

Milano, conoscenze e pratiche per l'adattamento climatico

Relatore:
Giuseppe Frustaci



FONDAZIONE
Osservatorio Meteorologico
Milano Duomo

CORSO DI AGGIORNAMENTO
PROFESSIONALE

**Meteorologia e
Climatologia:
principi generali
e fenomeni specifici
delle aree urbane**

Evento in modalità Webinar e in aula- via San Maurilio 21, Milano

Meteorologia e Climatologia: principi generali e fenomeni specifici delle aree urbane

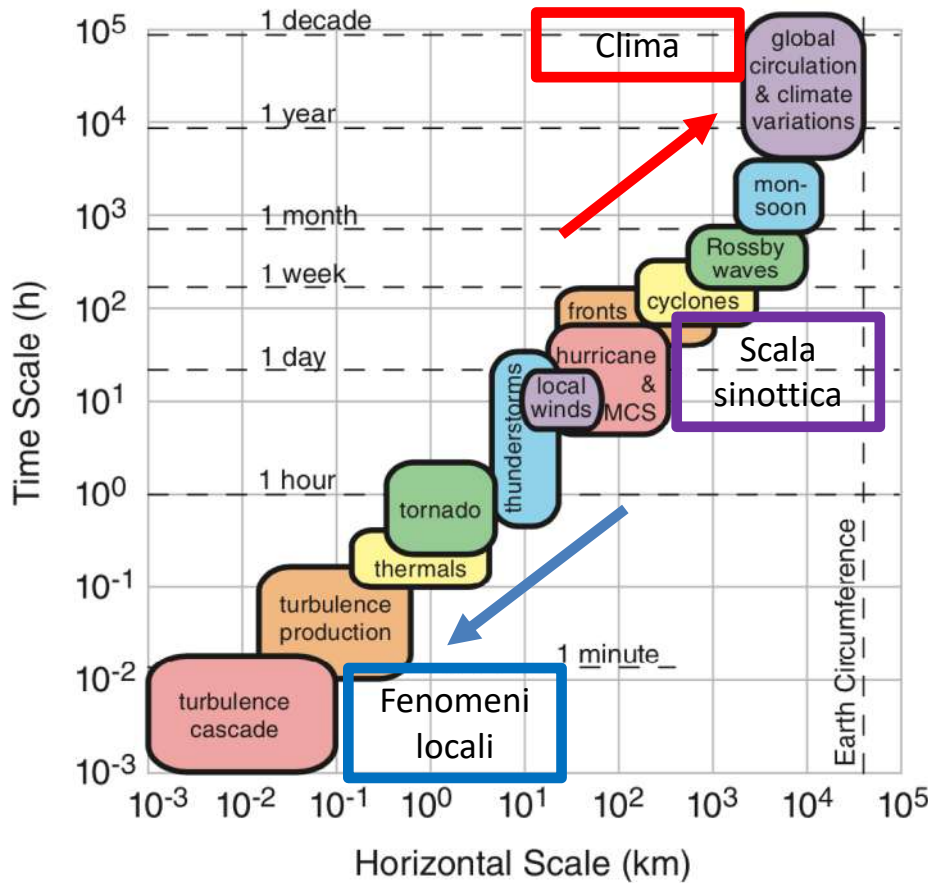
Scopo: fornire gli elementi di base una corretta interpretazione dell'informazione meteorologica da parte di utenti qualificati finali

(esigenza che nasce dall'esperienza multidisciplinare maturata in ClimaMi 2019)

Argomenti:

- Concetti e definizioni di base
- Il clima in genere ed il clima urbano in particolare
- Il cambiamento climatico globale e quello in ambito urbano

propedeutici alla successiva presentazione applicativa del Progetto (C. Lavecchia)



Le scale spatio-temporali dei fenomeni atmosferici

- Le scale maggiori controllano quelle inferiori
- La scala principale dei fenomeni meteorologici è detta scala sinottica ($10^2 \div 10^4$ km)
- I fenomeni locali sono (in genere) di maggior interesse per le attività umane



Comune di
Milano



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



ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI MILANO

Meteorologia e

Tempo (weather):

Stato istantaneo locale dell'atmosfera, descritto in termini fisici da variabili quali pressione, temperatura, umidità, velocità e direzione del vento, radiazione, precipitazione.

Ha una **dinamica giornaliera o di medio-breve periodo**



La **meteorologia** studia, monitora e prevede il tempo.
L'osservazione e la previsione del tempo rientrano nelle
attività della **meteorologia operativa**.

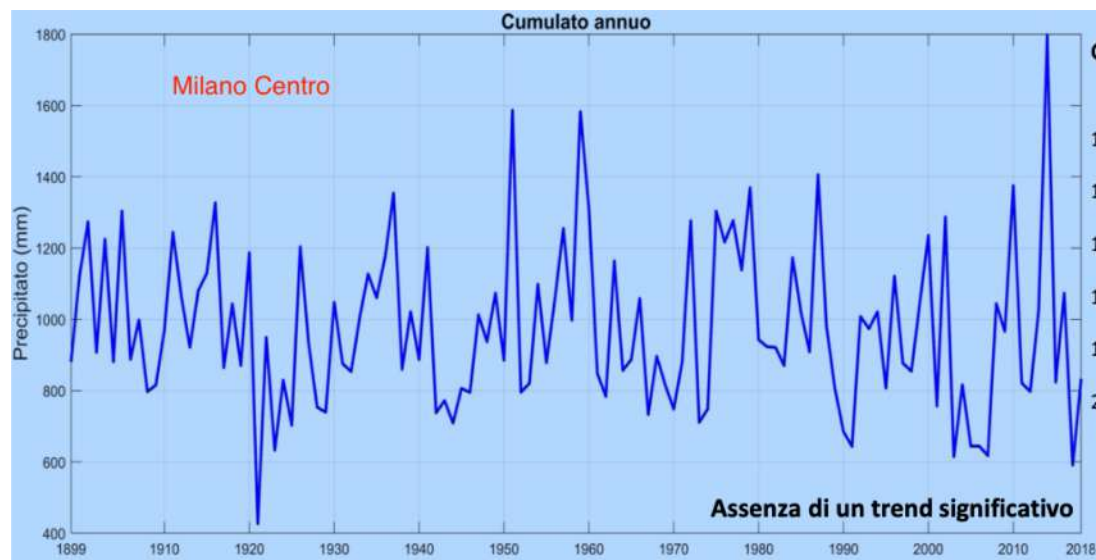
Evento in modalità Webinar e in aula- via San Maurilio 21, Milano

- **Clima** (climate):

Condizioni medie del tempo locale o regionale, rispetto ad uno specifico intervallo temporale molto più lungo di quello del tempo meteorologico, data **l'elevata variabilità** di quest'ultimo.

Ha una **variabilità temporale molto più lenta**, che deve essere valutata insieme ai fattori che la governano.

..... climatologia



La **climatologia** studia le serie storiche delle osservazioni del tempo, monitorando ed interpretando i cambiamenti del clima nel corso del tempo

Osservazioni e

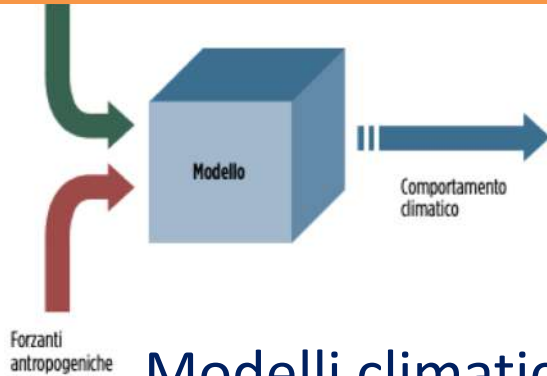
Osservazioni (misure)

Insieme delle operazioni di misura per determinare lo stato fisico atmosferico

- in superficie o in quota (stazioni a terra o radiosondaggi)
- “in situ”, da postazione fisse o mobili
- telerilevamento, da terra o dallo spazio (radar, satelliti)



Forzanti naturali



Modelli climatici e «downscaling»

Modelli climatici:

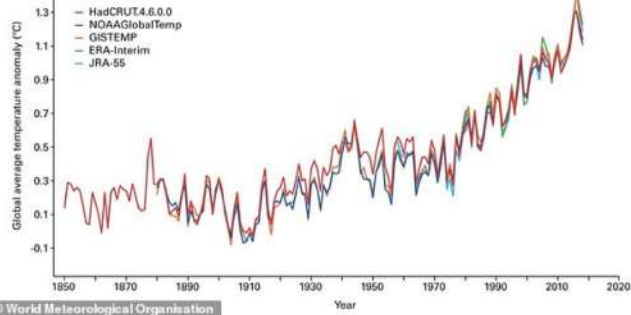
- estensioni di quelli meteorologici globali
- producono una previsione mediata nel tempo
- bassa risoluzione a causa della loro complessità ed incertezza

Metodi di Downscaling:

- per informazioni a più alta risoluzione spaziale
- statistici o dinamici (regionali)

CORDEX: dal 2009 valutazione delle performance dei diversi modelli di downscaling climatico

Global Mean Temperature Difference from 1850 - 1900



Tornando alle osservazioni.....
.... lunghe serie di misure meteorologiche a causa della elevata variabilità interannuale

Per la definizione del clima si fa riferimento a medie trentennali (WMO, CLINO):

1961-1990

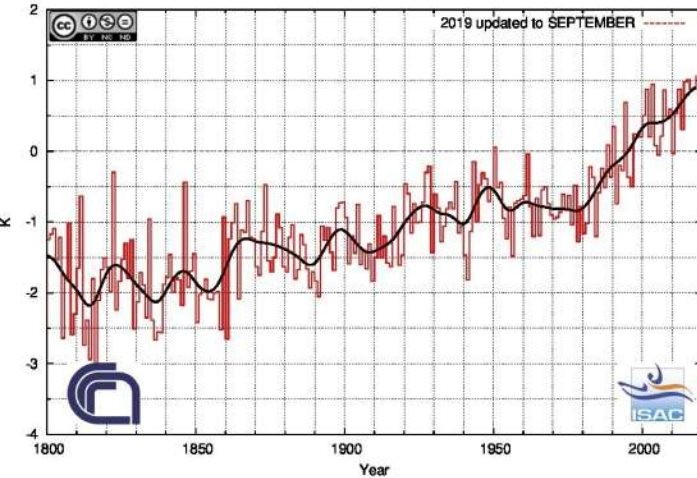
1971-2000

1981-2010

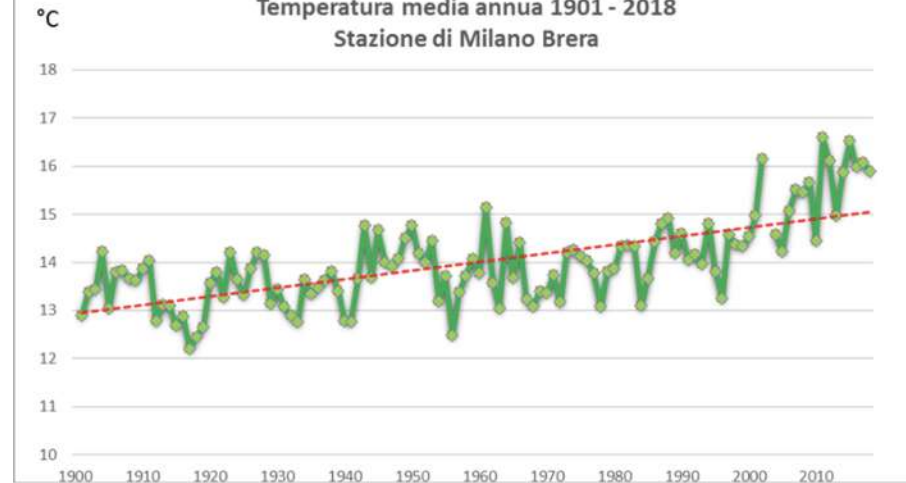
1991-2020

.....

ANNUAL MEAN TEMPERATURE



Temperatura media annua 1901 - 2018
Stazione di Milano Brera



Requisiti per le osservazioni delle ECVs

WMO: Organizzazione Meteorologica Mondiale

–Metodi e procedure (CIMO Guide Nr. 8-Ed. 2018)

ECVs: Essential Climatic Variables (in superficie)

–Temperatura	[°C]
–Umidità	[%]
–Pressione	[hPa]
–Vento (direzione e velocità)	[deg, m/s]
–Precipitazione	[mm]
–Radiazione	[Wm ⁻²]

Precisione: 10⁻¹ °C, hPa, m/s, mm; 1 Wm⁻²

Accuratezza: manutenzione e taratura strumenti, **metadata** e aggiornamenti

NB: stima delle *incertezze*: $M = M_0 \pm u$ e *omogeneità* nello spazio e nel tempo



Comune di
Milano



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



ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI MILANO

Classificazione delle stazioni meteorologiche

Scopi delle misure in superficie anche molto **differenziati in funzione dell'uso** finale

Diverse tipologie di installazione

Diversa rappresentatività spaziale

Necessità di una classificazione

L'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO: agenzia dell'ONU)
prevede una classificazione basata principalmente sulle esigenze della
meteorologia alla scala sinottica

Evento in modalità Webinar e in aula- via San Maurilio 21, Milano

Rappresentatività meteorologica

Dalla CIMO Guide (WMO Nr. 8, ed 2018):

La rappresentatività di un'osservazione è il grado di accuratezza con cui descrive il valore di una variabile per uno scopo prefissato.

Scala (meso-)sinottica: 10 ÷ 100 km

Microscala: 10 ÷ 100 m

Nell'uso dei dati di una rete esistente:

- Ottenibile da un'analisi statistica delle misure disponibili e valutabile per i fini previsti
- Basata sulla variabilità spaziale e temporale del fenomeno d'interesse
- Stimabile con metodi analitici come l'Optimum Interpolation (OI) e la Data Assimilation (DA)



Comune di
Milano



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



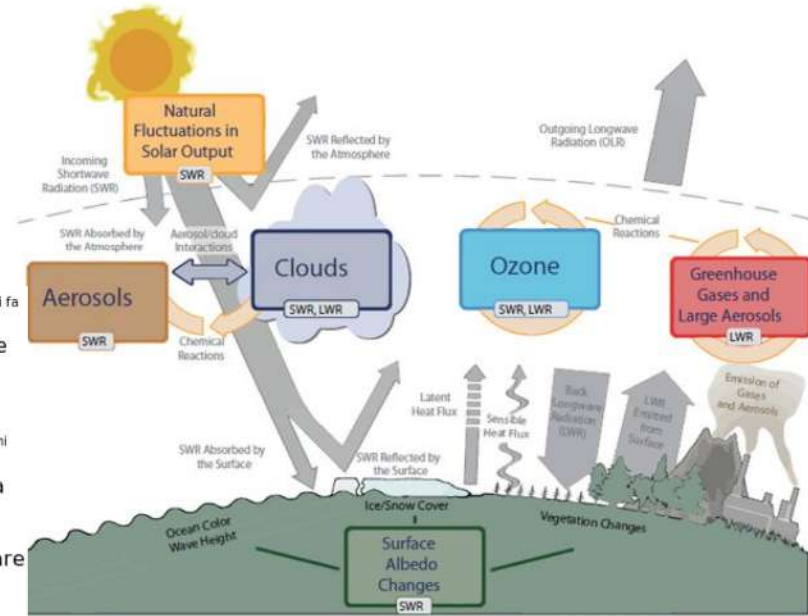
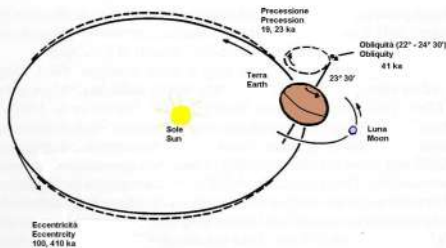
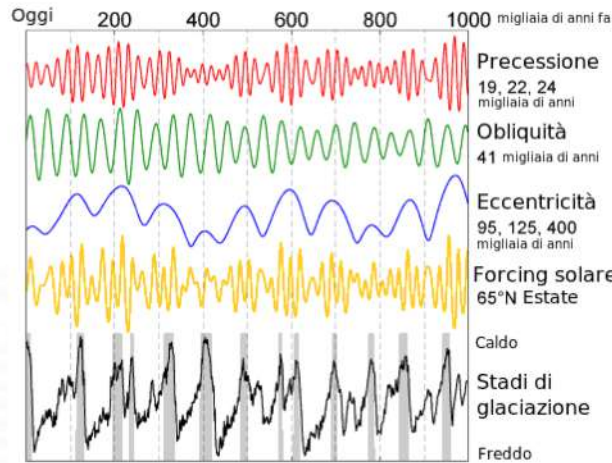
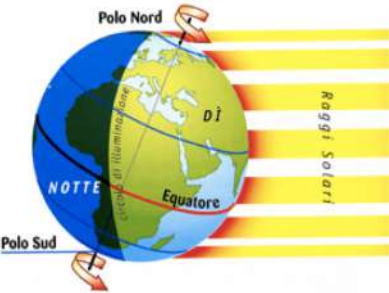
ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI MILANO

Clima del pianeta Terra

$T_{media} = 15^{\circ}C$ temperatura media in superficie

Alternanza delle stagioni, zone
polari/equatoriali

Il Clima: scala planetaria



Evento in modalità Webinar e in aula- via San Maurilio 21, Milano





Comune di
Milano

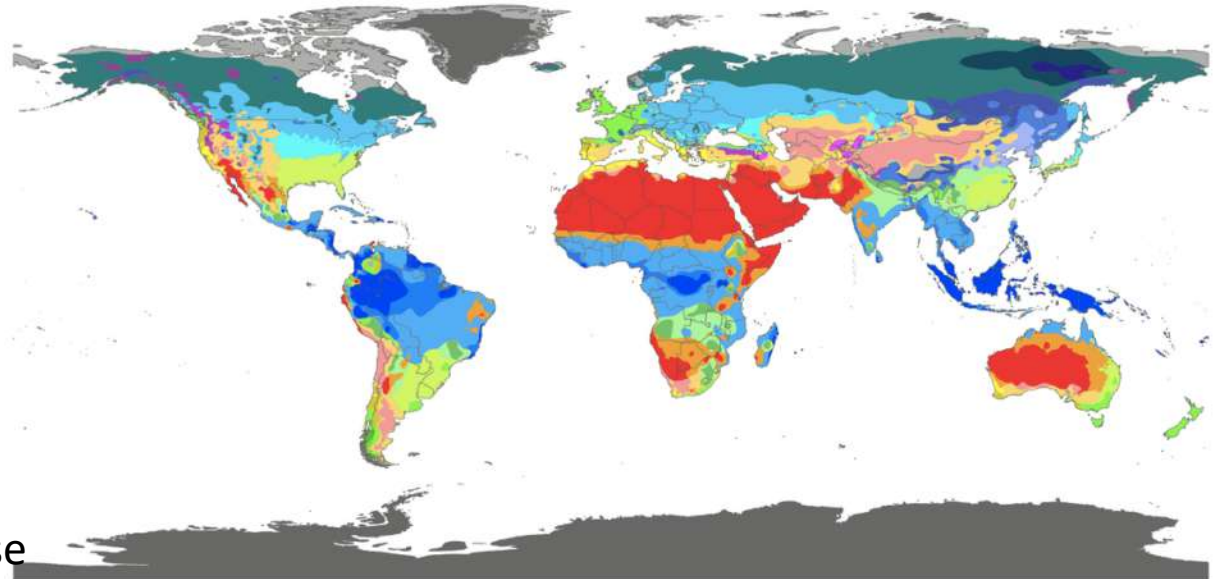


ORDINE DEGLI ARCHITETTI,
PIANIFICATORI, PAESAGGISTI E CONSERVATORI
DELLA PROVINCIA DI MILANO



ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI MILANO

Classificazione climatica mondiale secondo il sistema Köppen-Geiger



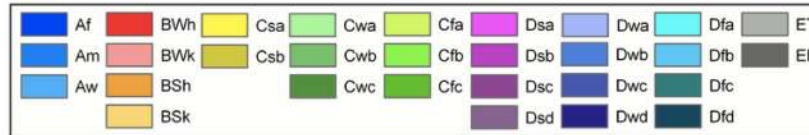
Climi della Terra: Köppen-Geiger

Il clima di **Milano** è classificato come “Cfa” nello schema di Köppen-Geiger (1936):

- Temperato-caldo piovoso
- Precipitazioni in tutti i mesi
- Temperatura media del mese più caldo superiore a 22 °C.



THE UNIVERSITY OF
MELBOURNE



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

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

Evento in modalità Webinar e in aula- via San Maurilio 21, Milano



PROGETTO
CLIMAMI



Comune di
Milano



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

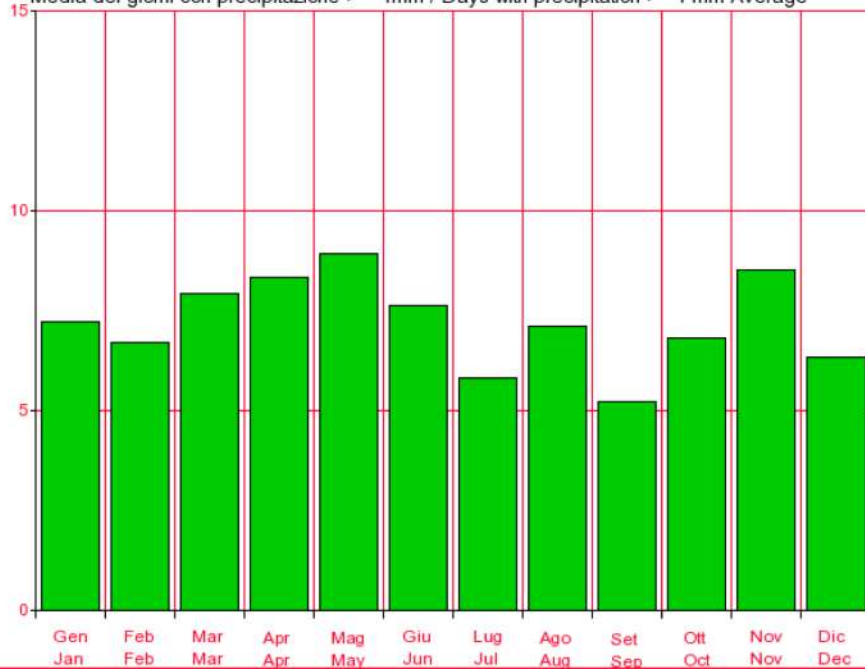


ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI MILANO

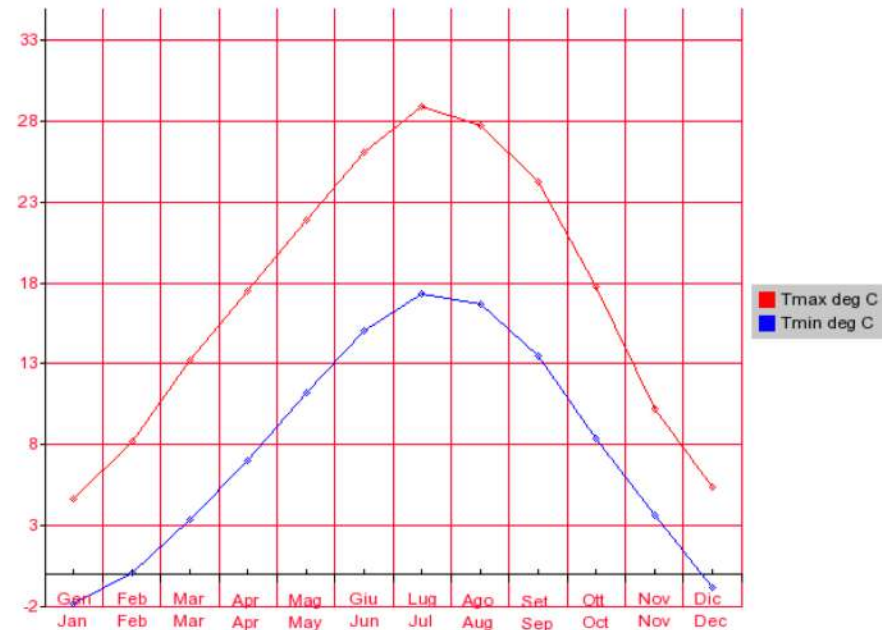
Il clima di Milano

Prima approssimazione: stazione sinottica di Linate, Climate Normal 1961-90 (CLINO)

GRAFICO CLINO stazione / GRAPHICAL CLINO station Milano Linate
Media dei giorni con precipitazione ≥ 1 mm / Days with precipitation ≥ 1 mm Average



CLINO Milano Linate 1961-1990 mean temperature range



Evento in modalità Webinar e in aula- via San Maurilio 21, Milano



Comune di
Milano



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



ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI MILANO

Scala locale e microscala (*per esempio urbana*)

Clima di una area delimitata

in cui le variabili atmosferiche medie differiscono in modo caratteristico e significativo da quelli delle zone circostanti a causa di peculiarità geomorfologiche o fisiologiche.



Alcuni database meteo-climatici

Scala meso-sinottica

- WMO-OGIMET: <https://www.ogimet.com/home.phtml.en>
- WMO –OSCAR: <https://oscar.wmo.int/surface>
- 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)
- MM: rete di pluviometri
- Fond. OMD: rete urbana metropolitana (Climate Network®)
<https://www.fondazioneomd.it/>
<https://www.progettoclimami.it/>



Comune di
Milano



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



ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI MILANO

Misure urbane e misure extraurbane

I requisiti WMO – CIMO pongono tutte

le stazioni urbane in **classe 4 o 5**:

➤ **2 ÷ 5°C di incertezza aggiuntiva** sulle misure

Misure urbane

comunque necessarie per molti motivi.

Esistono in ogni caso criteri specifici per

posizionamento delle stazioni ed esposizione dei sensori

Oke, T.R.: Initial Guidance To Obtain Representative Meteorological Observations At Urban Sites, Wmo Instruments And Observing Methods Report No. 81, 2006



Evento in modalità Webinar e in aula- via San Maurilio 21, Milano

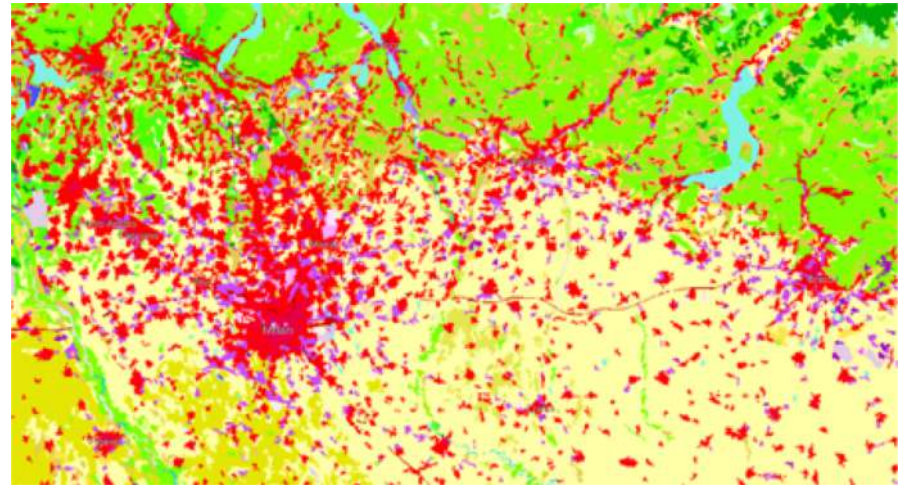
Land Use (Corine - EAA Urban Atlas)

Periodicamente aggiornato (CLC 1990, 2000, 2006, 2012, 2018)

Risoluzione spaziale: 100m

Classificazione gerarchica con 5 categorie principali:

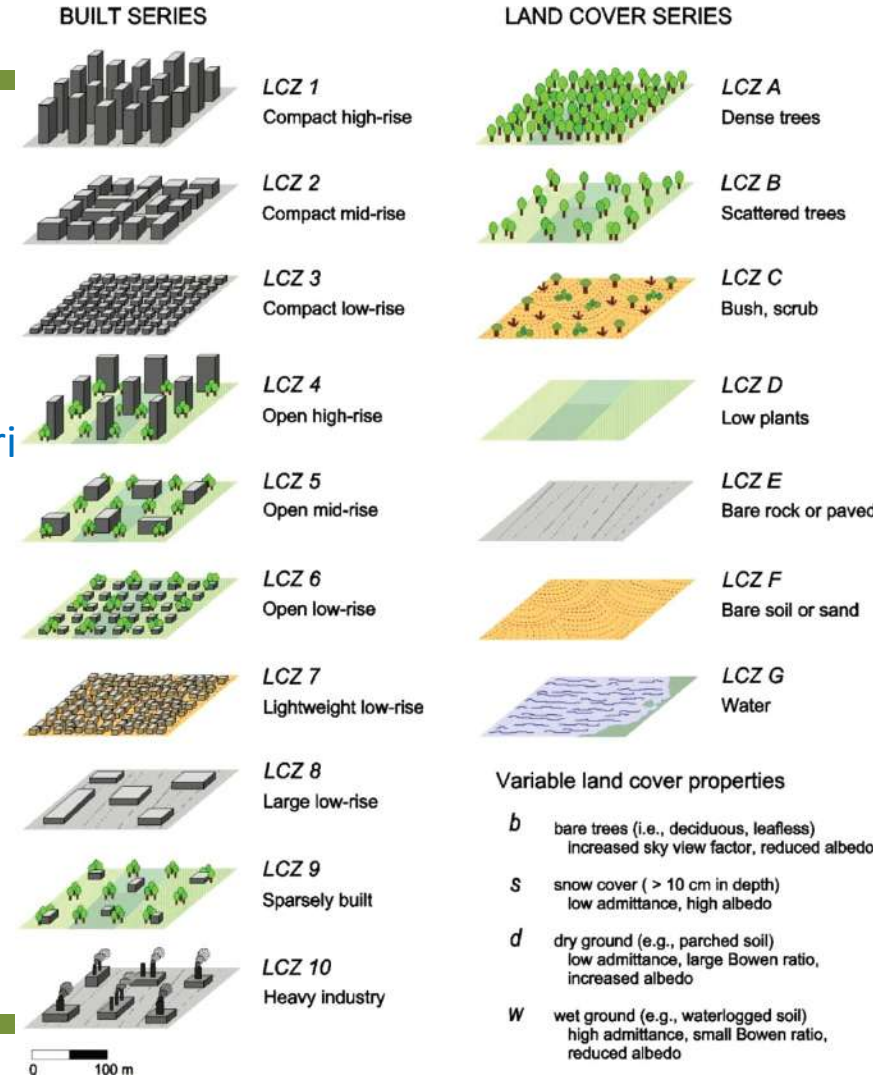
1. Superfici artificiali
2. Aree agricole
3. Foreste ed aree semi-naturali
4. Zone umide
5. Corpi d'acqua



Zone climatiche urbane (LCZ)

Descrivibile in termini di **Local Climate Zone (LCZ)**:
classificazione morfologica riconducibile a **parametri misurabili** (SVF, H/L, rugosità superficiale, ecc.)

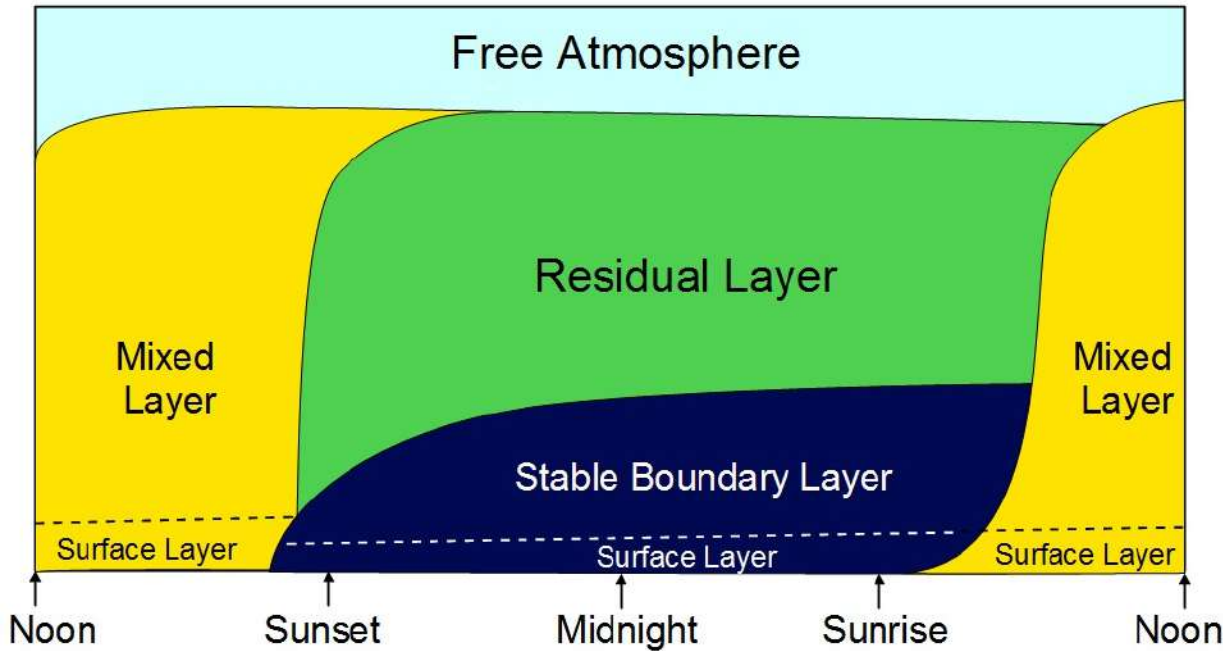
[Stewart, I.D. and Oke, T.R. 2012. Local Climate Zones for urban temperature studies. Bulletin of the American Meteorological Society, 93: 1879-1900.](#)



Evento in modalità Webinar e in aula- via San Maurilio 21, Milano



Struttura ed evoluzione giornaliera dello strato limite planetario (PBL)



Strato rimescolato: in genere presente e ben sviluppato di giorno, turbolenza e gradienti verticali deboli o nulli.

Strato stabile: si sviluppa dopo il tramonto, è stabile e non rimescolato.

Strato residuale: sovrasta lo strato stabile, è neutro e poco rimescolato.

Strato superficiale: $h_s \lesssim 10\%$ del PBL, presenta forti gradienti verticali e turbolenza.



Comune di
Milano



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

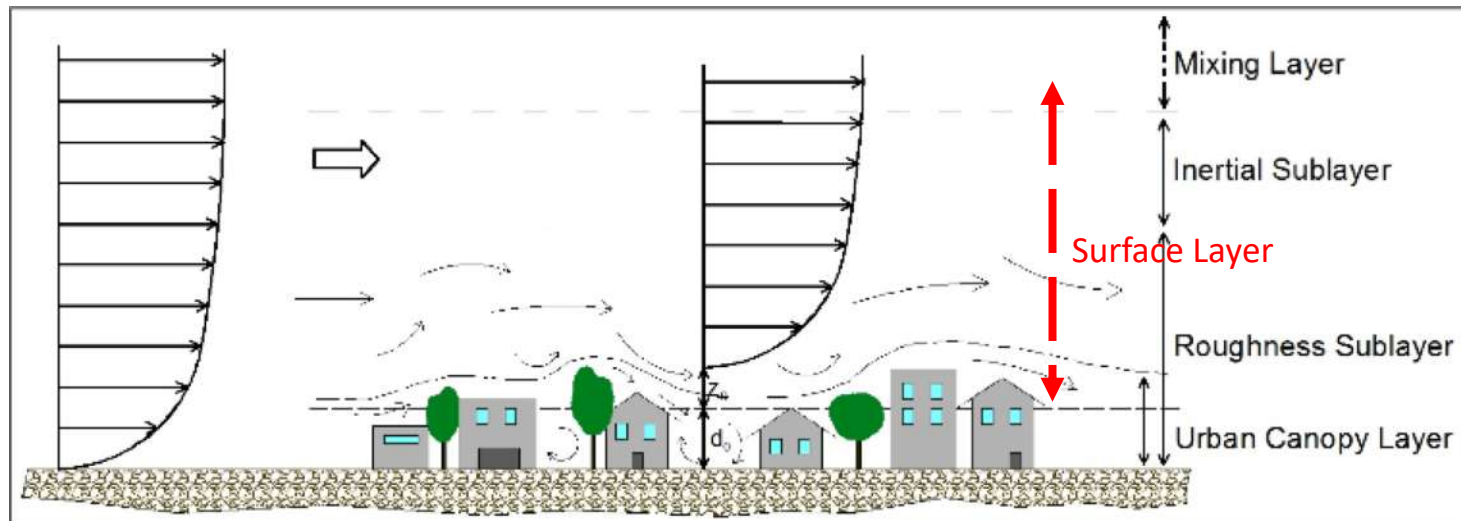


ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI MILANO

Dall'ambiente rurale all'ambiente urbano

L'aumento della "rugosità superficiale" crea nuove stratificazioni nella parte inferiore del PBL (Surface Layer):

Inertial -, Roughness -, Urban Canopy Sublayer



Evento in modalità Webinar e in aula- via San Maurilio 21, Milano



Lo strato limite in ambiente urbano (Urban Boundary Layer)

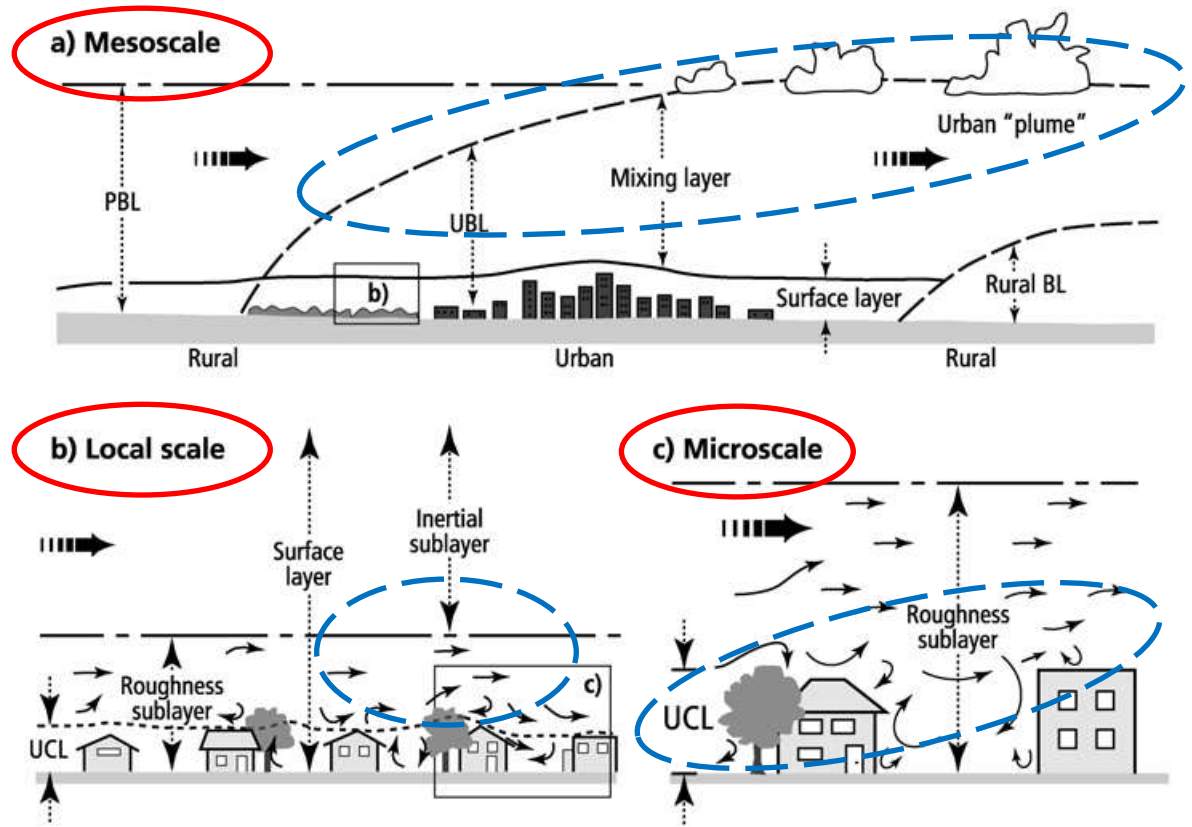
PBL

- ML
- SL

Rural BL

UBL

- ISL
- RSL
- UCL
- Urban Plume/Dome



Definizione e principali caratteristiche dell'isola di calore urbana

UHI: isoterme chiuse che individuano un'area superficiale urbanizzata relativamente più calda

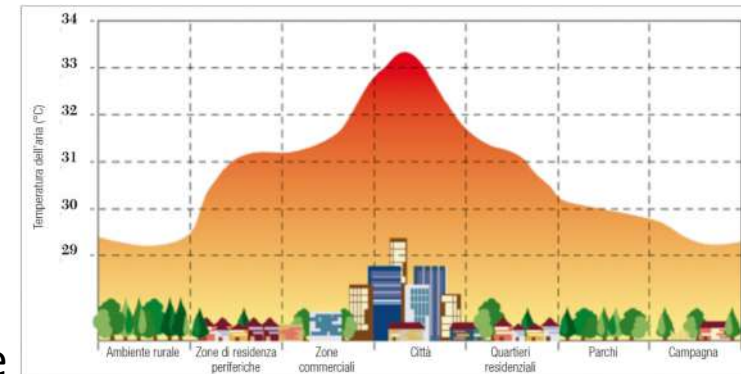
$$\text{Indice UHI: } I_{\text{UHI}} \equiv \Delta T = T_{\text{urb}} - T_{\text{rur}}$$

Problema: definire e misurare correttamente T_{urb} e T_{rur} !

L'indice UHI di una grande città ($\sim 10^6$ abitanti) può essere di $1^\circ \div 2^\circ\text{C}$ in una media annua, mentre in singole notti calme e serene può raggiungere i 12°C .

Il calore si propaga verticalmente fino a formare:

- una cupola (heat dome) in condizioni di calma,
- un pennacchio caldo (urban heat plume) sottovento in condizioni ventilate.





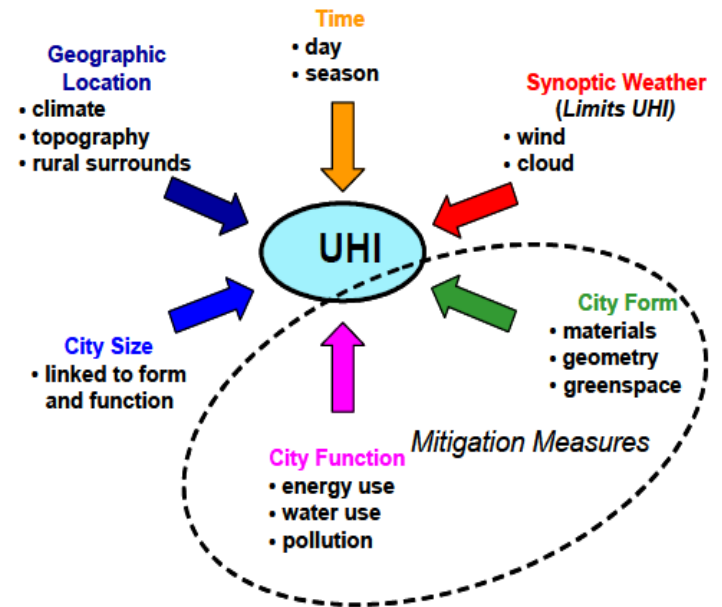
UHI e Local Climate Zones (LCZ)



Heat island magnitudes ($\Delta T_{LCZ X-D}$) for Vancouver during a nighttime traverse in calm, clear weather (2200 hours; 4 November 1999). [Iain D. Stewart, T. R. Oke, E. Scott Krayenhoff \(2013\)](#)

Cause dell'Isola di calore urbana

- **Differente raffreddamento** tra superfici urbane rurali.
- 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.



L'isola di calore urbana di superficie: S-UHI

Temperatura superficiale ottenuta da misure satellitari nei canali infrarossi (*skin temperature*).

Utile per valutazioni energetiche, meno per gli effetti ambientali e sul comfort delle persone.

Colaninno et al.: I dati satellitari per l'analisi del fenomeno isola di calore urbano e la valutazione di misure di mitigazione: il caso della Città di Milano, Special Issue - URBANISTICA INFORMAZIONI, 2018

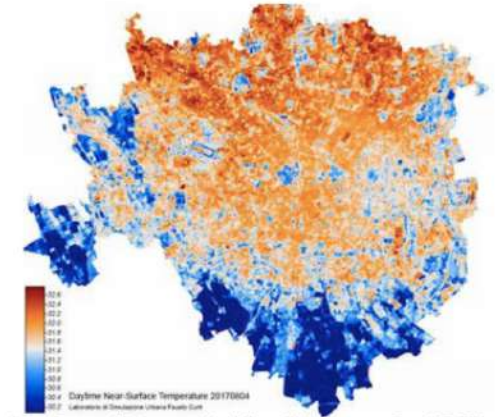


Figura 2 - Temperatura dell'aria a ca. 2 metri dal suolo alle 10:10 del giorno 04 agosto 2017 (Fonte: LABSIMURB).

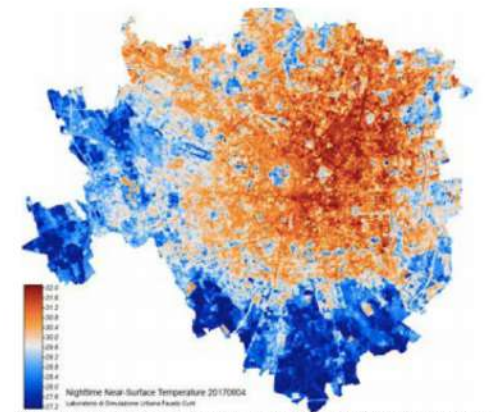
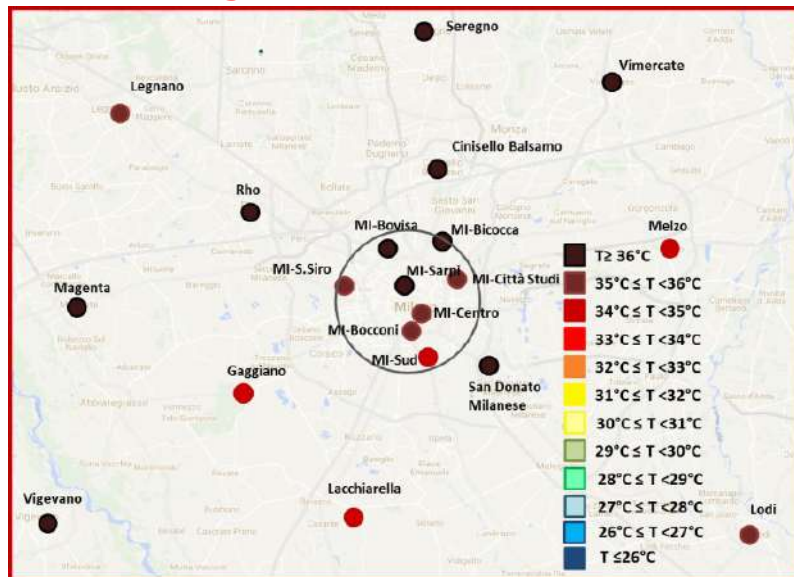


Figura 3 - Temperatura dell'aria a ca. 2 metri dal suolo alle 22:10 del giorno 04 agosto 2017 (Fonte: LABSIMURB).

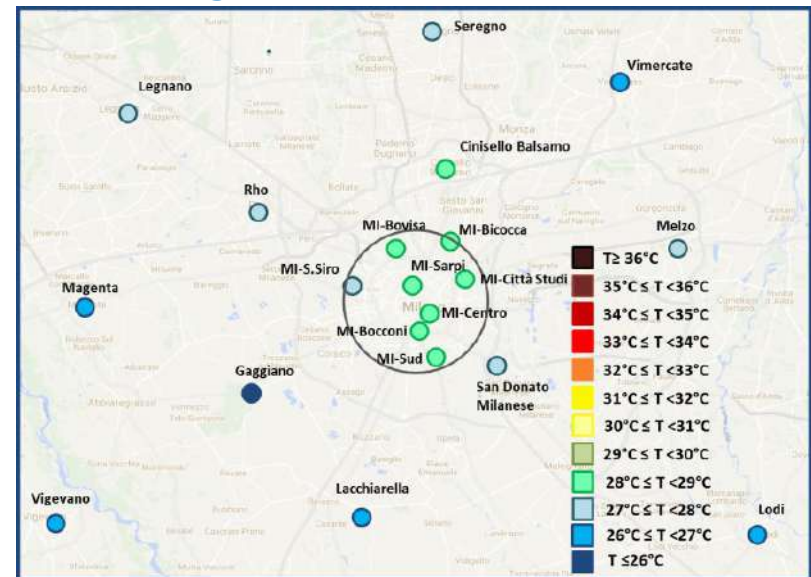
Osservazioni dell'Isola di calore alla sommità del Canopy a Milano (C-UHI)

Misure di temperatura delle rete urbana Climate Network® della Fondazione OMD

03 August 2017, 17:00-18:00



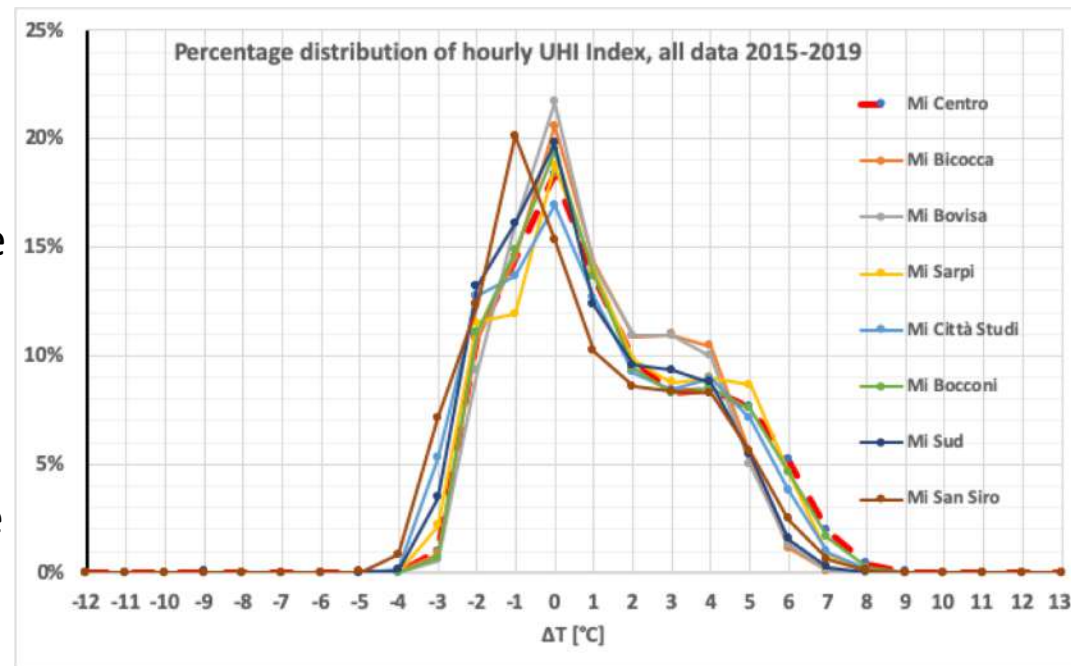
04 August 2017, 02:00-03:00



Evento in modalità Webinar e in aula- via San Maurizio 21, Milano

- Estate e inverno, con **scarsa ventilazione** e **ridotta nuvolosità**
- Più intensa durante la **notte**
- Ridotta **umidità**, **evapo-traspirazione** e **ventilazione**
- Dipende dalla conformazione urbana e dalla localizzazione geografica
- **Riduce** l'incidenza di nebbie, **aumenta** l'attività convettiva, **induce** una debole circolazione ciclonica

“Climatologia” recente dell'Isola di calore urbana (Milano)





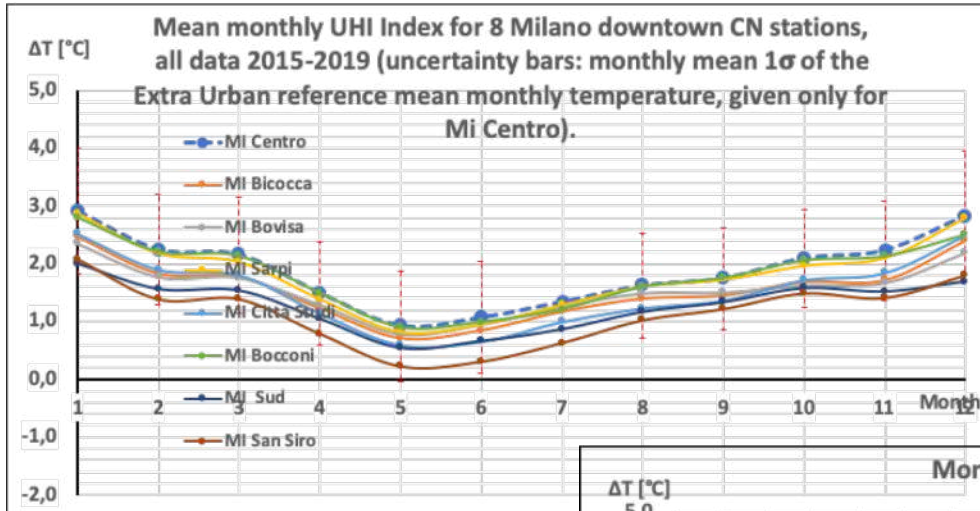
Comune di
Milano



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



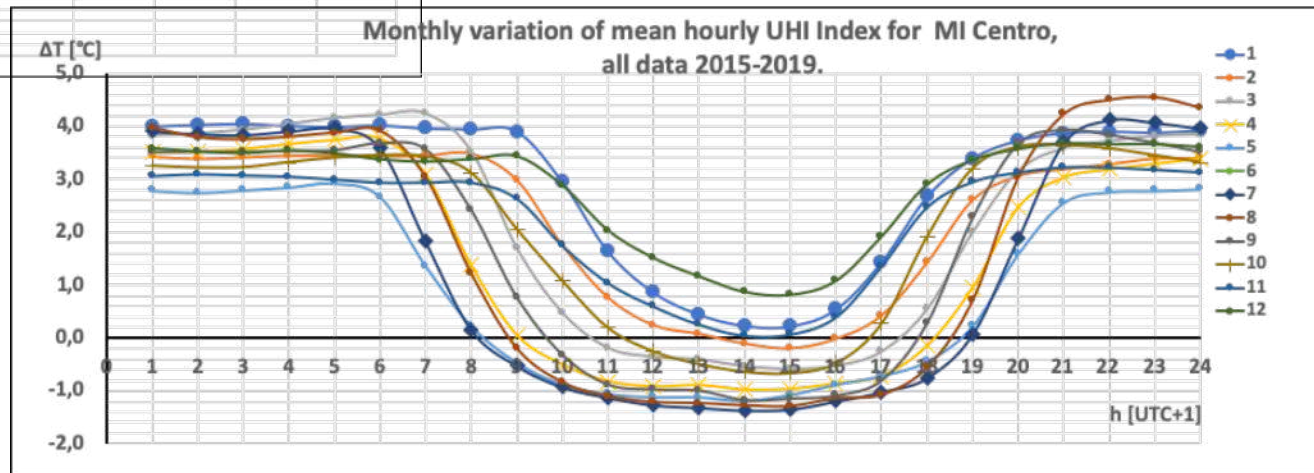
ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI MILANO



Medie mensili
delle 8 stazioni

Dettagli della “Climatologia” recente
della C-UHI a Milano

Medie orarie
mensili di
Milano Centro



Evento in modalità Webinar e in aula- via San Maurilio 21, Milano





Comune di
Milano



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



ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI MILANO

Conseguenze della UHI

- Temperatura
 - I profili verticali nei bassi strati vengono modificati alterando le condizioni di stabilità/instabilità
- Vento
 - Variazioni d'intensità (attrito) e variabilità (turbolenza)
 - Circolazioni cicloniche indotte
- Precipitazioni
 - Intensificazione di quelle convettive
 - Diminuzione (?) di quelle non convettive

Evento in modalità Webinar e in aula- via San Maurilio 21, Milano



Comune di
Milano

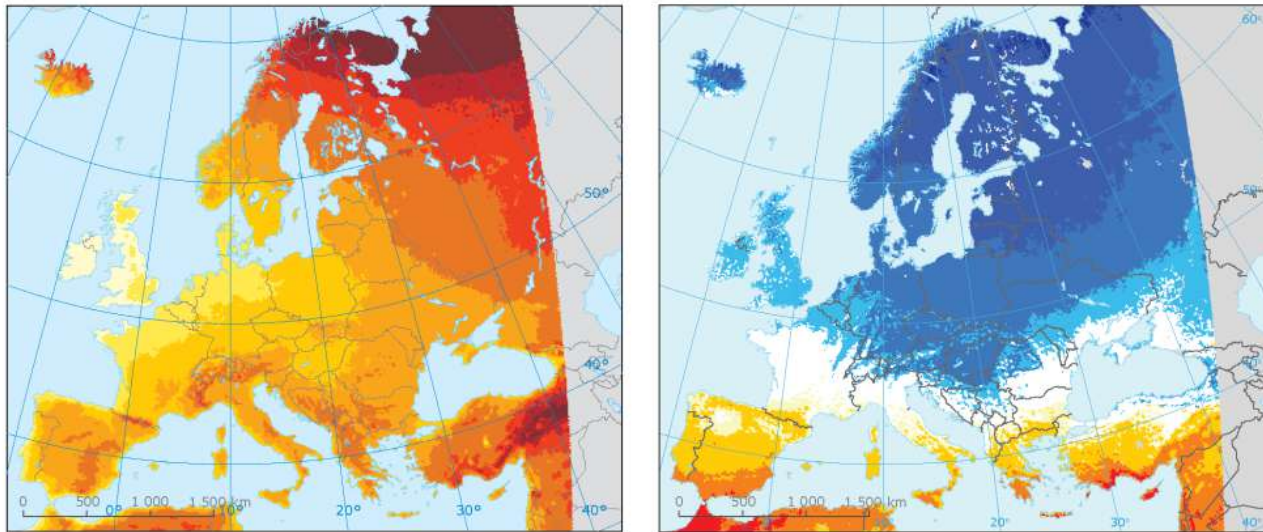


ORDINE DEGLI ARCHITETTI,
PIANIFICATORI, PAESAGGISTI E CONSERVATORI
DELLA PROVINCIA DI MILANO

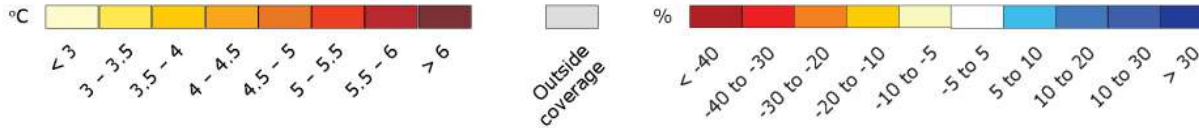


ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI MILANO

Previsioni Euro-CORDEX (downscaling)



Projected changes in annual mean temperature (left) and annual precipitation (right)



Evento in modalità Webinar e in aula- via San Maurilio 21, Milano

IPCC Special Report on Global Warming of 1.5 °C (SR1.5)

A **mix of mitigation and adaptation options** implemented in a participatory and integrated manner can enable rapid, systemic transitions in urban and rural areas that are necessary elements of an accelerated transition to **1.5°C** worlds.

Such options and changes are **most effective when aligned with economic and sustainable development**, and when local and regional governments are supported by national governments.

Any increase in global warming (e.g., > + 0.5°C) will affect human health (high confidence). Risks will be lower at 1.5°C than at 2°C for heat-related morbidity and mortality (very high confidence). **particularly in urban areas because of urban heat islands (high confidence).**



Comune di
Milano



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



ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI MILANO

Riepilogo e *Conclusioni*

Scale spaziali e temporali: tempo e clima

Osservazioni e previsioni

Gli strumenti e i *metodi* di misura

Le *Serie storiche* e i *Data Base* meteorologici

L'ambito urbano e l'*Isola di Calore*

I *cambiamenti* climatici

Uso consapevole dell'informazione meteorologica

Variabilità del tempo e cambiamento climatico

Cambiamenti climatici e variazioni urbanistiche

Grazie per l'attenzione!

g.frustaci@fondazioneomd.it

DOMANDE?

Evento in modalità Webinar e in aula- via San Maurilio 21, Milano



Comune di
Milano



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



ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI MILANO

Evento in modalità Webinar e in aula- via San Maurizio 21, Milano



FONDAZIONE
OMD

PROGETTO
CLIMAMI