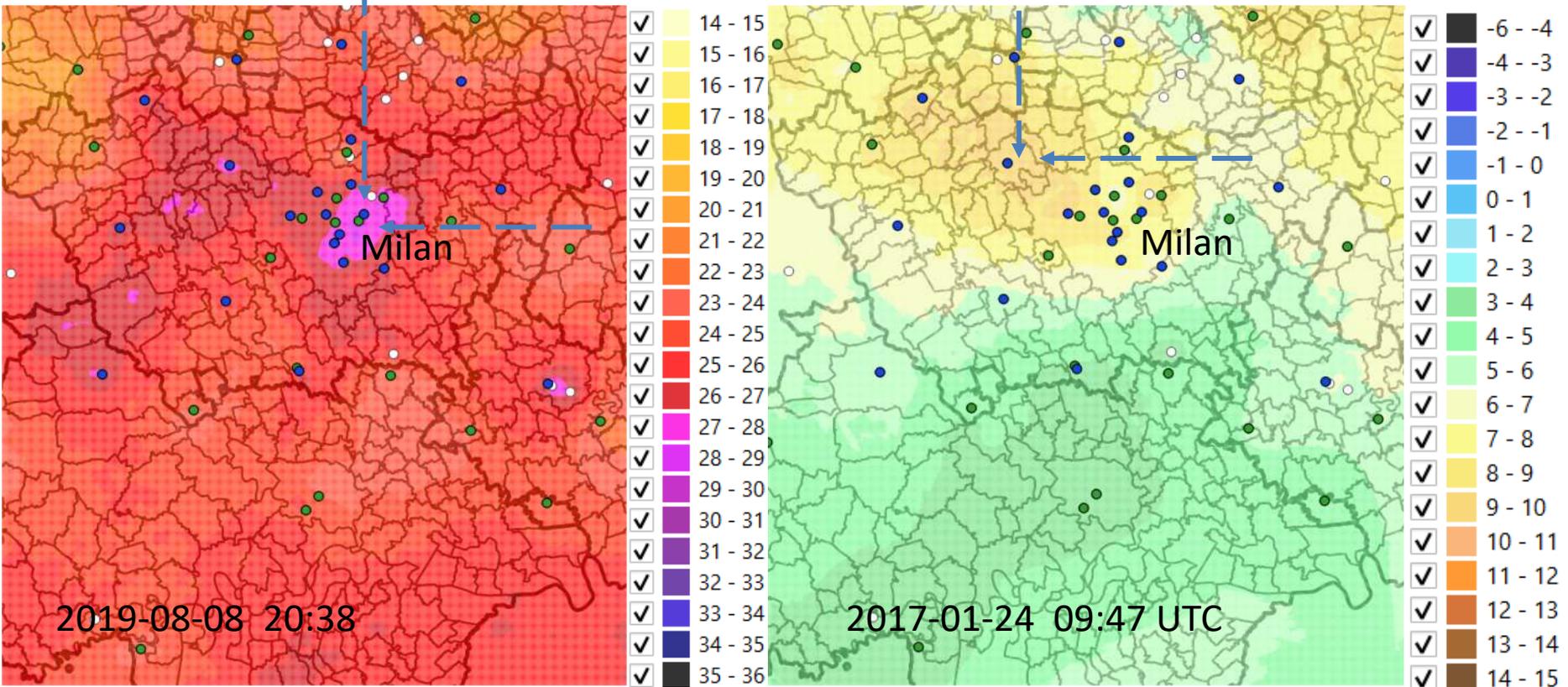


Sentinel 3 (LST, risoluzione 1 km):  
Milano e dintorni (confini comunali)  
2018-04-21 19:36 UTC

I satelliti permettono un'alta  
risoluzione spaziale ma  
limitatamente a situazioni di  
cielo sereno!

Landsat 8 – Band 10 (risoluzione 100 m),  
Milano Corso Buenos Aires area, 2019-07-30 10:10 UTC

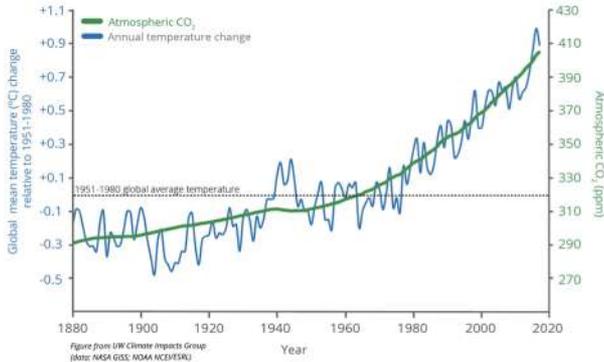
# Il clima di Milano: mappe termiche



UHI di Milano: invernale serale ed estiva mattutina

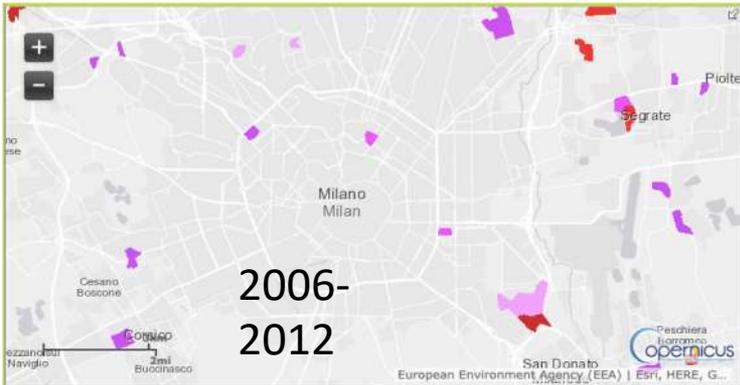
Da queste singole mappe, ottenute nel quadro di **ClimaMi** integrando dati di misura nella canopea e dati satellitari, è possibile ricostruire una **climatologia termica cittadina ad alta risoluzione spaziale (100 m)**.

# L'evoluzione del clima urbano



Dipende dalla sovrapposizione di **due effetti**:

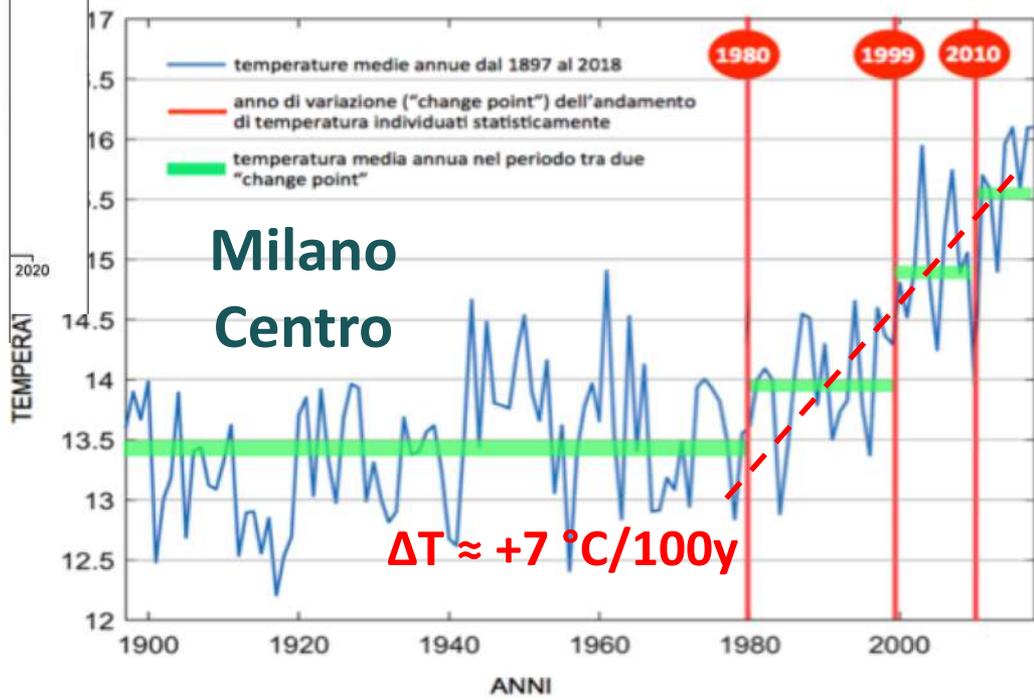
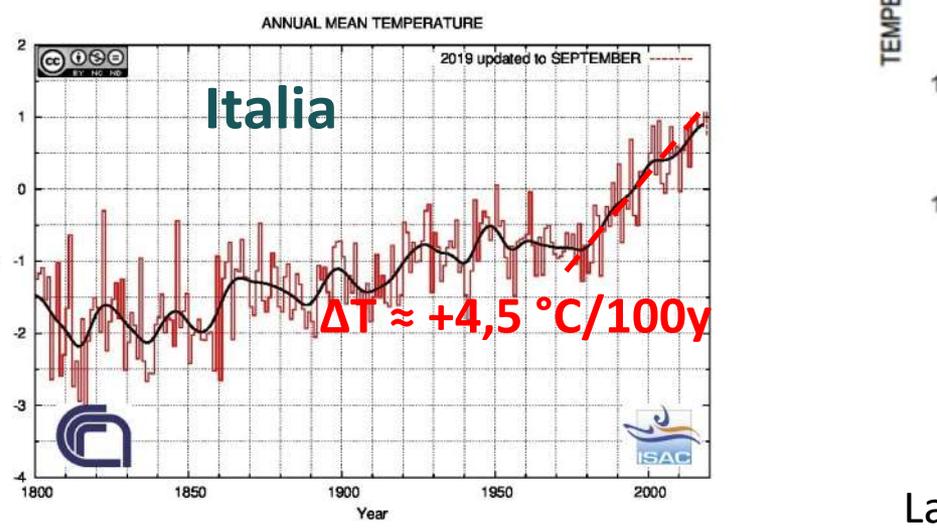
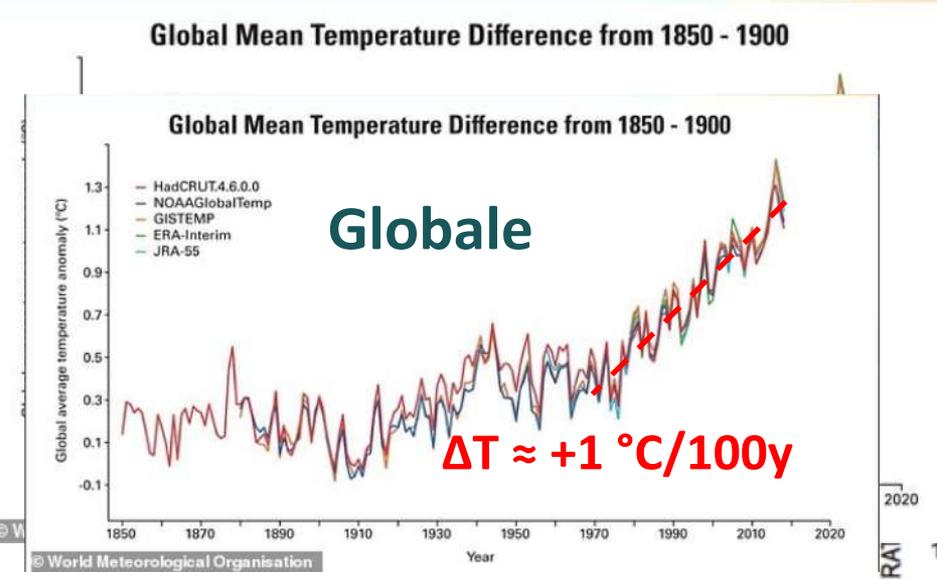
- Il clima regionale (che **varia lentamente** in funzione del cambiamento climatico in corso: effetti regionali del “global warming”)
- I cambiamenti urbanistici (che **variano più rapidamente** in funzione delle scale spaziali e temporali loro caratteristiche)



**Distinguere** le due componenti è **possibile solo** attraverso stime delle relative caratteristiche.

# Cambiamenti climatici a scala urbana

Nelle città il clima può cambiare  
**molto più velocemente**  
 che su aree più vaste

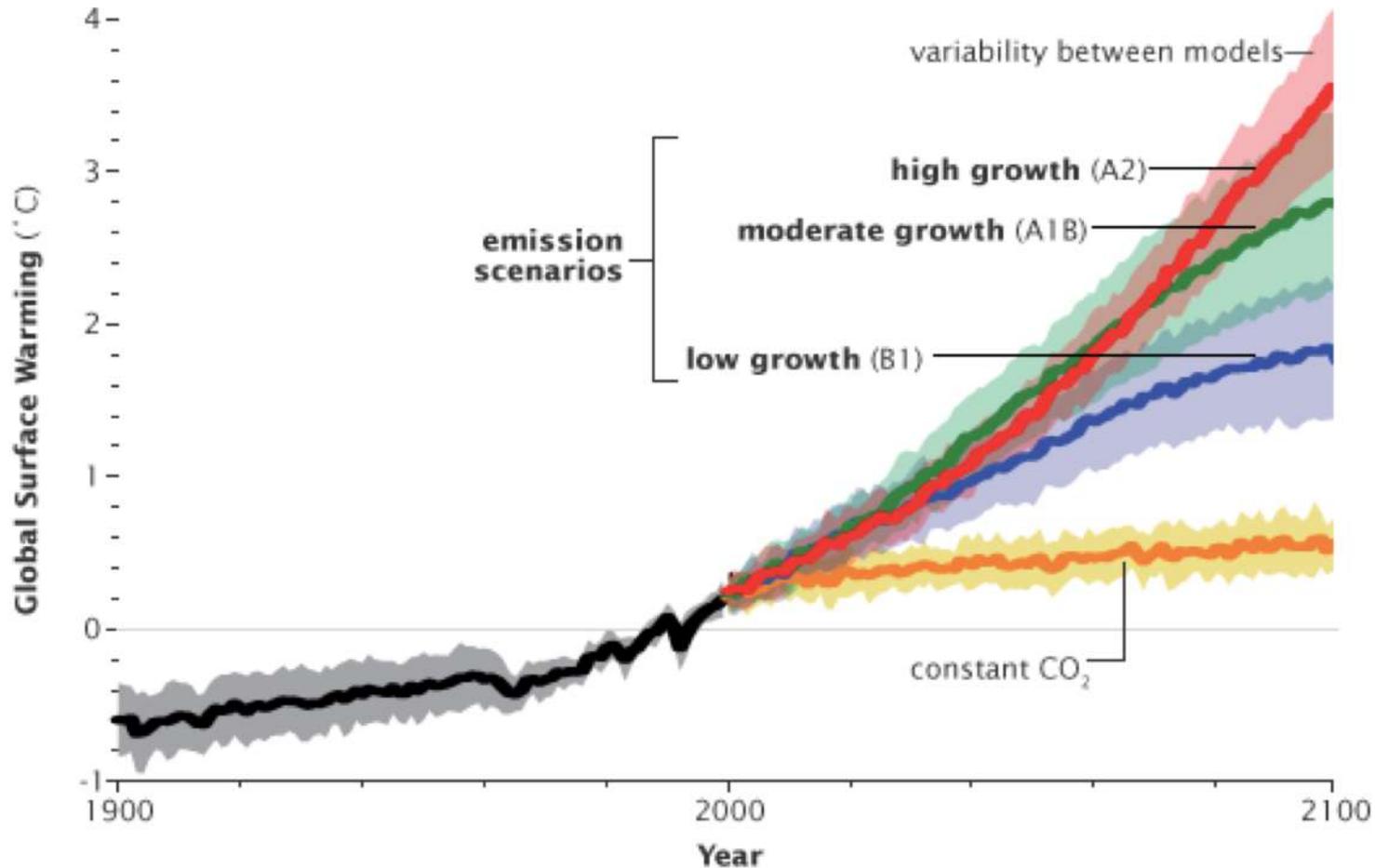


La temperatura media a Brera dal 1763 a oggi

# Scenari previsti (IPCC)

Cambiamenti climatici di lungo, medio e breve termine:

- globali
- regionali
- locali
- urbani



# IPCC Land – Report 2019

- Both **global warming and urbanisation** can **enhance warming in cities** and their surroundings (**heat island effect**), especially during heat related events, including heat waves (**high confidence**).
- **Night-time temperatures** are more affected by this effect than daytime temperatures (**high confidence**).
- **Increased urbanisation** can also intensify extreme rainfall events over the city or **downwind of urban areas** (medium confidence).

# Conclusioni

- Clima e clima urbano
- Climatologia dell'isola di calore
- Importanza delle misure e dei metadati
- Uso consapevole dei dati climatici
- Evoluzione del clima urbano recente e futuro

*Grazie per l'attenzione!*

<https://www.progettoclimami.it/>

<https://www.fondazioneomd.it/>

*Domande?*

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

# Modello concettuale dell'atmosfera urbana

