



Misure meteorologiche in ambito urbano

2 - Misure meteorologiche urbane e loro uso

G. Frustaci

Osservatorio Cavanis Venezia
Workshop di Meteorologia Avanzata

Misure meteorologiche urbane e loro uso

- Osservazioni e misure moderne
 - AWS
 - telel rilevamento
- Applicazioni: qualità dell'aria, verde urbano, sanità, energia, ecc.
- L'ambiente urbano:
 - struttura
 - caratteristiche (uso del suolo, proprietà delle superfici, fraz. di urbanizzazione, ecc.)
- Lo strato limite urbano
 - PBL e UBL
 - Canopy e Roughness Layer
- Il fenomeno dell'Isola di Calore (UHI) ed altri aspetti della meteorologia urbana
- Impiego delle osservazioni urbane nei modelli atmosferici
 - assimilazione
 - verifiche e calibrazione di modellistica e telerilevamento
- L'osservazione del cambiamento climatico:
 - osservatori storici
 - serie temporali: omogeneità e correzione

Osservazioni e misure moderne: AWS

- **Misure in superficie: AWS vs stazioni presidiate**

Vantaggi e svantaggi:

- Onerosità
- Osservazioni a vista (?)
- Frequenza misure
- Frequenza ispezioni
- **AWS compact or “standalone”:** sensori intercambiabili e indipendenti
- **AWS “all in one”:** incorpora tutti i sensori in un unico contenitore (schermo)



Specifiche per i sensori base

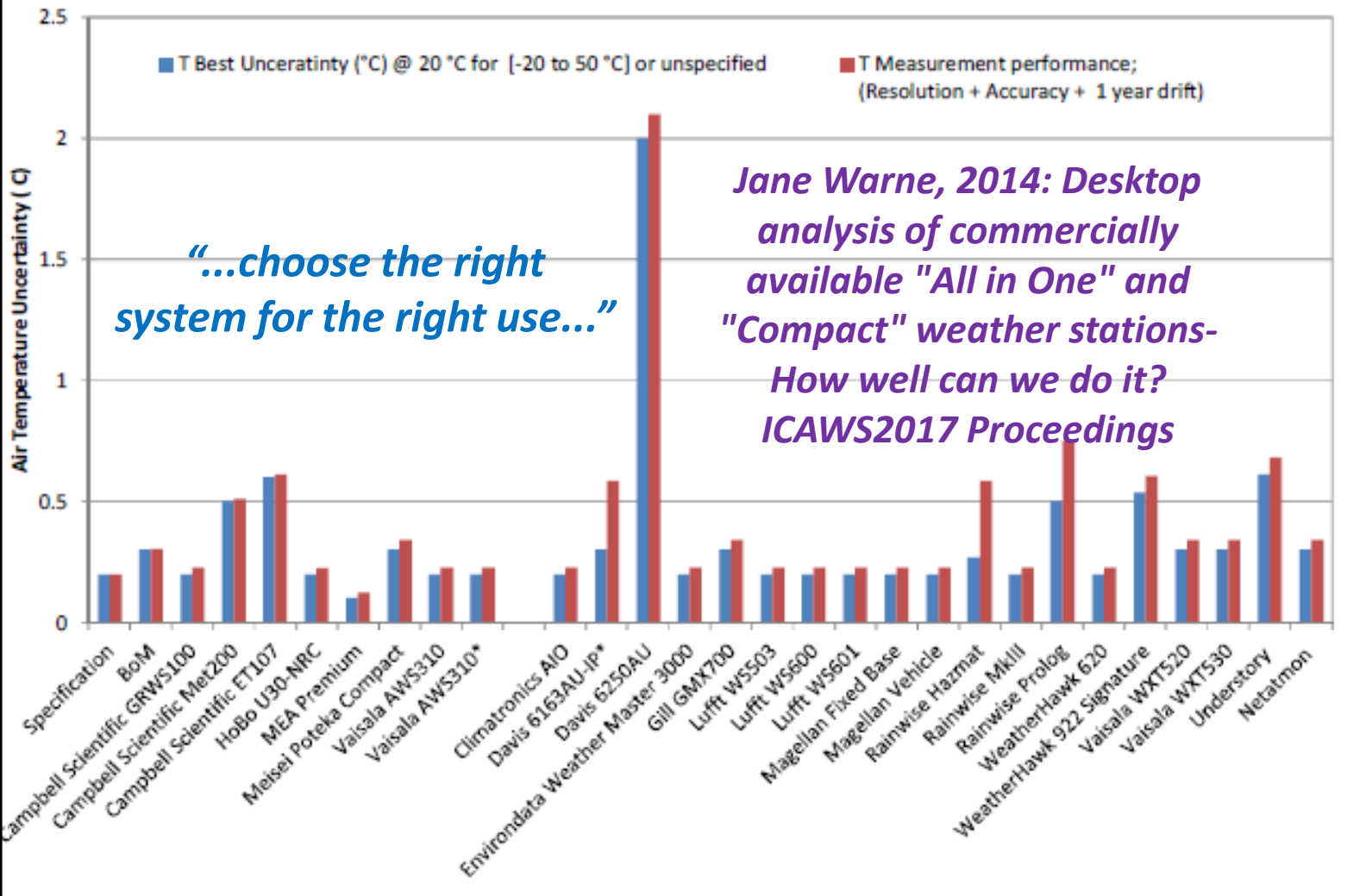
	Temperature (°C or K)	Relative Humidity (%)	Pressure (hPa)	Rainfall (%)	Wind speed (%)	Wind Direction (Degrees)
Class 1	0.2	3	0.15	2	10	5
Class 2	0.5	5	0.3	5	30	10
Class 3	1	5	1	15	50	15
Class 4	2	10	1.5	25	50	22
Class 5	5	15	3	100	>50	>22
	(°C or K)	(%)	(hPa)	(mm)	(m/s)	(Degrees)
Range (Min)	-80	0	500	0	0	0
Range (Max)	60	100	1080	500	75	360
Resolution	0.1	1	0.1	0.1	0.5	1

The criteria used to assess "All in One" and "Compact" automatic weather stations. Based on WMO CIMO Guide 8. (WMO CIMO, 2014)

Jane Warne, 2014: Desktop analysis of commercially available "All in One" and "Compact" weather stations- How well can we do it? ICAWS2017 Proceedings

AWS e sensori base

Rassegna di AWS per misure tradizionali “in situ” (T, RH, Rad, P, W/D)

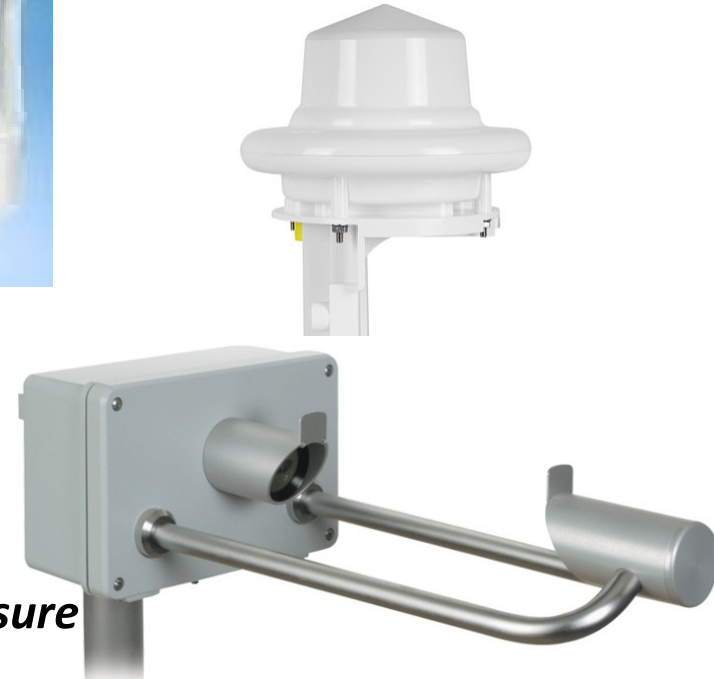


Confronto della performance sulla temperatura per AWS del tipo Stand alone e All-in-one

(WMO Class I)

Altri strumenti automatici

- All sky camera
 - SW per quantificare copertura e tipo nubi
- sensori di precipitazione
 - a impulsi
 - radar (banda X)
 - laser
 - disdrometri
- anemometri sonici (2D e 3D)
- sensori tempo presente
 - Laser
 - SW per integrare dati diversi



Ogni strumento ha caratteristiche particolari e le sue misure non sono direttamente confrontabili con quelle classiche

Alimentazione, Data Logger e reti

- **Alimentazione:**

- Rete elettrica
- Pannelli solari / Batterie (capacità, posizionamento del pannello)

- **Data logger**

- Analogico/digitale
- Locale (molti)
- Remoto (unico)
- Taratura!



- **Telecomunicazioni**

- SatLink, Iridium, ecc.
- GSM/GPRS
- WiFi



Urban Boundary Layer (UBL) in 3D

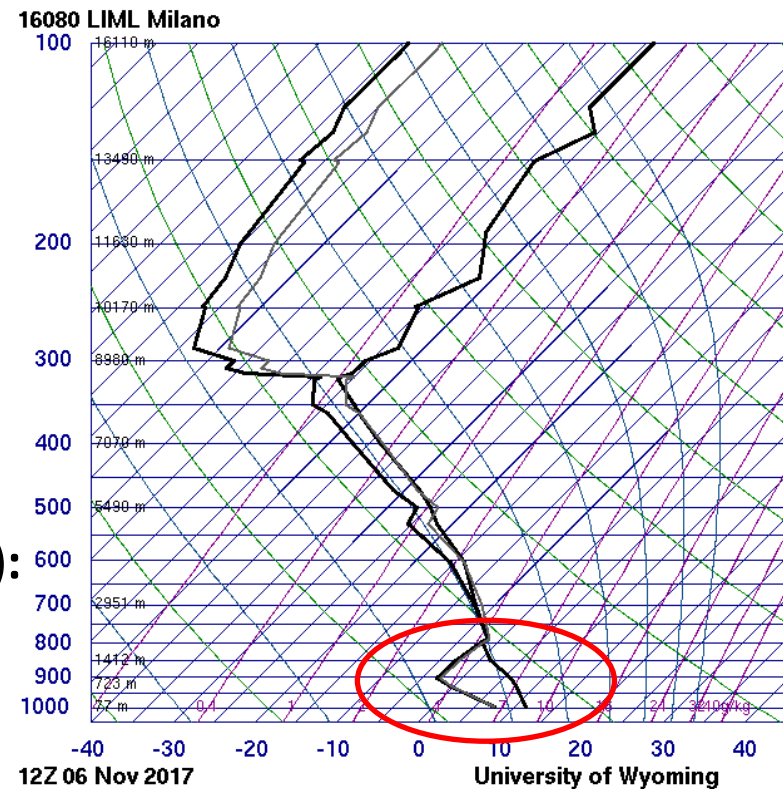
Profili verticali dell'UBL necessari
(flussi verticali, inversioni in quota, avvezioni, profili di temperatura e umidità)

- **Sondaggi aerologici (misure "in situ"):**

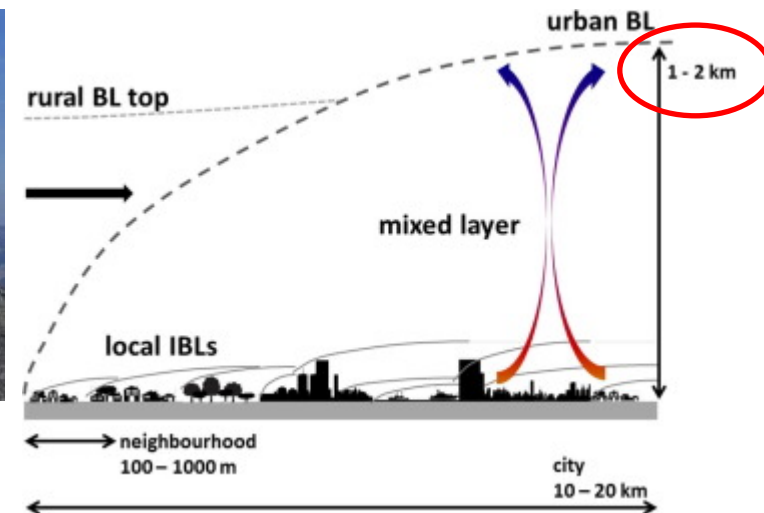
- Costi
- Localizzazione
- Interpolazione del vento nei bassi strati

- **Telerilevamento:**

- Costi
- Strumentazione e interpretazione (complessa)
- Risoluzione e precisione



SLAT	45.43
SLOE	9.28
SELV	103.0
SHOW	5.42
LIFT	3.63
LFTV	3.65
SWET	50.99
KINX	23.20
CTOT	21.90
VTOT	26.10
TOTL	46.00
CAPE	0.00
CAPV	0.00
CINS	0.00
CINV	0.00
EQLV	-9999
EGTV	-9999
LFCT	-9999
LFV	-9999
BRCH	0.00
BRCV	0.00
LCLT	276.1
LCLP	889.2
MLTH	285.6
MLMR	5.48
THCK	5413
PWAT	16.90



UBL Remote sensing

Telerilevamento nel PBL urbano: aree/volumi limitati, alta risoluzione

“to assess the urban heat island, to perform land cover classifications and as input for models of urban surface atmosphere exchange”

Sensori attivi in superficie:

- Radar (in banda X)
- Sodar (vento, inversione)
- Lidar (vento, temperatura, roughness)
- RASS (Radio Acoustic Sounding System)

Costi e difficoltà d'interpretazione e d'impiego!



Sensori passivi

Passive sensors include different types of radiometers and spectrometers. Most passive systems used in remote sensing applications operate in the visible, infrared, thermal infrared, and microwave portions of the electromagnetic spectrum. Passive remote sensors include the following:

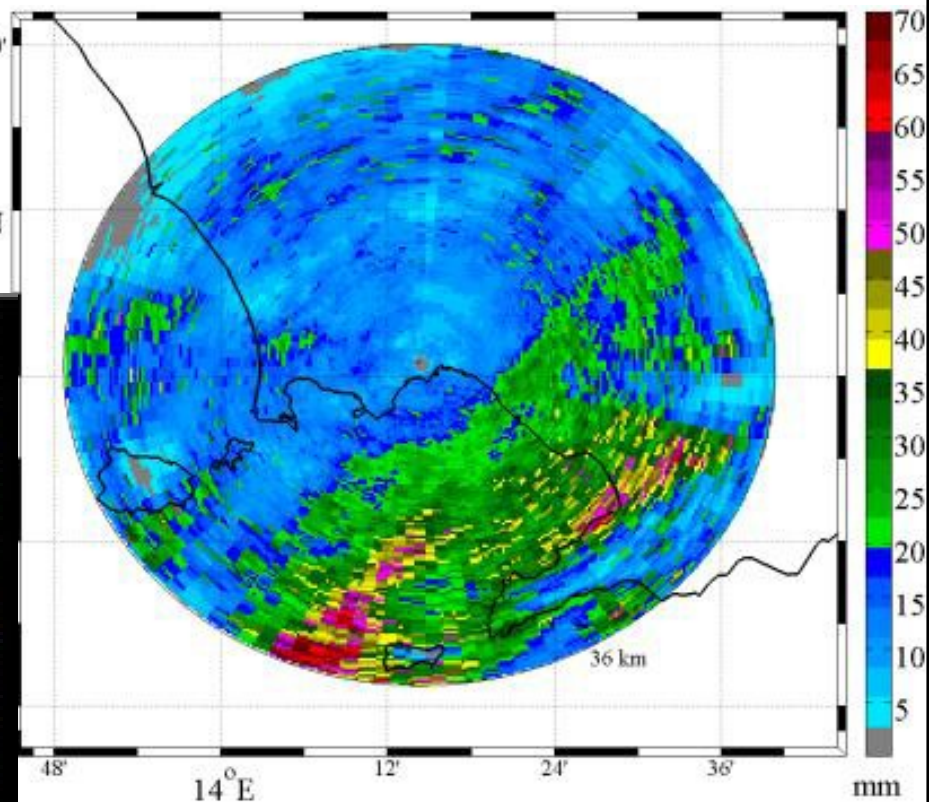
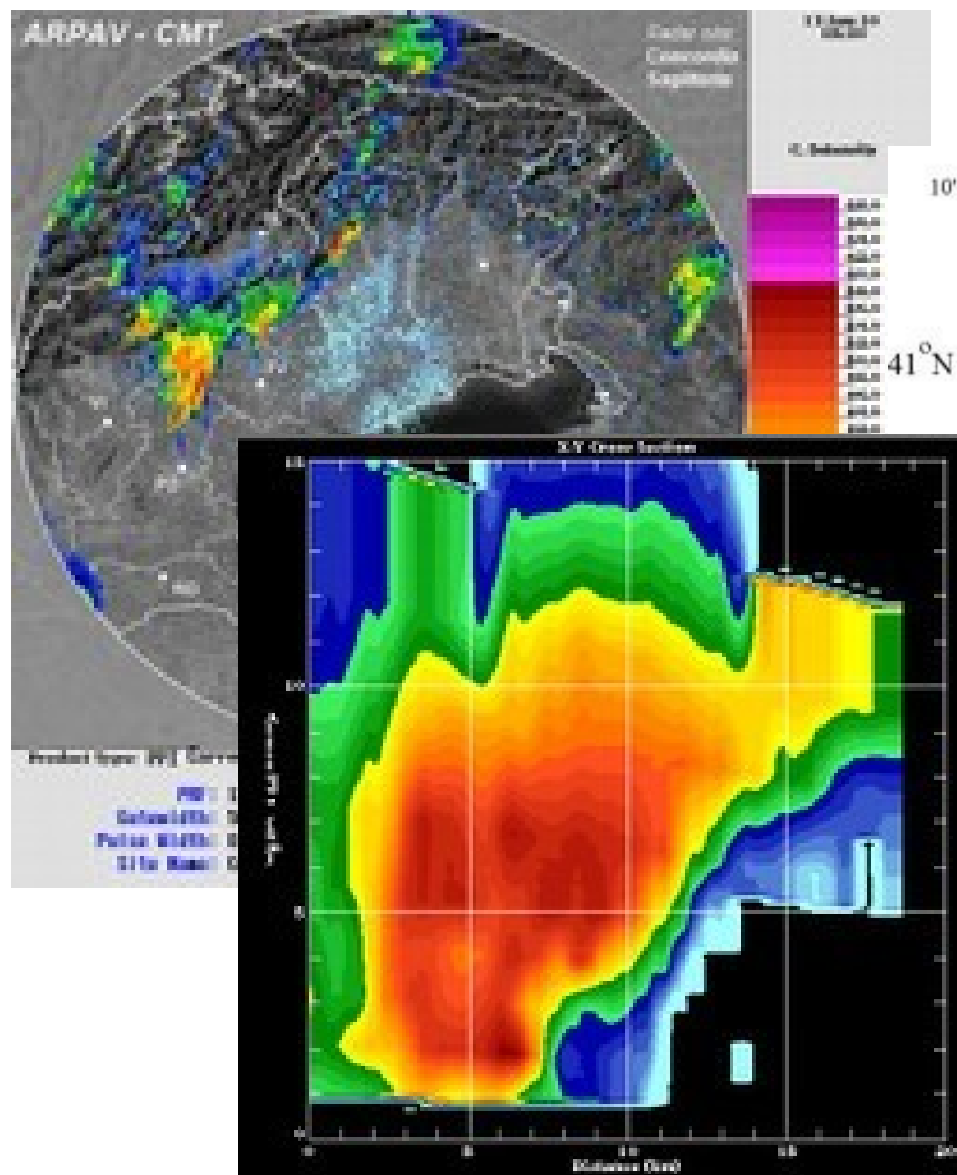
- [Accelerometer](#)—An instrument that measures acceleration (change in velocity per unit time). There are two general types of accelerometers. One measures translational accelerations (changes in linear motions in one or more dimensions), and the other measures angular accelerations (changes in rotation rate per unit time).
- [Hyperspectral radiometer](#)—An advanced multispectral sensor that detects hundreds of very narrow spectral bands throughout the visible, near-infrared, and mid-infrared portions of the electromagnetic spectrum. This sensor's very high spectral resolution facilitates fine discrimination between different targets based on their spectral response in each of the narrow bands.
- [Imaging radiometer](#)—A radiometer that has a scanning capability to provide a two-dimensional array of pixels from which an image may be produced. Scanning can be performed mechanically or electronically by using an array of detectors.
- [Radiometer](#)—An instrument that quantitatively measures the intensity of electromagnetic radiation in some bands within the spectrum. Usually, a radiometer is further identified by the portion of the spectrum it covers; for example, visible, infrared, or microwave.
- [Sounder](#)—An instrument that measures vertical distributions of atmospheric parameters such as temperature, pressure, and composition from multispectral information.
- [Spectrometer](#)—A device that is designed to detect, measure, and analyze the spectral content of incident electromagnetic radiation. Conventional imaging spectrometers use gratings or prisms to disperse the radiation for spectral discrimination.
- [Spectroradiometer](#)—A radiometer that measures the intensity of radiation in multiple wavelength bands (i.e., multispectral). Many times the bands are of high-spectral resolution, designed for remotely sensing specific geophysical parameters

Sensori attivi

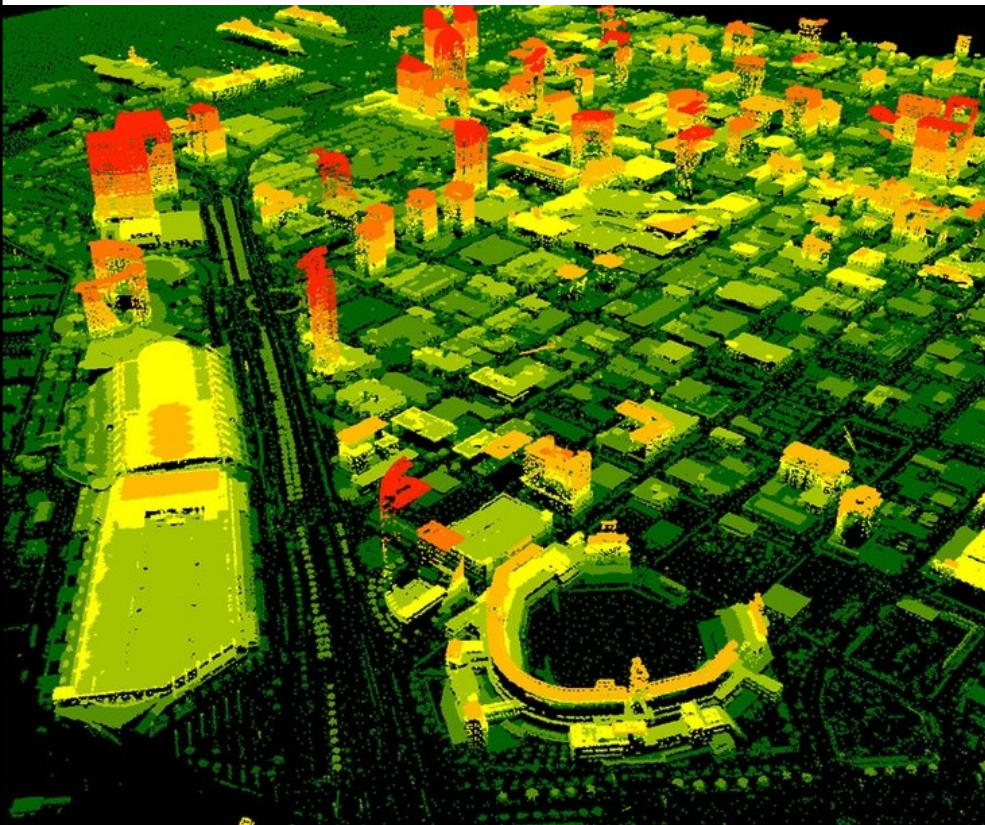
The majority of active sensors operate in the microwave portion of the electromagnetic spectrum, which makes them able to penetrate the atmosphere under most conditions. An active technique views the target from either end of a baseline of known length. The change in apparent view direction (parallax) is related to the absolute distance between the instrument and target.

- **Laser altimeter**—An instrument that uses a lidar to measure the height of the platform (spacecraft or aircraft) above the surface. The height of the platform with respect to the mean Earth's surface is used to determine the topography of the underlying surface.
- **Lidar**—A light detection and ranging sensor that uses a laser (light amplification by stimulated emission of radiation) radar to transmit a light pulse and a receiver with sensitive detectors to measure the backscattered or reflected light. Distance to the object is determined by recording the time between transmitted and backscattered pulses and by using the speed of light to calculate the distance traveled.
- **Radar**—An active radio detection and ranging sensor that provides its own source of electromagnetic energy. An active radar sensor, whether airborne or spaceborne, emits microwave radiation in a series of pulses from an antenna. When the energy reaches the target, some of the energy is reflected back toward the sensor. This backscattered microwave radiation is detected, measured, and timed. The time required for the energy to travel to the target and return back to the sensor determines the distance or range to the target. By recording the range and magnitude of the energy reflected from all targets as the system passes by, a two-dimensional image of the surface can be produced.
- **Ranging Instrument**—A device that measures the distance between the instrument and a target object. Radars and altimeters work by determining the time a transmitted pulse (microwaves or light) takes to reflect from a target and return to the instrument. Another technique employs identical microwave instruments on a pair of platforms. Signals are transmitted from each instrument to the other, with the distance between the two determined from the difference between the received signal phase and transmitted (reference) phase. These are examples of active techniques. An active technique views the target from either end of a baseline of known length. The change in apparent view direction (parallax) is related to the absolute distance between the instrument and target.
- **Scatterometer**—A high-frequency microwave radar designed specifically to measure backscattered radiation. Over ocean surfaces, measurements of backscattered radiation in the microwave spectral region can be used to derive maps of surface wind speed and direction.
- **Sounder**—An instrument that measures vertical distribution of precipitation and other atmospheric characteristics such as temperature, humidity, and cloud composition.

RADAR in banda C e X

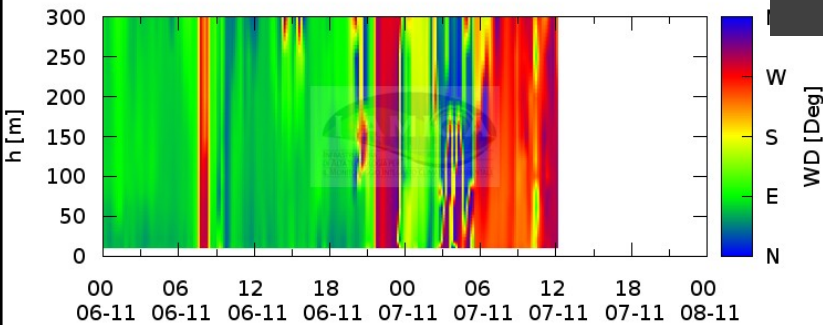


Dati 3D del tessuto urbano tramite Lidar

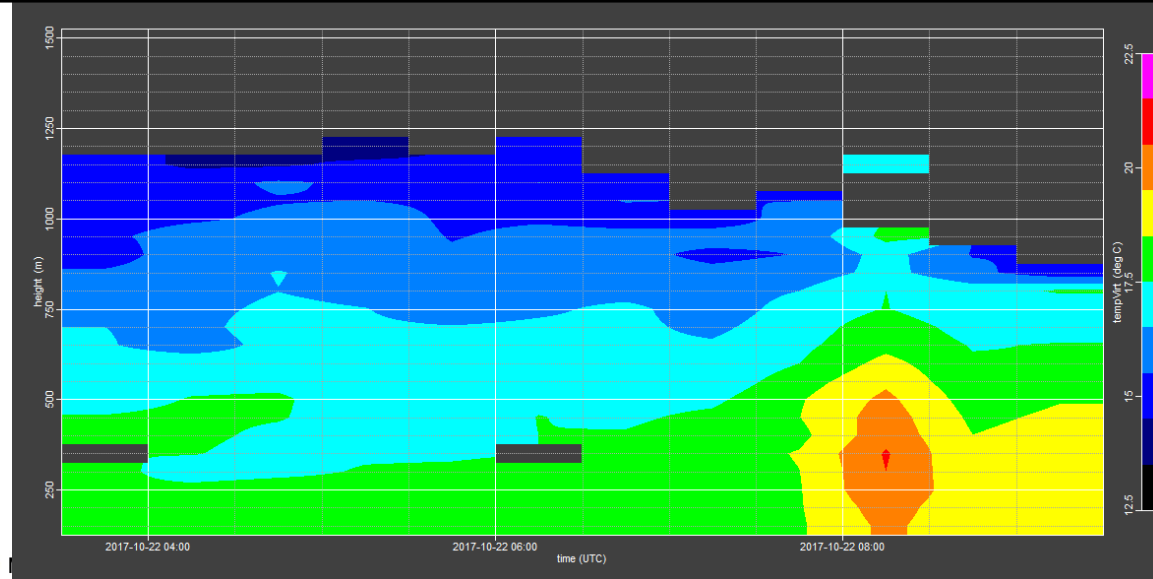
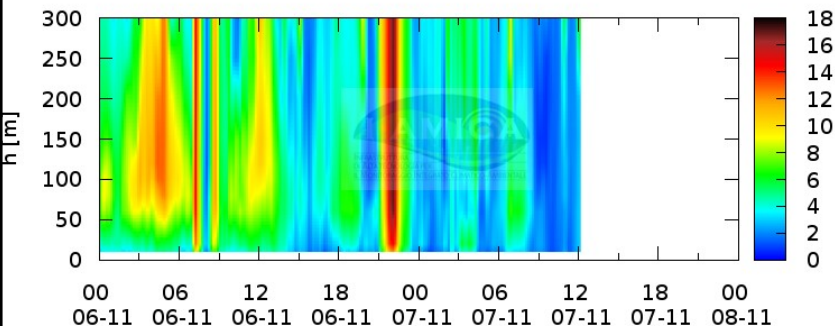


Misure LIDAR: Vento, Nubi, Temperatura e rilievo

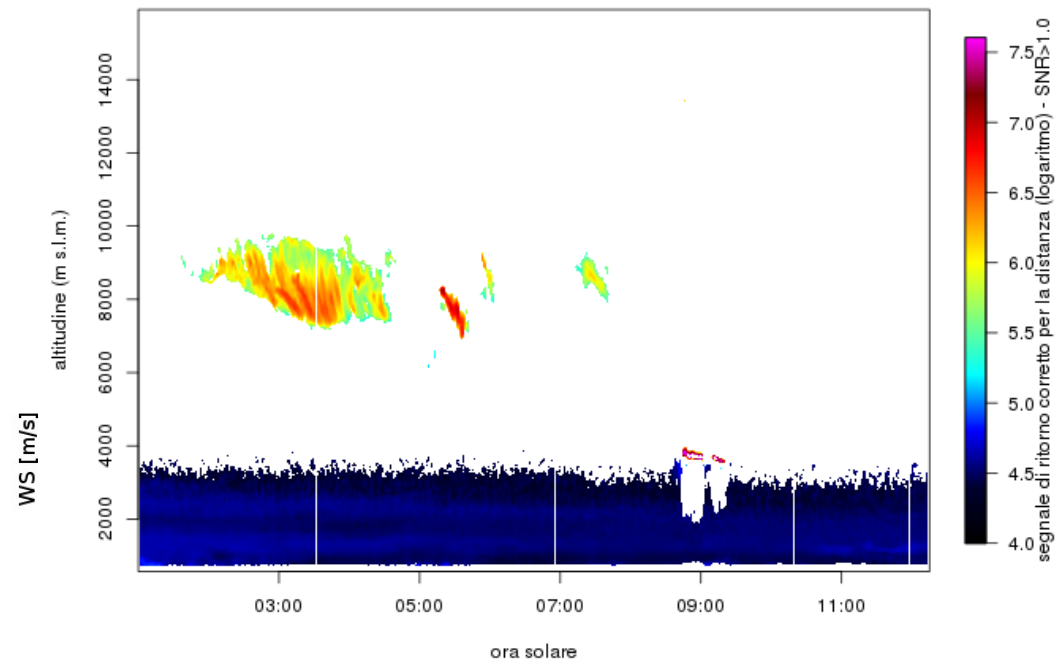
last data: 2017-11-07 12:10



last data: 2017-11-07 12:10



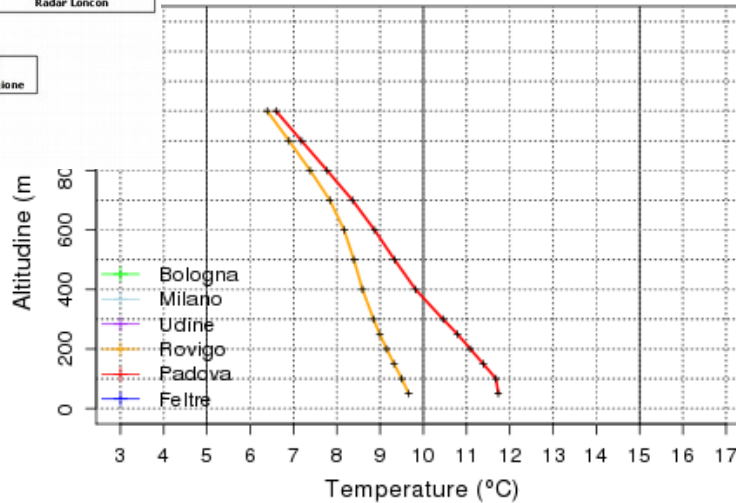
Lidar ceilometer CHM15k Nimbus
Saint-Christophe 2017-11-07



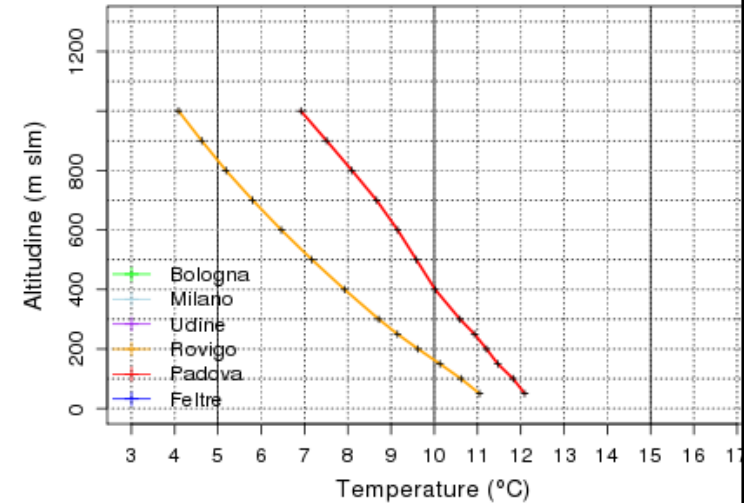
Profilatori verticali



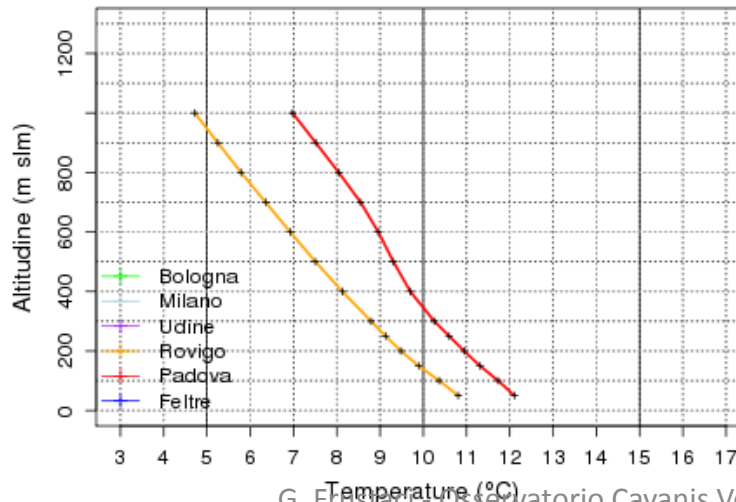
profili di temperatura: 2017-11-07 - h 03 UTC



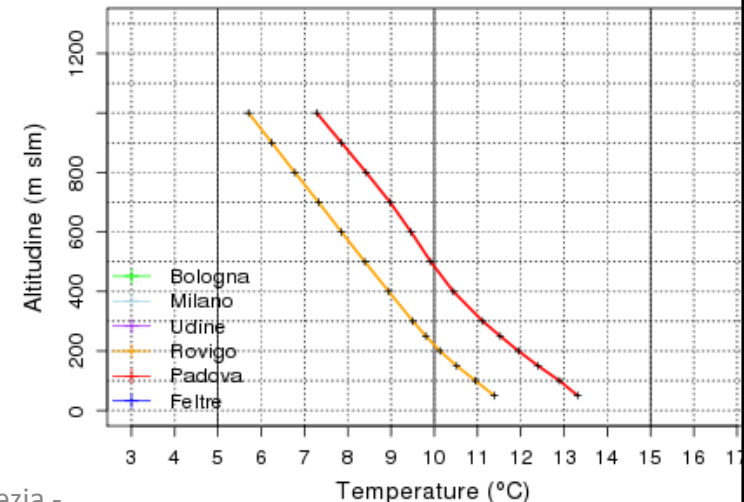
profili di temperatura: 2017-11-06 - h 21 UTC



profili di temperatura: 2017-11-06 - h 15 UTC



profili di temperatura: 2017-11-06 - h 09 UTC

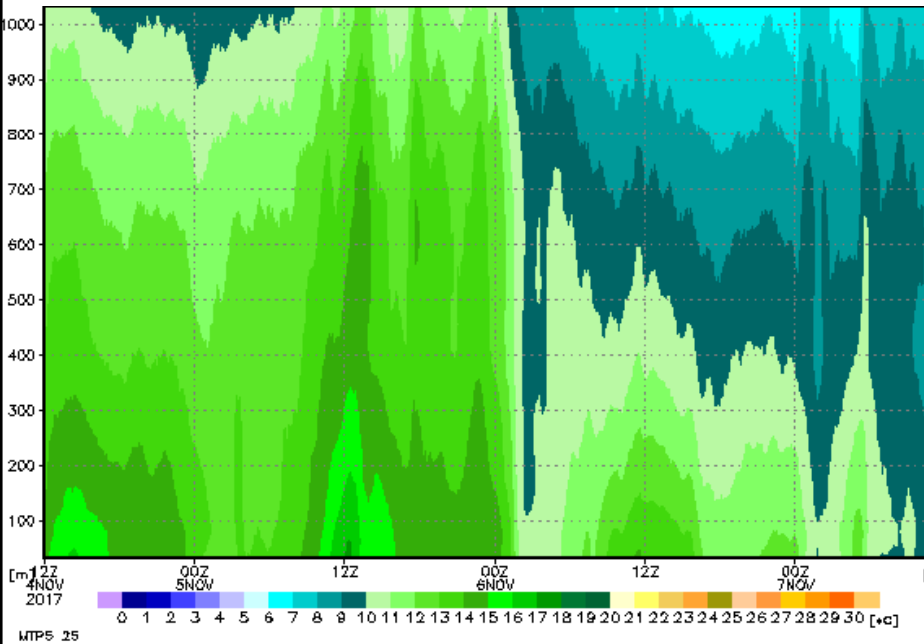


Differenze tra Padova e Rovigo nei profili verticali di temperatura a ore diverse.

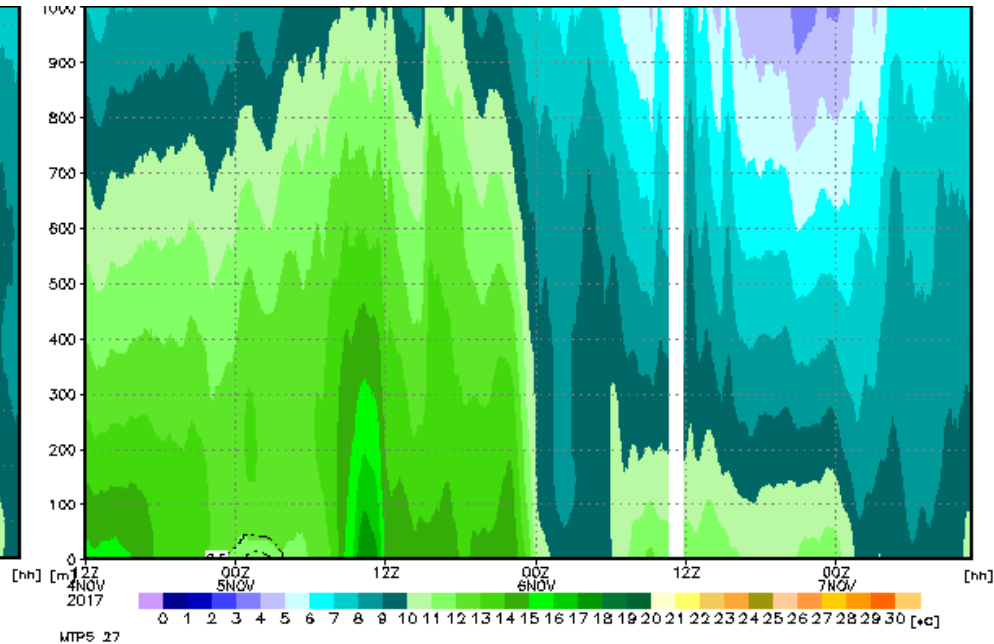
Rovigo manifesta un raffreddamento più accentuato di Padova nelle ore notturne

Rivelatori passivi a microonde

Padova tetto del Dipartimento



Rovigo palazzo della Regione



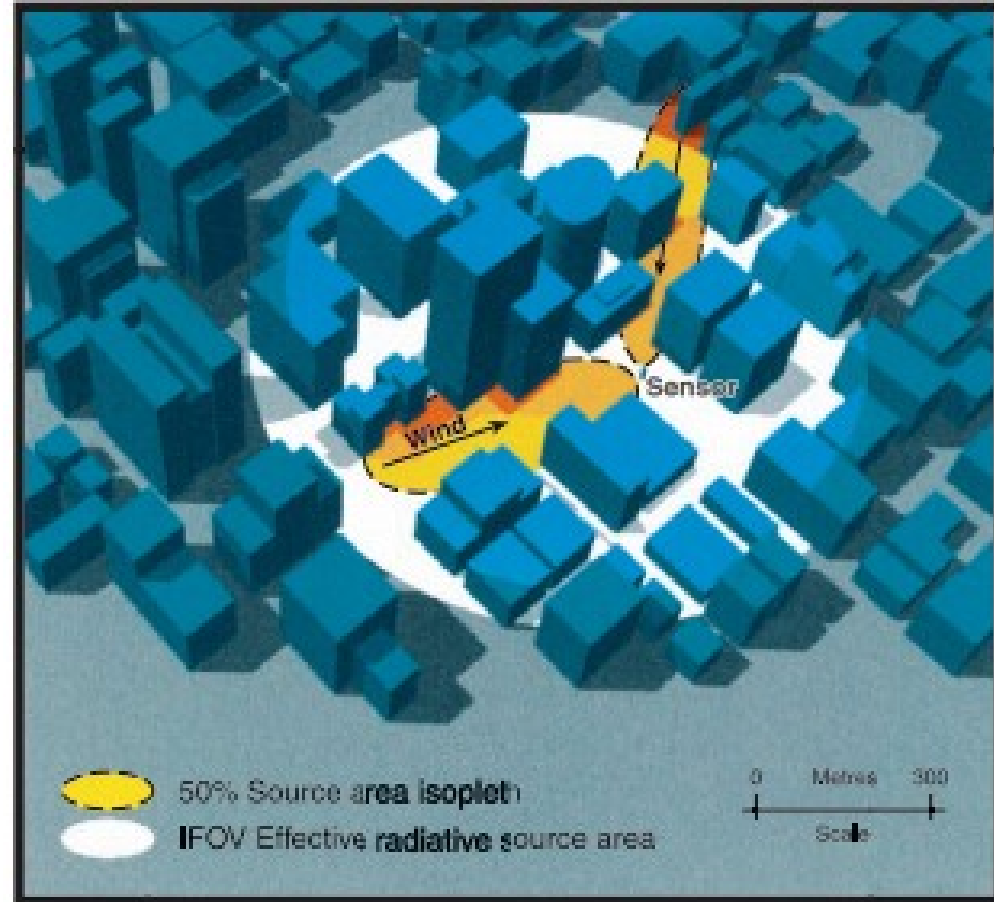
Il profilatore verticale di temperatura rileva la **temperatura dell'aria** attraverso la ricezione della radiazione emessa dall'ossigeno presente in atmosfera fino a quote di circa 1.000 m. Lo strumento esegue una scansione (in circa 5 minuti) a diversi angoli rispetto allo zenit con una risoluzione verticale di 50 m e in tutte le condizioni atmosferiche (pioggia, neve, nebbia...).

UBL Remote sensing

Misure dallo spazio (satelliti):

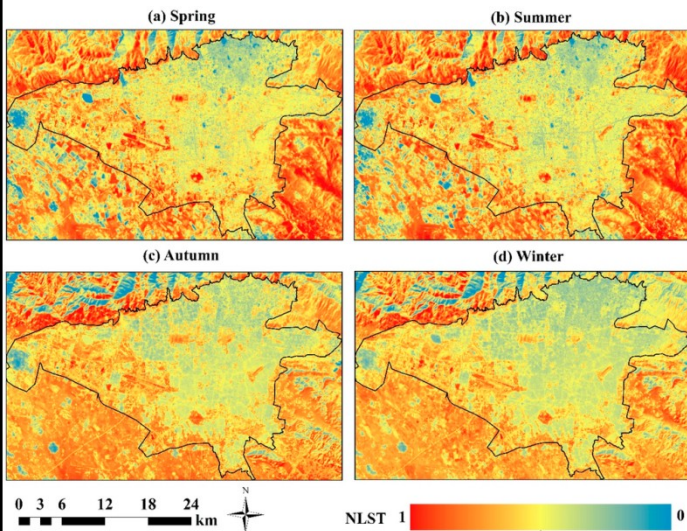
**risoluzione limitata ($1 \text{ km} \div 10 \text{ m}$)
e complessità del tessuto urbano**

- Modis, Terra, Sentinel,...
- Analisi multispettrale (multibanda)
- Temperatura superficiale (SUHI)
- Topografia urbana in 3D
- Albedo
- Uso del suolo



Conceptual source areas. The Instantaneous Field Of View (IFOV, geometrically derived) defines the radiative source area for an aircraft or satellite-based thermal remote sensor viewing an urban surface.

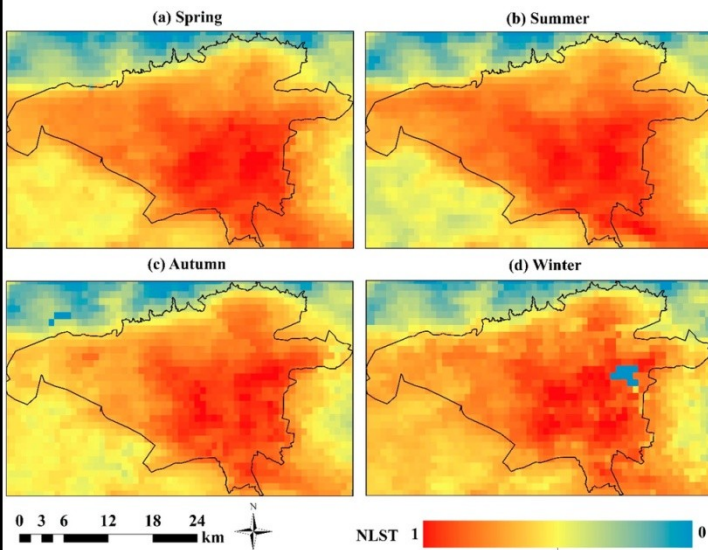
SUHI da satellite (surface UHI)



Spatial distribution of NLST in **daytime**:

- (a) spring;
- (b) summer;
- (c) autumn;
- (d) winter.

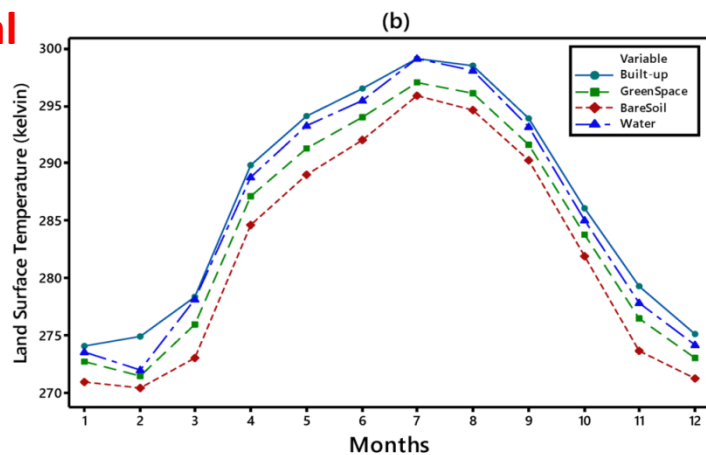
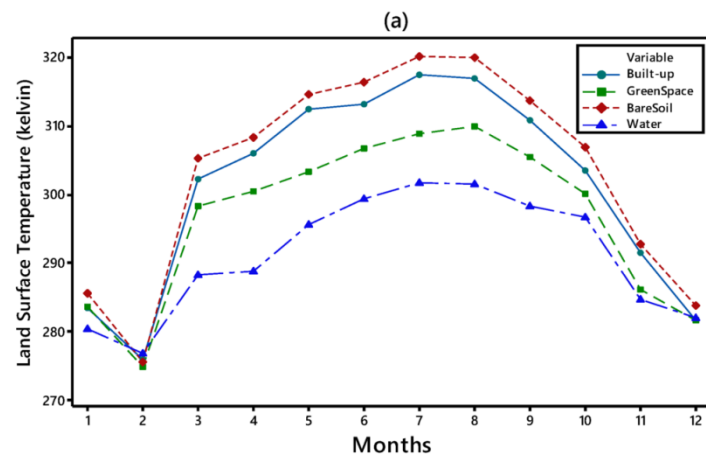
$$SUHI1 = LST_{urban} - LST_{rural}$$



Spatial distribution of NLST at **nighttime**:

- (a) spring;
- (b) summer;
- (c) autumn;
- (d) winter.

MODIS is aboard Terra



Annual plot of monthly averaged temperature by land cover:
(a) daytime; and (b) nighttime.

L'ambiente urbano: struttura e caratteristiche fisiche

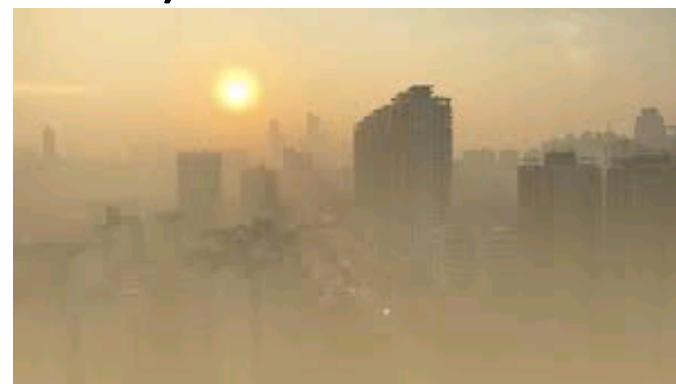
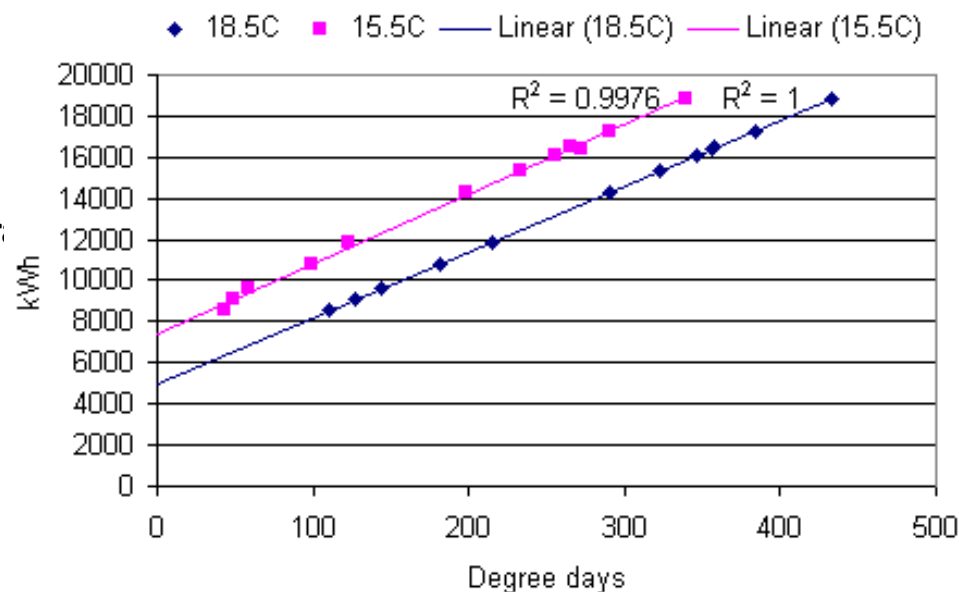


- **Uso del suolo**
 - Cartografia urbana
 - Telerilevamento
- **Proprietà delle superfici (albedo)**
 - Telerilevamento
 - Misure in situ puntuali
- **Fraz. di urbanizzazione**
 - Telerilevamento
 - Dati catastali
- **Struttura in 3D**
 - Telerilevamento (Aerofotogrammetria, Satelliti)
 - Modelli 3D
- *Ecc. (in funzione della scala da risolvere)*



Applicazioni dei dati meteo urbani

- **Qualità dell'aria (ARPA)**
 - Monitoraggio degli inquinanti
 - Modelli di diffusione degli inquinanti
 - Modelli meteo a microscala per usi generali
- **Verde urbano (Comuni)**
 - Gestione dei parchi e dei viali
 - Pianificazione urbana
- **Sanità e benessere (ASL, ISS)**
 - Indici (Humidex, ecc.)
 - Ondate di calore e di gelo
- **Energia (Enti, privati, ingegneri, architetti, urbanisti)**
 - Gradi giorno (normativa)
 - Raffrescamento
 - Gestione impianti
 - Progettazione degli edifici
- **Protezione civile**
 - Rischio idrogeologico
 - Incidenti con dispersione in atmosfera

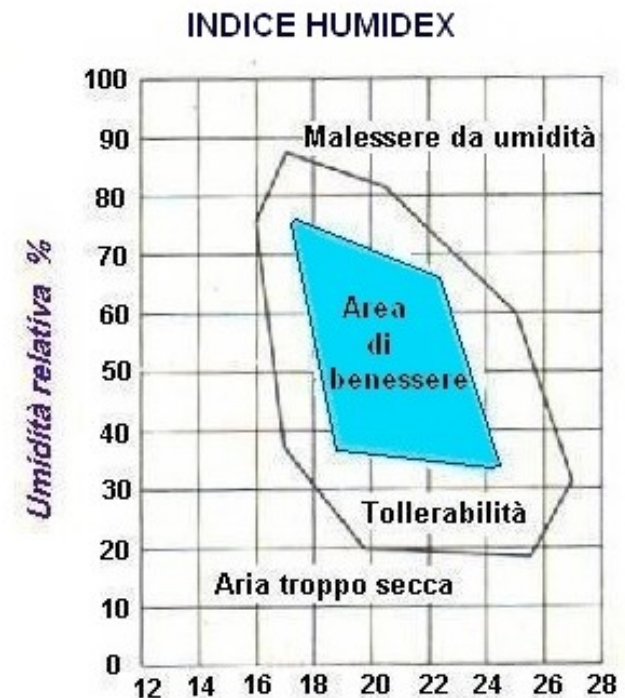


Humidex e Wind Chill

Humidex Index: $H = T + (5/9) * (e - 10)$

$$H_x = T + 5/9 * (6,112 * 10^{(7,5 * T / (237,7 + T))} * UR / 100 - 10)$$

Masterton, J.M., and F. A. Richardson, 1979: Humidex, A Method of Quantifying Human Discomfort Due to Excessive Heat and Humidity, CLI 1-79, Environment Canada, Atmospheric Environment Service, Downsview, Ontario, 45 pp.



Windchill Index:

WIND CHILL

$$WCI = (10\sqrt{v} - v + 10.5) \cdot (33 - T_a)$$

Temperature, C° 0 -5 -10 -15 -20 -25 -30 -35 -40 -45

WCI = wind chill index, kcal/m²/h

v = wind velocity, m/s; T_a = air temperature, °C

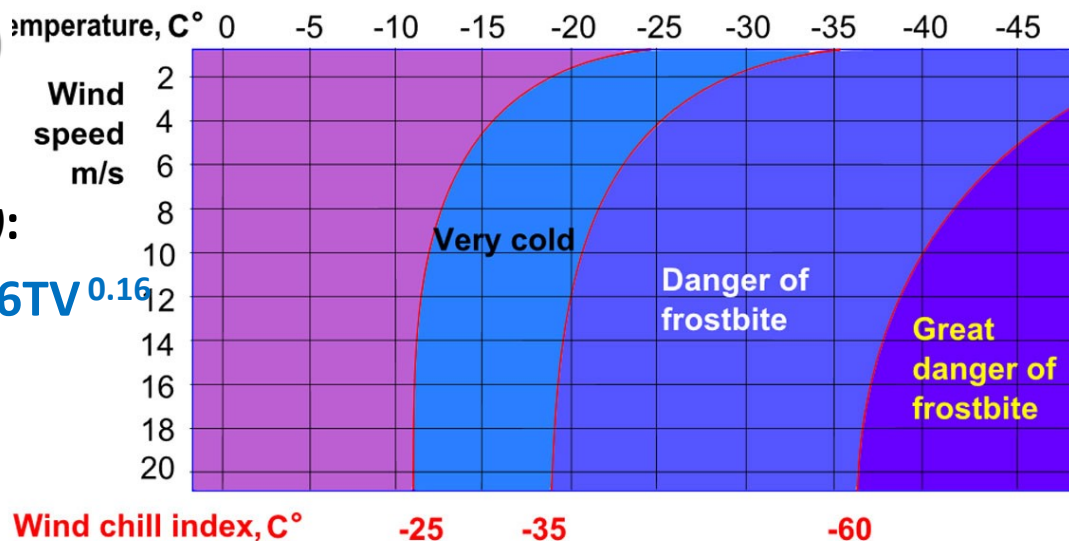
Windchill (*effective windchill temperature*):

$$T_{ew} = 13.13 + 0.62T - 13.95 V^{0.16} + 0.486TV^{0.16}$$

$[T] = ^\circ\text{C}$; $[V] = \text{Km/h}$

Woodson, Wesley E. (1981). Human Factors Design Handbook, page 815. McGraw-Hill.

[ISBN 0-07-071765-6](#)



UTCI (COST 730)

UTCI: Universal Thermal Climate Index

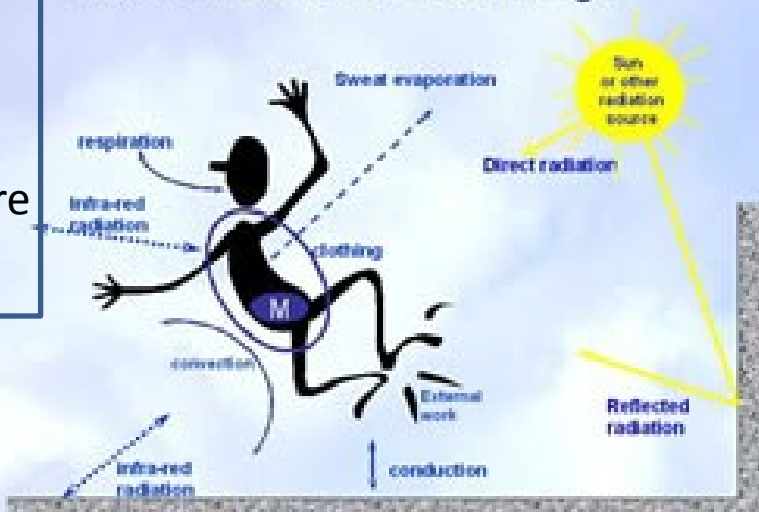
<http://www.utci.org/index.php>



International Society
of Biometeorology

Mean
Radiant
Temperature

Avenues of Heat Exchange



Air temperature T_a

° Celsius

$\Delta T_{mrt} = T_{mrt} - T_a$

Kelvin

Water vapour pressure

☒ hPa

Rel. humidity RH

☐ %

Wind speed v in 10m

m/s

UTCI (°C) range	Stress Category
above +46	extreme heat stress
+38 to +46	very strong heat stress
+32 to +38	strong heat stress
+26 to +32	moderate heat stress
+9 to +26	no thermal stress
+9 to 0	slight cold stress
0 to -13	moderate cold stress
-13 to -27	strong cold stress
-27 to -40	very strong cold stress
below -40	extreme cold stress

La norma UNI EN ISO 15927-6:2008^[1] è la versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN ISO 15927-6^[2] (edizione settembre 2007). La norma specifica la definizione, il metodo di calcolo e il metodo di presentazione dei dati relativi alle differenze di temperatura cumulate (gradi giorno), utilizzate per stimare l'energia utilizzata per il riscaldamento degli edifici. Tali dati sono generalmente espressi in gradi ora o gradi giorno e sono spesso indicati semplicemente come "gradi ora di riscaldamento" o "gradi giorno di riscaldamento".

In termini matematici i gradi giorno si esprimono come:

$$GG = \sum_{e=1}^n (T_0 - T_e)$$

dove

- n : numero di giorni del periodo convenzionale di riscaldamento;
- T_0 : temperatura ambiente convenzionale;
- T_e : temperatura media esterna giornaliera tale per cui $T_e < T_0$.

Decreto del Presidente della Repubblica del 26 agosto 1993, n. 412, accenna ad un periodo annuale convenzionale di riscaldamento e fissa convenzionalmente la [temperatura ambiente](#) a 20 °C ;^[4] quindi:

$$GG = \sum_{e=1}^n (20 - T_e)$$

con $T_e < 20$ °C ad indicare la temperatura media esterna giornaliera del periodo convenzionale di riscaldamento di n giorni *che inizia con i primi tre giorni consecutivi caratterizzati da una temperatura media giornaliera inferiore a 12 °C (comunque non dopo l'1 dicembre) e termina con i primi tre giorni consecutivi caratterizzati da una temperatura media giornaliera uguale o superiore a 12 °C (comunque non prima del 28 febbraio)*

Gradi Giorno

Il Grado Giorno Estivo (GGE)

- Sulla base dell'**Humidex**, è possibile definire il GRADO GIORNO ESTIVO (GGE) come la differenza tra la temperatura percepita media giornaliera dell'ambiente esterno (H_{med}) e la temperatura degli ambienti interni di **set point pari a 25°C** (per la definizione della temperatura di set point si faccia riferimento alle norme UNI 10339 e 10349):

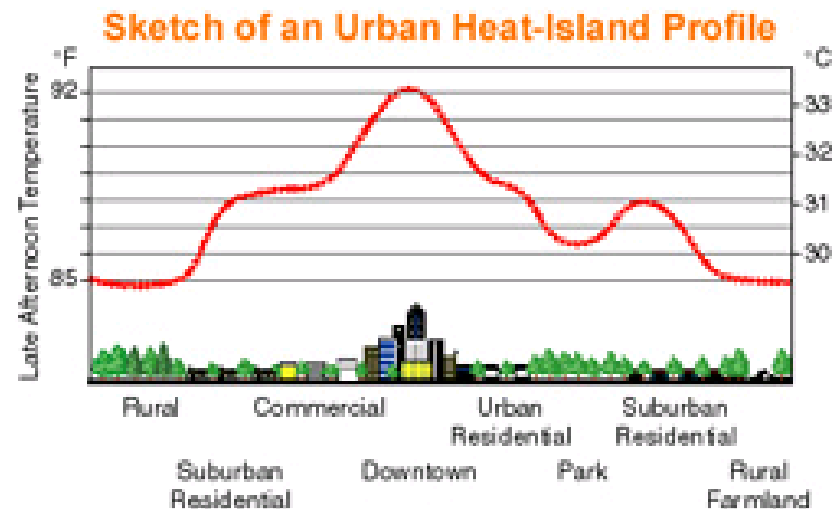
$$GGE = H_{med} - 25$$

- Per un calcolo più corretto e preciso della media giornaliera dell'indice Humidex sarebbe opportuno utilizzare **coppie di valori "istantanei" di temperatura e umidità relativa** e non le medie giornaliere, essendo le due grandezze non linearmente correlate. In caso contrario, il rischio, in alcune circostanze, porterebbe ad una sottostima o ad una sovrastima dell'Humidex stesso.

L'isola di calore (urbana): UHI

- E' il principale e più studiato fenomeno dell'atmosfera urbana
- Nel 1937 Albert Kratzer nel volume *"Das Stadtklima"* per la prima volta introdusse il concetto di *"ISOLA DI CALORE"* (*Städtische Wärmeinsel*)
- Urban Heat Island (UHI): T. R. Oke, 1982: The energetic basis of the urban heat island, Quarterly Journal of the RMS, 108 (455), 1-24

Area urbana o metropolitana
Sensibilmente più calda delle
aree rurali circostanti per cause
antropogeniche.



Definizione e principali caratteristiche dell'isola di calore urbana

urban heat island—(Or heat island.) **Closed isotherms** indicating an area of the surface that is relatively warm; most commonly **associated areas of human disturbance such as towns and cities**.

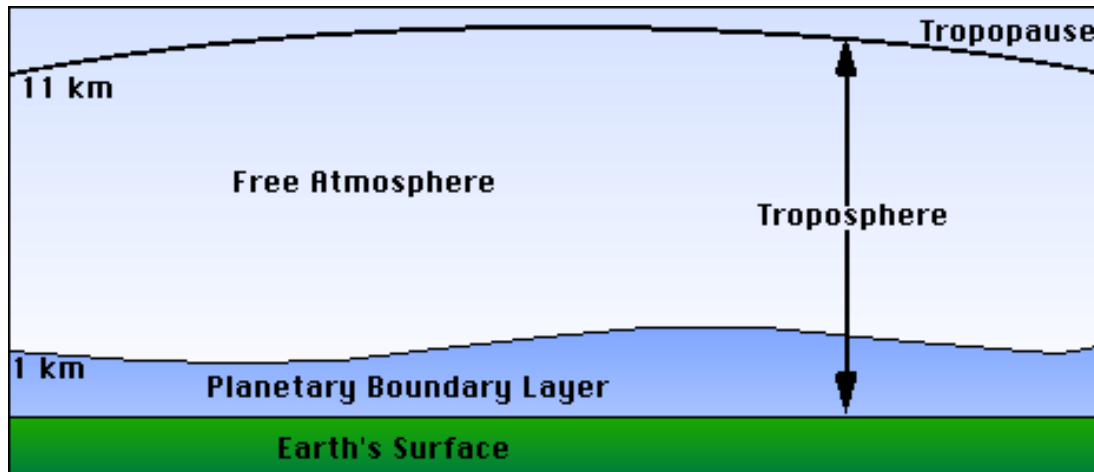
The physiographic analogy derives from the similarity between the pattern of isotherms and height contours of an island on a topographic map.

Heat islands commonly also possess “cliffs” at the urban–rural fringe and a “peak” in the most built-up core of the city.

The **annual mean temperature** of a large city (say **10^6** inhabitants) may be **1° – 2°C** warmer than **before development**, and on individual **calm, clear nights** may be **up to 12°C** warmer.

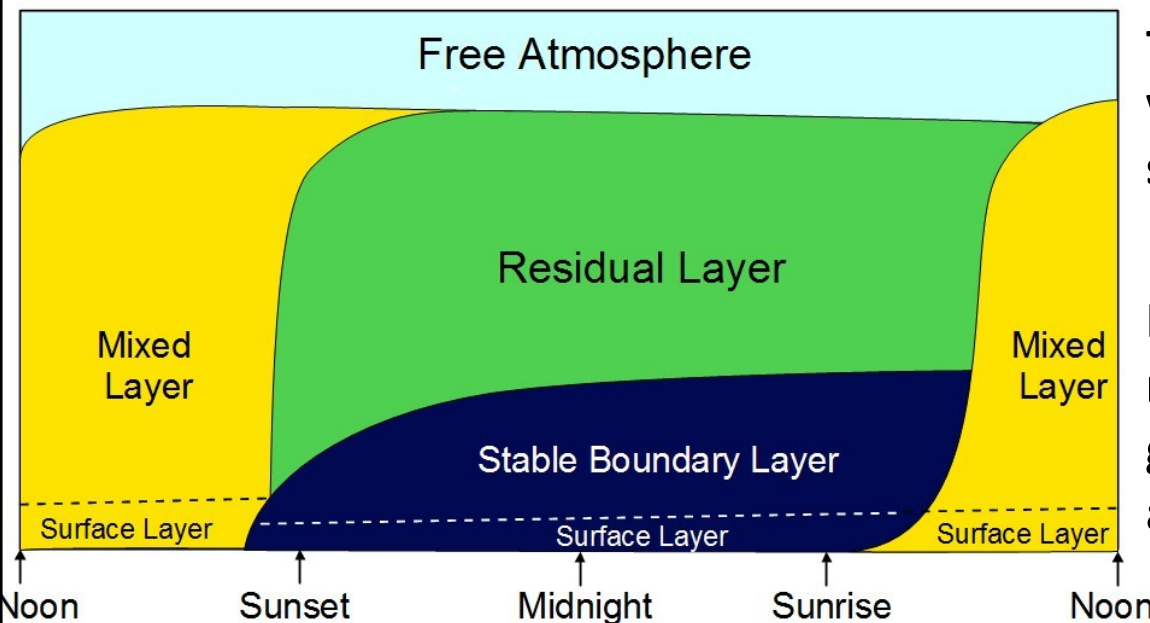
The warmth extends vertically to form an **urban heat dome in near calm**, and an **urban heat plume in more windy conditions**.

Lo strato limite planetario (PBL)



Lo **strato limite** planetario, o **Planetary Boundary Layer** (PBL),

è definito come quella porzione di troposfera posta a diretto contatto con il suolo, influenzata dalla superficie terrestre e che risponde alle variazioni atmosferiche con una scala di tempo di circa un'ora.



L'influenza della superficie si riflette in una marcata variazione giornaliera legata all'irraggiamento solare.

Struttura del PBL

Sottostrato viscoso: prevale la diffusione molecolare, spessore di pochi millimetri a contatto con la superficie (dove $V = 0$)

Sottostrato turbolento: elevato shear anche con vento debole, che produce vortici turbolenti (3D) di varie dimensioni, cui si può aggiungere la convezione; sia la turbolenza dinamica che quella termica sono efficaci nel trasferire quantità di moto e calore. Varia tra 30 e 3000 m (in media 1 km). Questo può essere:

- **stratificato** (SBL: Stratified BL), oppure
- **convettivo** (CBL: Convective BL o anche Well Mixed Layer)

Nel PBL le **equazioni del moto** devono tenere conto dei vortici turbolenti

Approssimazioni del moto turbolento

Nel PBL le equazioni del moto devono tenere conto dei vortici turbolenti, ma possono essere semplificate con:

- L'approssimazione di Boussinesque: la densità nei bassi strati varia relativamente poco con la quota e può essere considerata costante salvo che nel termine della Buoyancy (equilibrio idrostatico)
- La scomposizione di Reynolds: $\mathbf{u} = \underline{\mathbf{u}} + \mathbf{u}'$; $\mathbf{v} = \underline{\mathbf{v}} + \mathbf{v}'$; $\mathbf{w} = \underline{\mathbf{w}} + \mathbf{w}'$; $\Theta = \underline{\Theta} + \Theta'$ e l'annullarsi dei prodotti tra termini turbolenti e valori medi (costanti nel tempo): ad esempio

$$\underline{\mathbf{w}'} \underline{\Theta} = \underline{\mathbf{w}'} \underline{\Theta} = 0$$

- Un'ipotesi di chiusura del sistema di equazioni (indeterminato) che considera costanti i flussi turbolenti in senso orizzontale (in assenza di disomogeneità marcate della superficie) e ne annulla quindi i termini.

Equazioni del moto turbolento

Le equazioni del moto si riducono allora a:

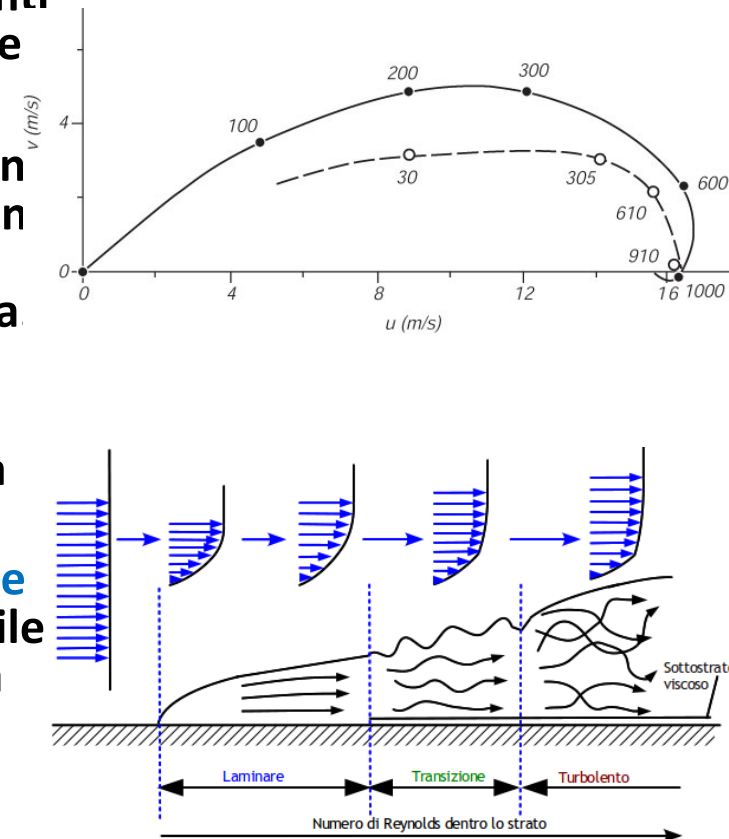
$$\underline{u} - u_g = -f^{-1} * (\partial/\partial z) (\underline{v'w'}) ; \underline{v} - v_g = +f^{-1} * (\partial/\partial z) (\underline{u'w'})$$

dove $(\underline{v'w'})$ e $(\underline{u'w'})$ sono le covarianze delle componenti turbolente del vento che possono essere parametrizzate

- Nello **strato turbolento e convettivo (CBL)** queste sono calcolabili dall'intensità del vento moltiplicato per un coefficiente d'attrito (drag) e il vento risulta essere inferiore a quello geostrofico e costante con la quota.
- Nello **strato turbolento e stratificato (SBL)** per la parametrizzazione si usa la lunghezza di rimescolamento (Prandtl) e si ottiene per il vento la spirale di Ekman (strato di Ekman)
- Nella parte inferiore del SBL, **detta strato superficiale (SL)**, dove l'effetto del vento geostrofico è trascurabile rispetto alla turbolenza, la parametrizzazione è data dalla velocità d'attrito (friction velocity):

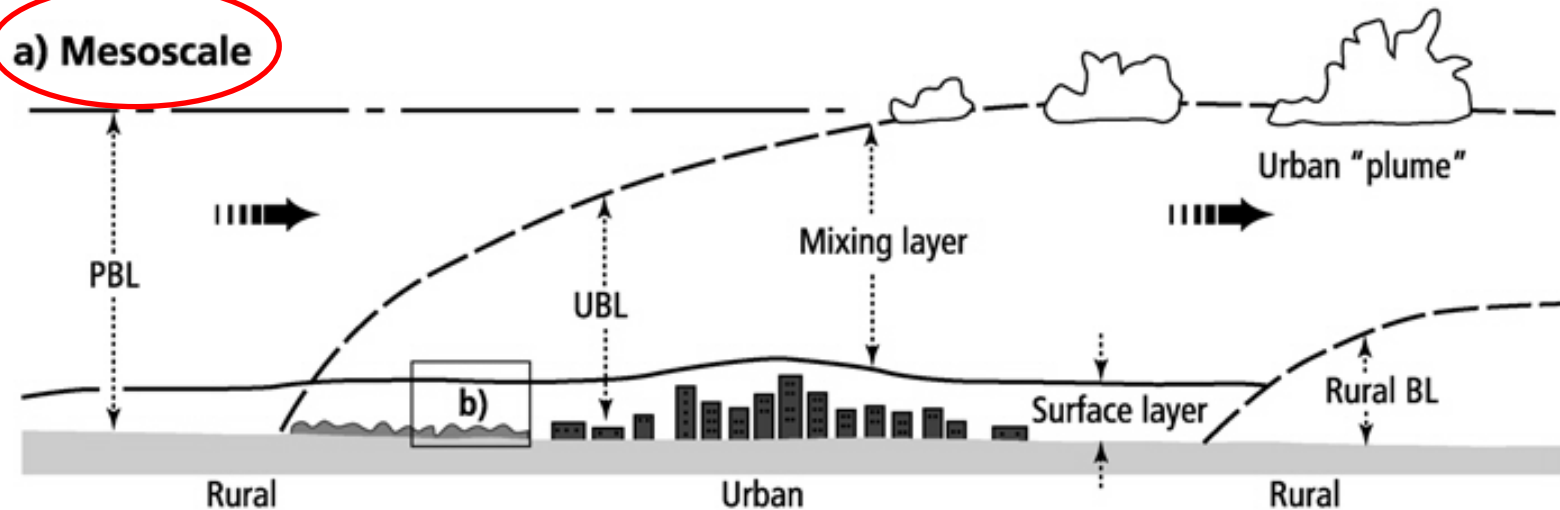
$$u_*^2 = |(\underline{u'w'})_s|$$

e si ottiene un profilo verticale del vento di tipo logaritmico.

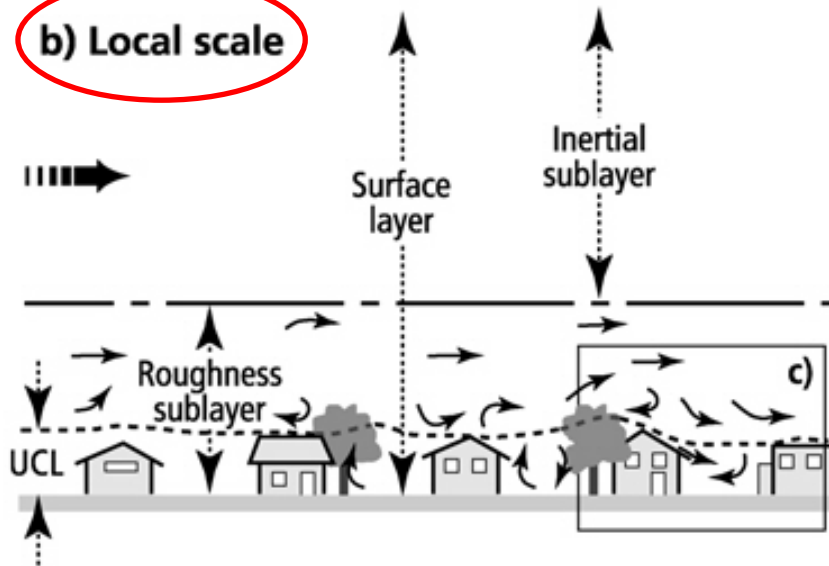


Lo strato limite in ambiente urbano

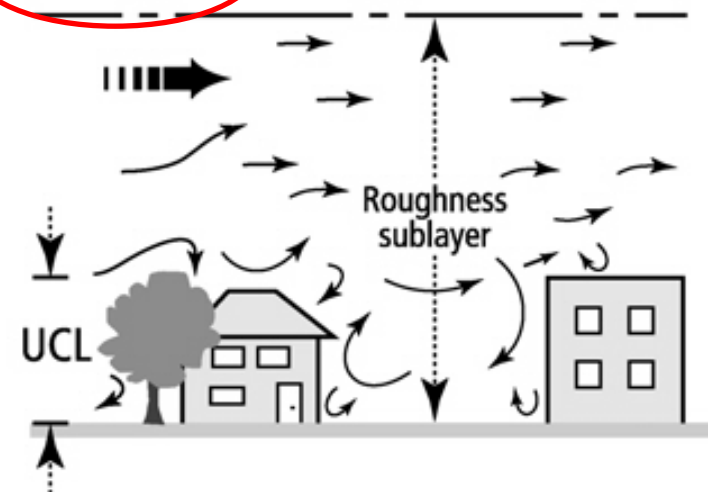
a) Mesoscale



b) Local scale

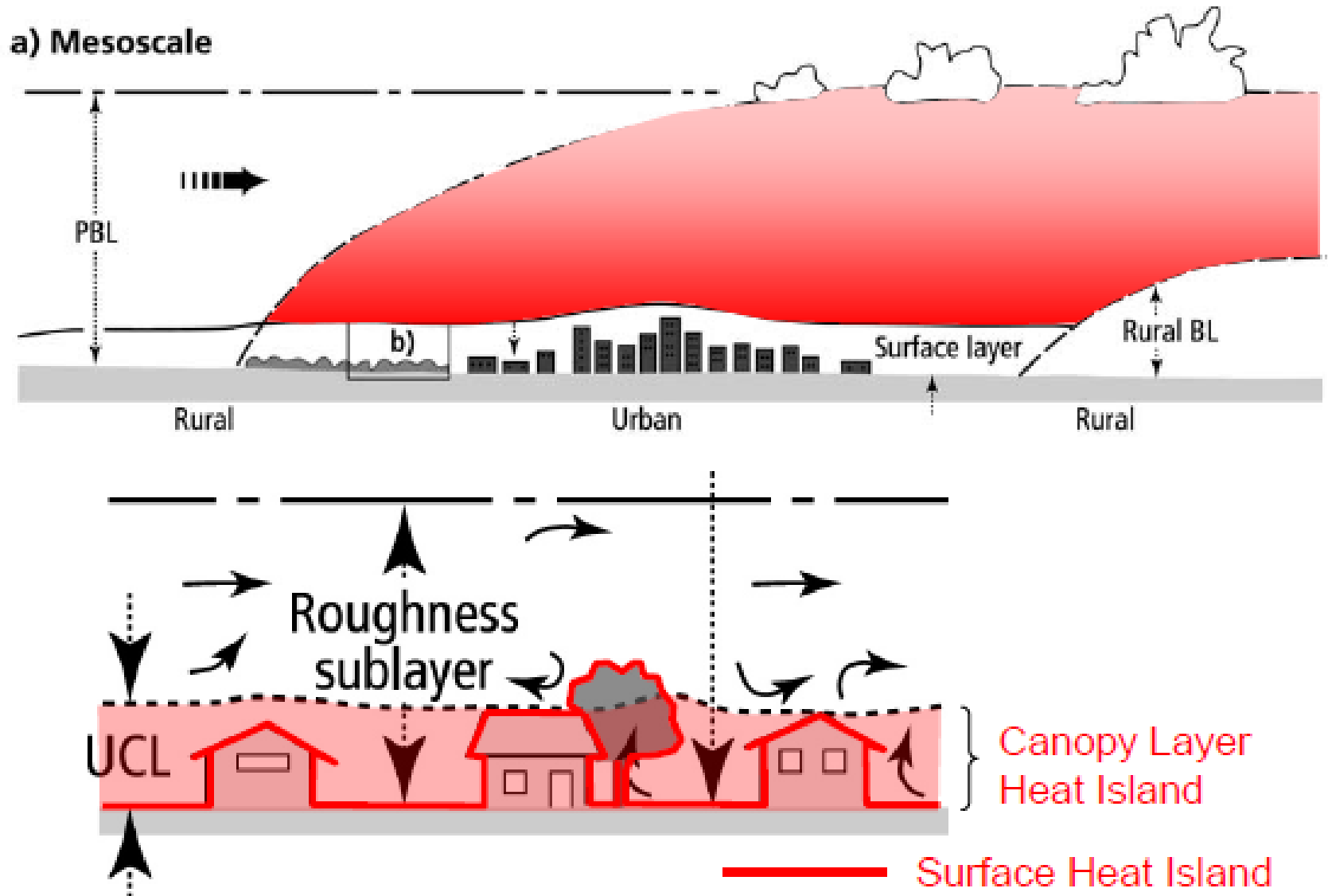


c) Microscale



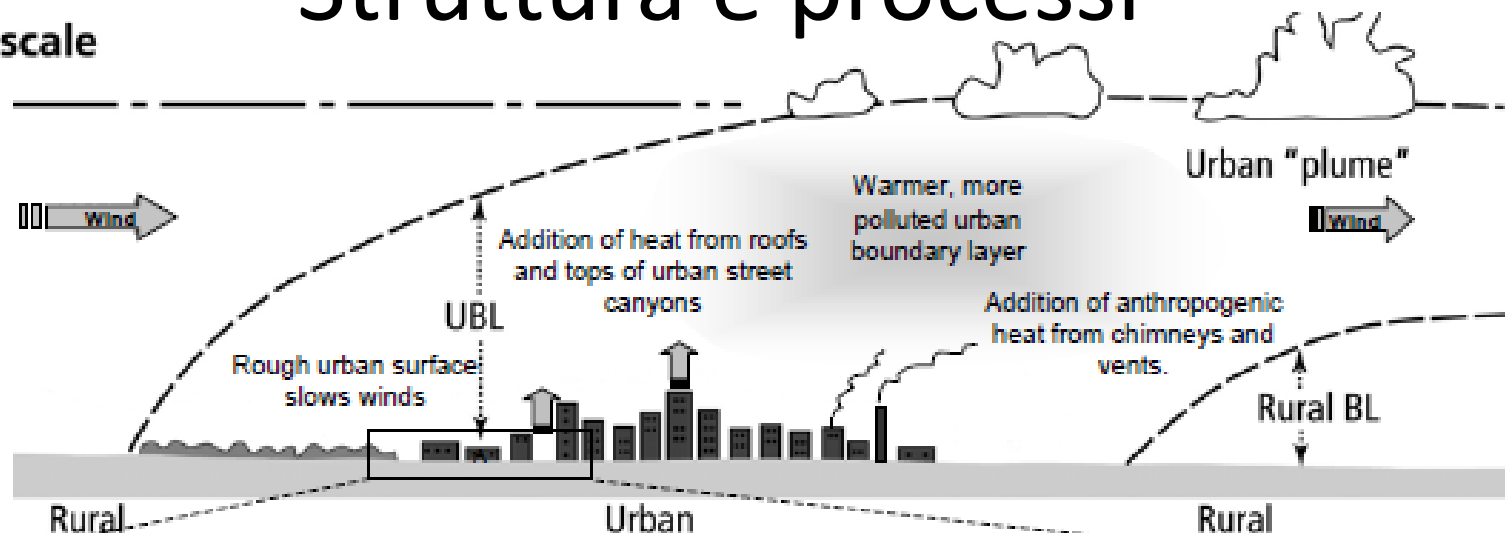
- **PBL**
 - ML
 - SL
- **Rural BL**
- **UBL**
 - ISL
 - RSL
 - UCL
 - Urban Plume/Dome

Lo strato limite urbano (UBL)

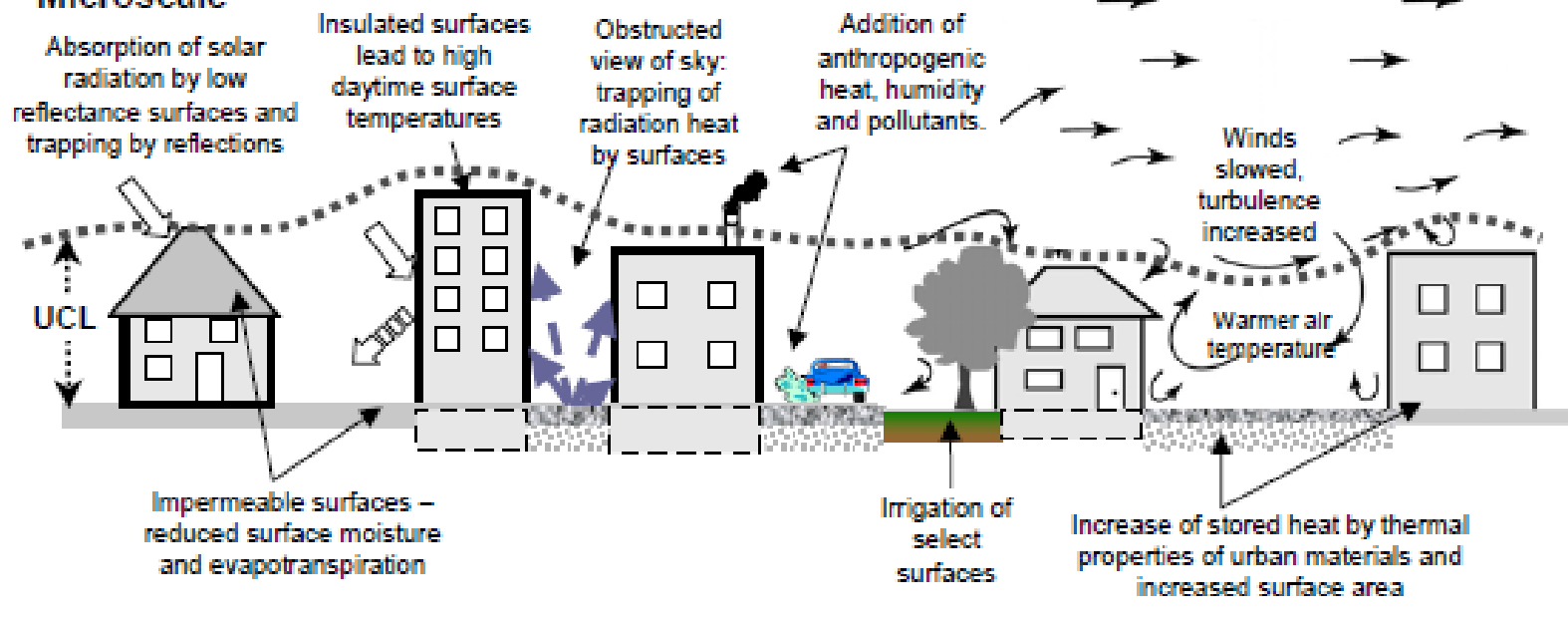


Struttura e processi

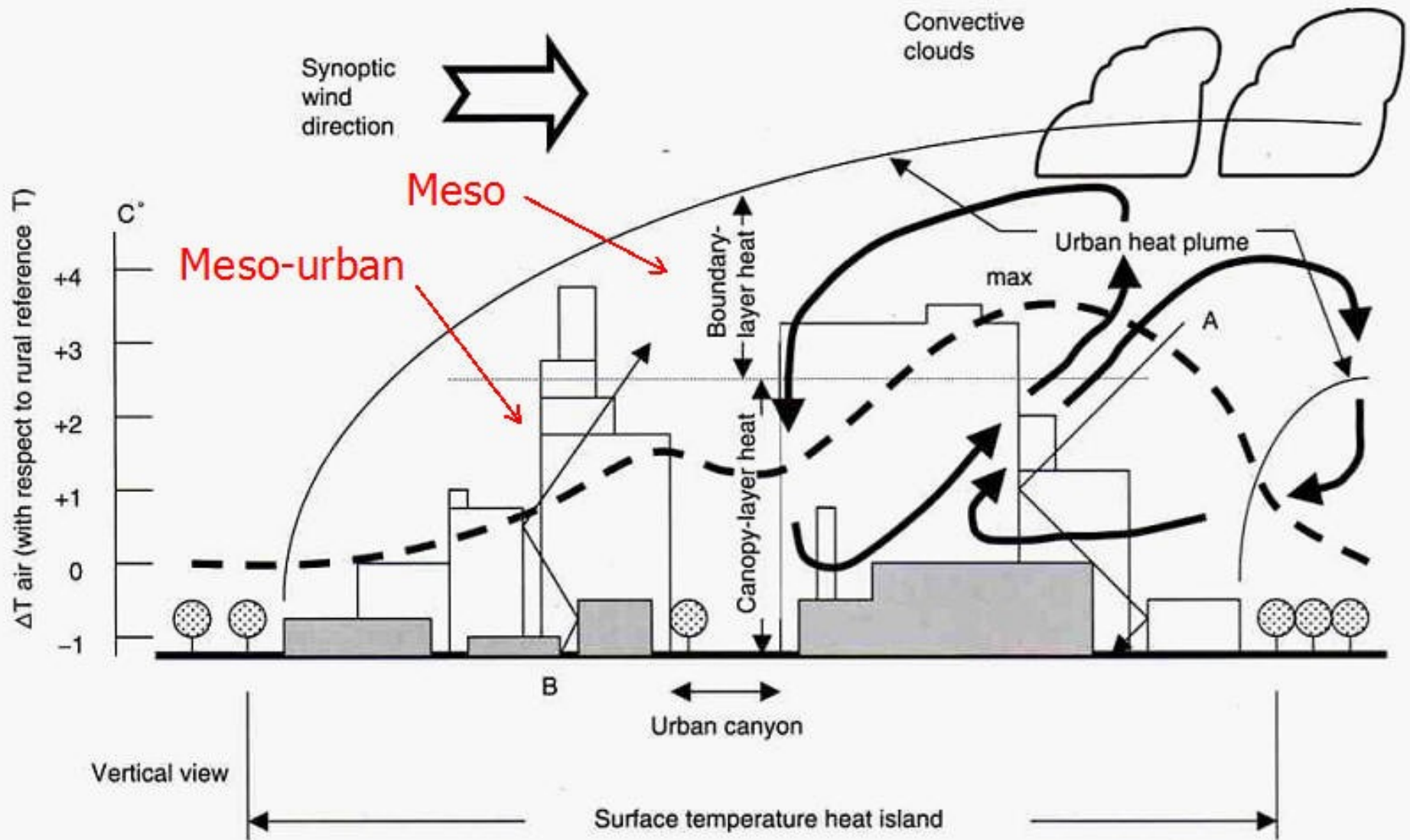
Mesoscale



Microscale



Modello concettuale dell'atmosfera urbana



Il fenomeno dell'Isola di Calore (UHI)

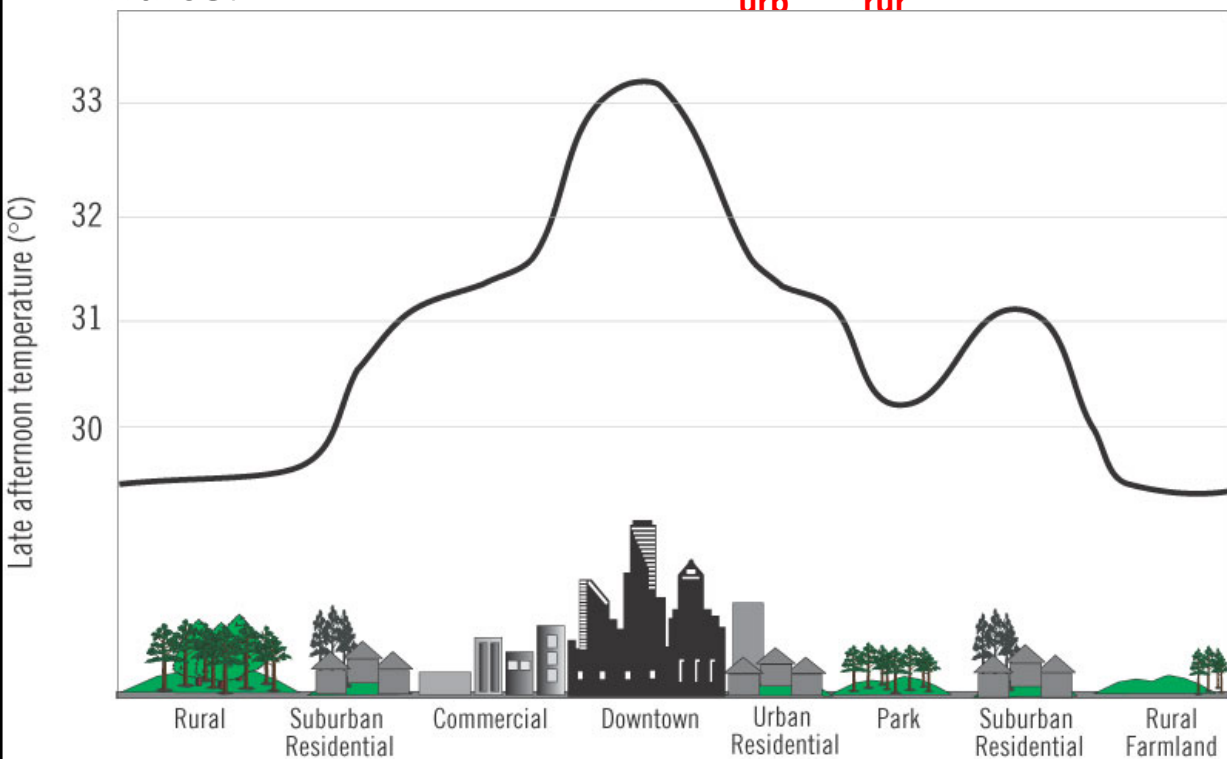
UHI: **Urban Heat Island** (Howard, 1810 e aggiornamenti)

- Definizione:

- Fenomeno microclimatico per cui un'area urbana manifesta una temperatura sensibilmente superiore, anche fino ad una decina di gradi, a quella rurale circostante a causa della diversa natura del suolo e del calore sensibile antropogenico

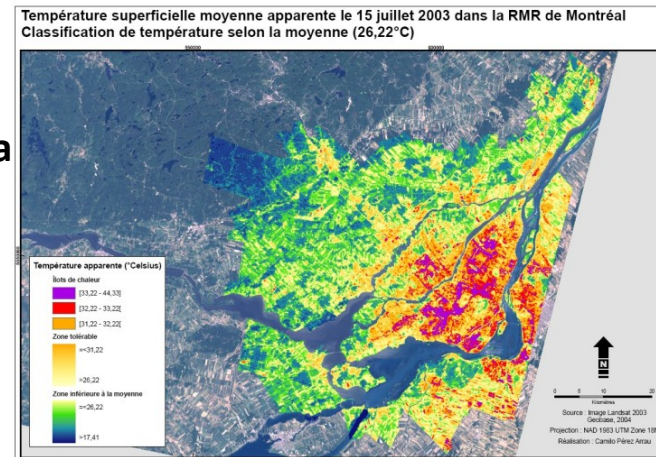
- Indice:

$$\Delta T = T_{urb} - T_{rur}$$

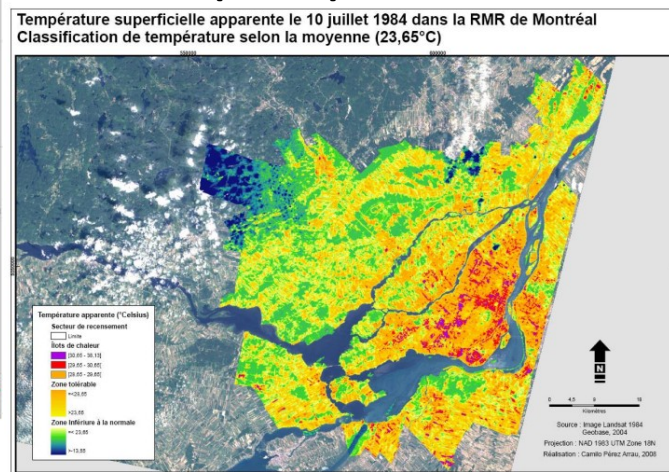


23/11/2017

G. Frustaci - Osservatorio Cavanis Venezia -
Workshop di Meteorologia Avanzata



UHI a Montreal: 2003 (sopra)
e 1984 (sotto)



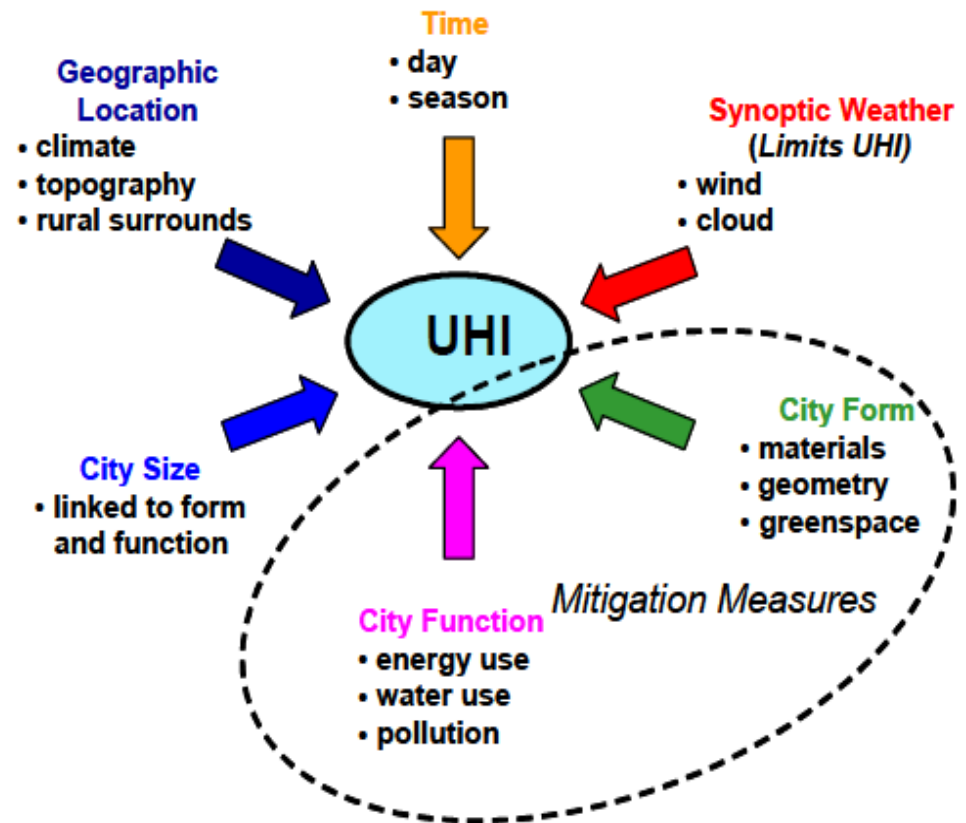
UHI (2)

Cause:

- Differente raffreddamento tra tessuto urbano e ambiente rurale
- Superfici 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

Descrizione:

- Temperatura più elevata di quella rurale, specialmente in assenza di vento
- Ridotta umidità ed evapotraspirazione
- Ridotta ventilazione

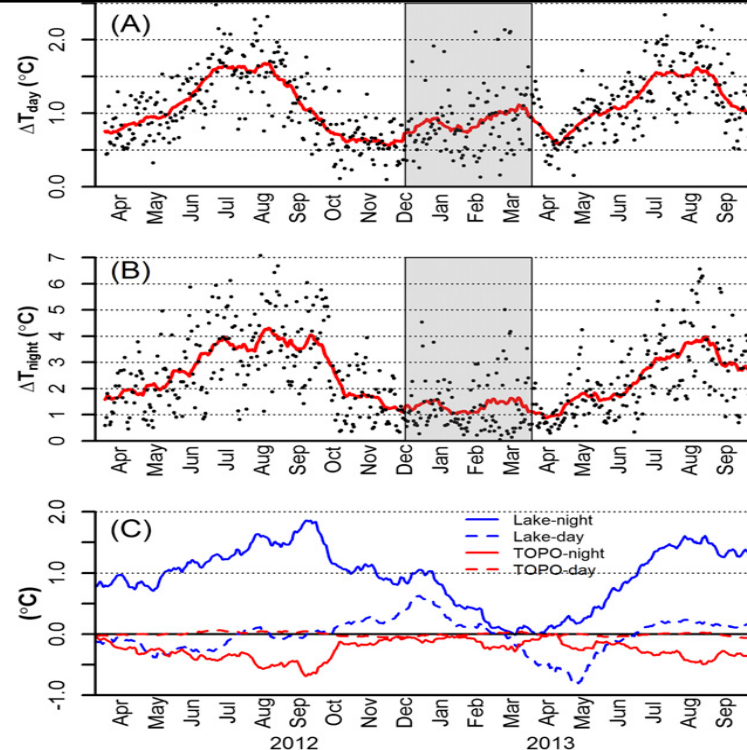


UHI (3)

Caratteristiche climatiche:

- Presente in estate e specialmente in inverno in caso di innevamento, in genere con scarsa ventilazione sinottica e ridotta nuvolosità
- Più intensa spesso durante la notte
- Dipende dalla conformazione urbana e dalla localizzazione geografica
- Riduce l'incidenza di nebbie, aumenta l'attività convettiva, induce una debole circolazione ciclonica

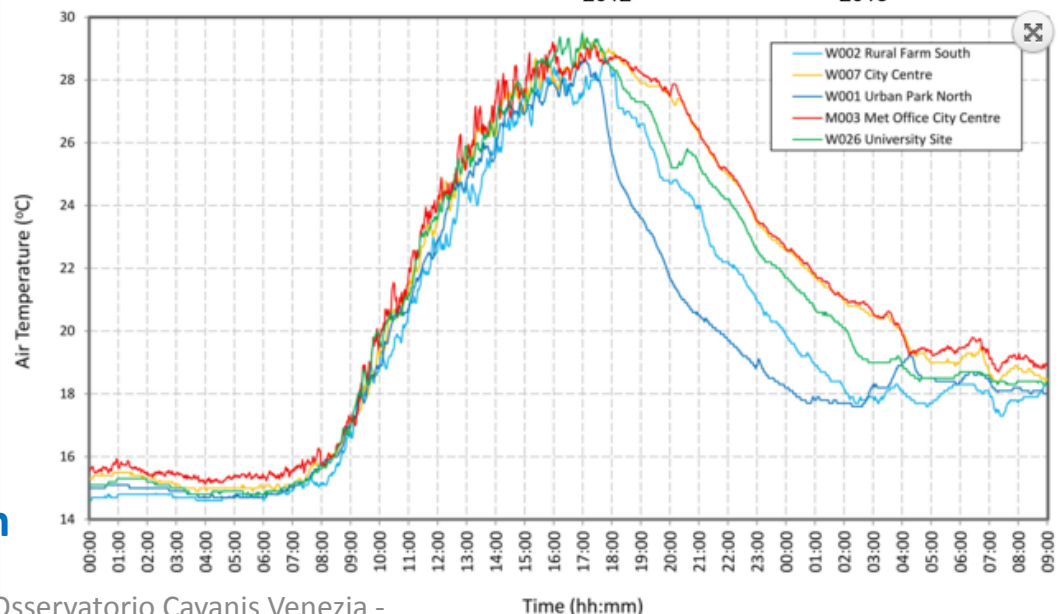
Stagionalità della UHI a Madison, Wisconsin)



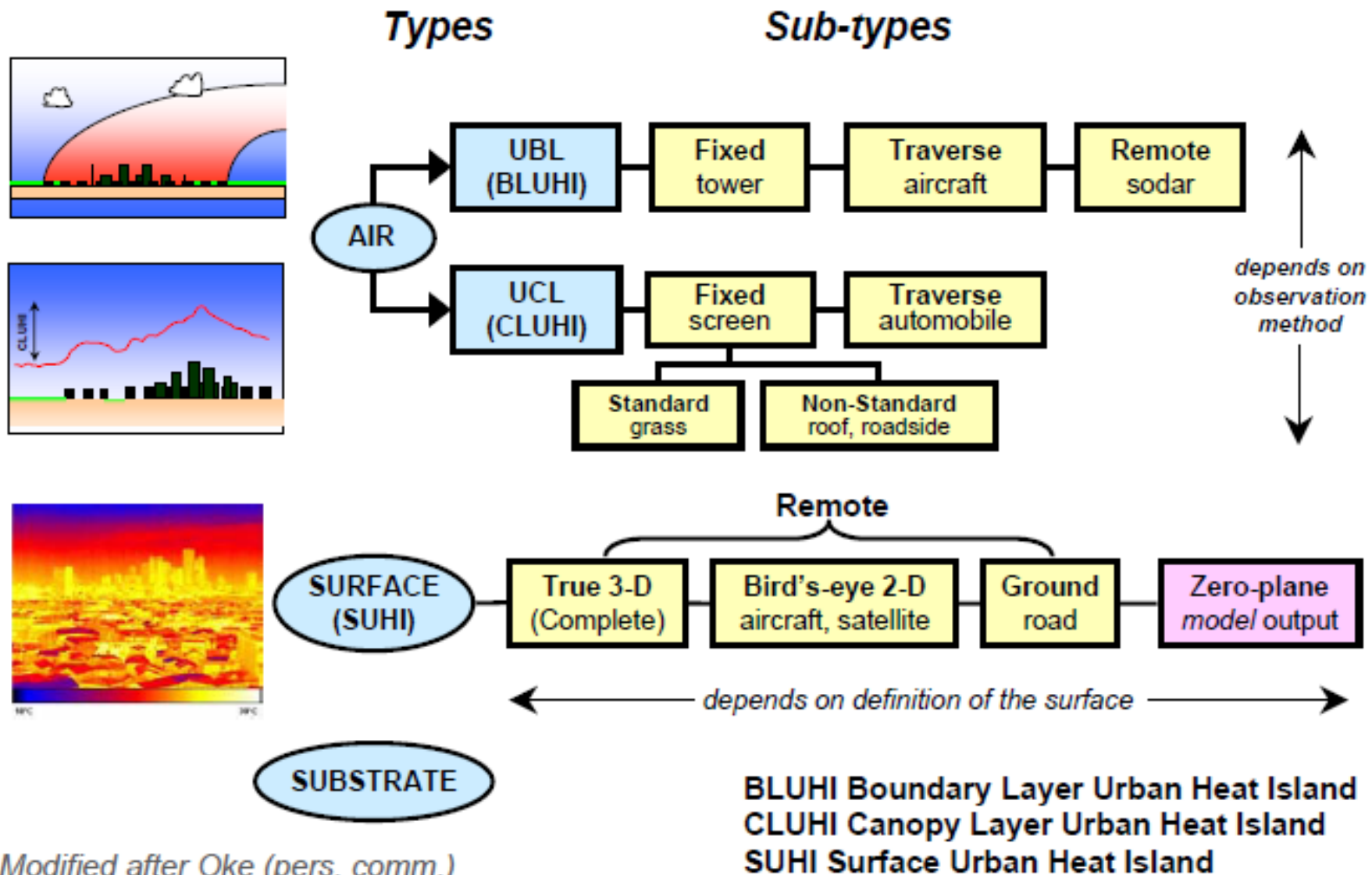
Esempi:

- Londra
- Milano
- Roma
- Birmingham
- New York City
- Ecc. Ecc.

Differenze tra città e campagna nel corso del giorno e della notte a Birmingham

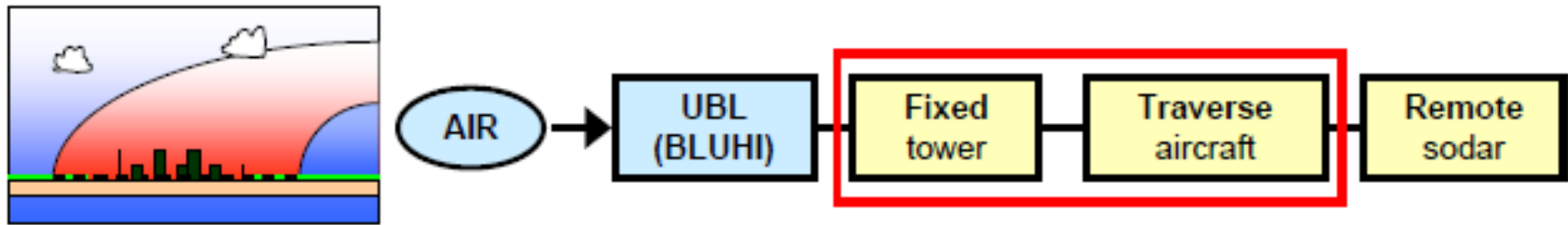


UHI Types and Measurement Approaches



Modified after Oke (pers. comm.)

Boundary Layer Urban Heat Island Measurements

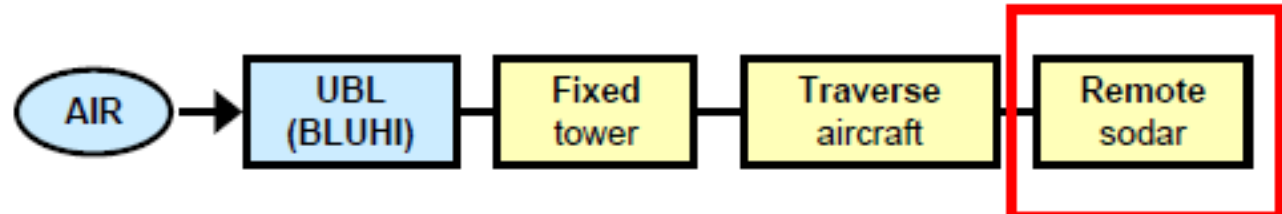
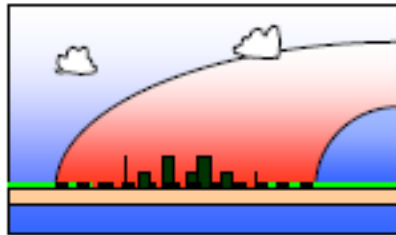


- Tower – temperature sensors mounted on tall towers in urban and rural regions
 - Sensors must be kept well away from tower:
 - 10 tower diameters for open towers
 - Two boons: 3x structure diameter for solid towers
- Tethered balloons – profiles of temperature (subject to aviation, wind, storm restrictions)
- Radiosondes (“free” balloons) – profiles of temperature (may be aviation restrictions)

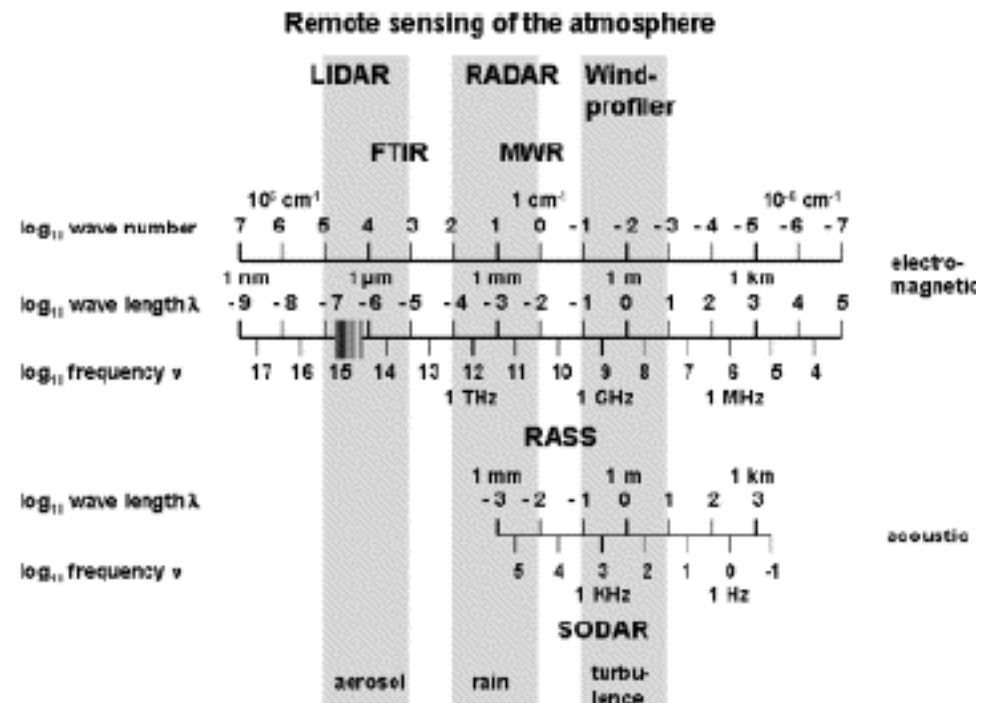
Note that at least two towers, balloons or radiosondes are required to identify a UHI

- Traverse – aircraft-mounted temperature sensors flown across an urban area

Boundary Layer Urban Heat Island Measurements

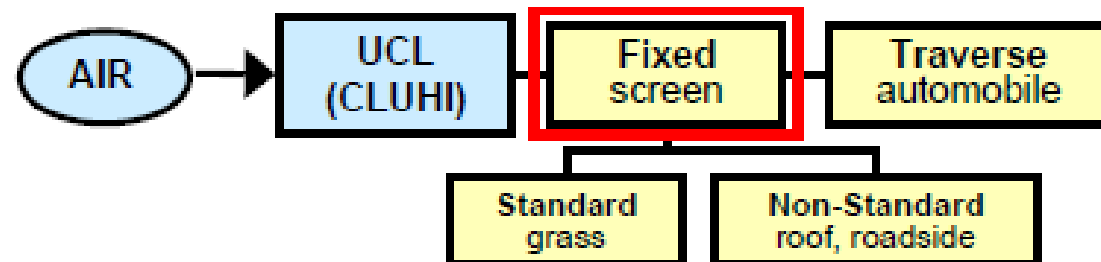
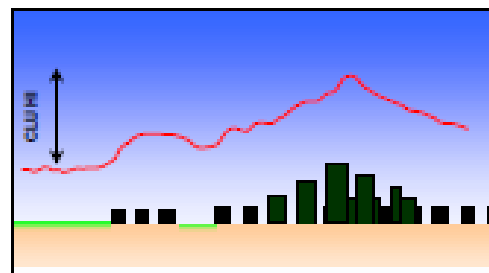


- SODAR: sound detection and ranging – can be problems with urban deployment
 - Background noise
 - Noise for residents
- Microwave radiometers
- RASS: radio acoustic sounding system
- Ceilometer (LiDAR)



Emeis et al. (2004)

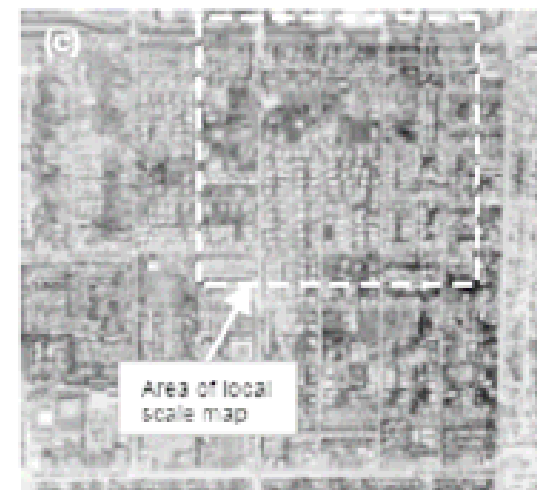
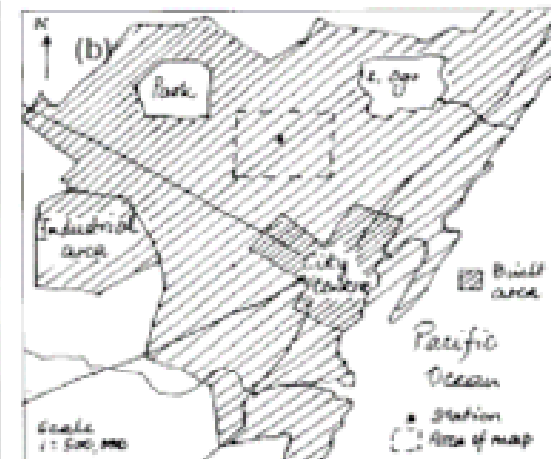
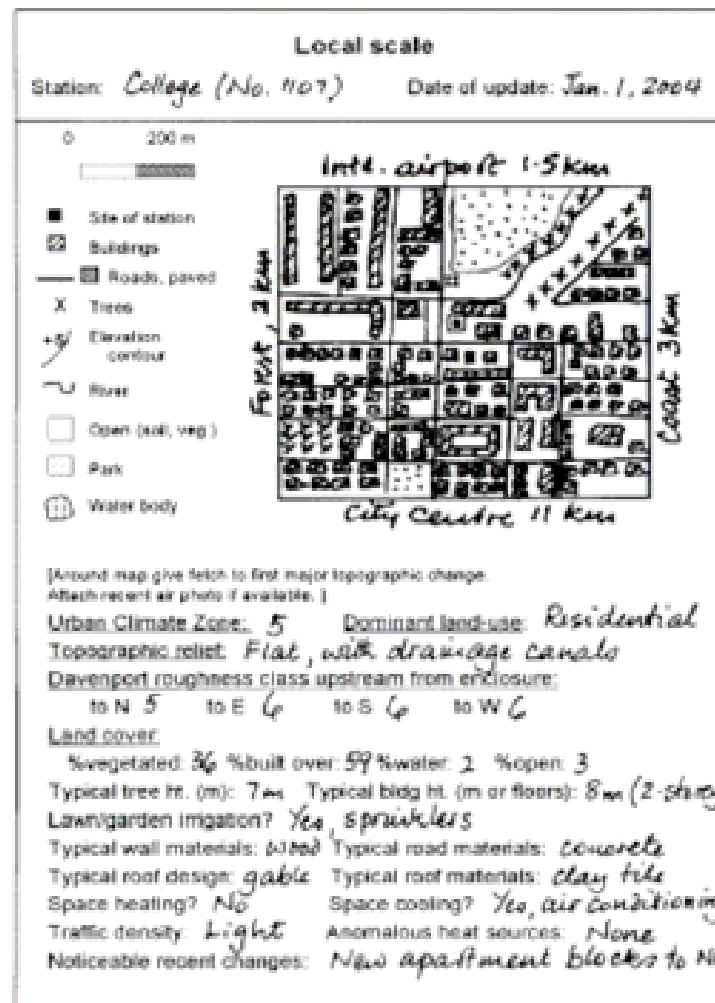
Canopy Layer Urban Heat Island Measurements



- Networks of sensors at standard or screen-level (~1.3 m)
 - Network design should consider the Lowry (1977) conceptual model – particularly with respect to locating urban and rural sites.
 - Sensors must be adequately shaded and ventilated in order to provide reasonable measurements
 - Sensor location is critical in urban environments
 - What are the measurements trying to represent?
 - What is the sensor source area – the surface type upwind of the measurement site?
 - Are there multiple rural – non-urban types surrounding the city?

Urban Measurements : Assess Local Scale Surroundings

- Urban climate zone
- Dominant land-use
- Topography
- Roughness Class
- % of land cover
veg/
built/water/open
- Tree & building ht
- Irrigation
- Typical building
materials
- Space
heating/cooling
- Anomolous heat
sources
- traffic density



Urban Measurements: Assess Microscale Surroundings

Sensor heights

Surface cover

Soil/materials
under cover

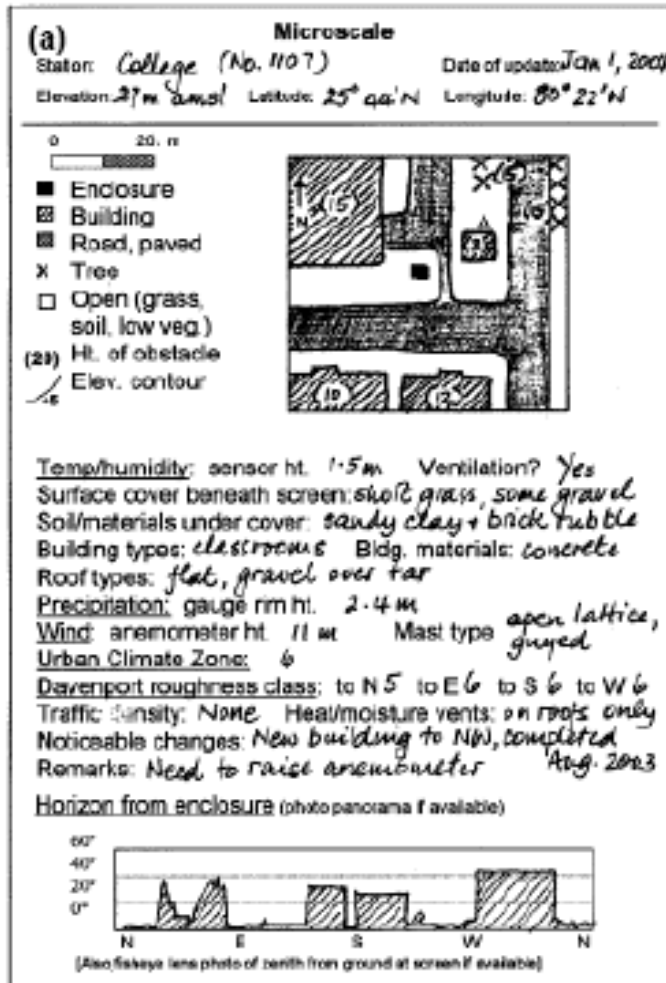
Building types
and materials

Roof types

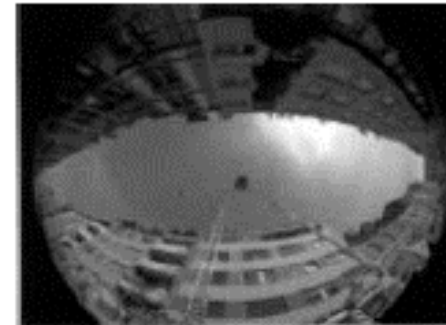
Urban Climate
Zone

Roughness class

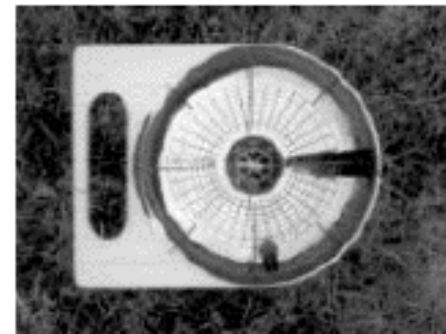
Changes



(b)

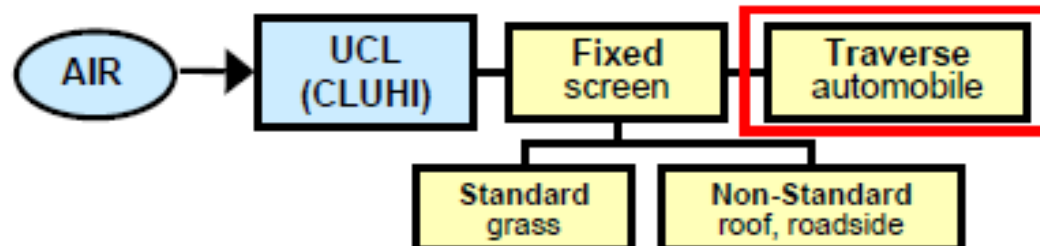
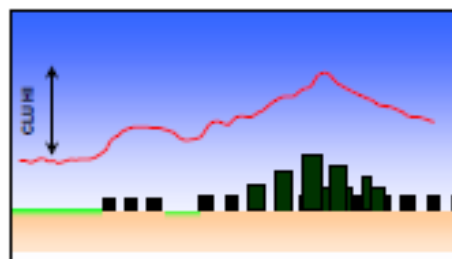


(c)



WMO/Oke (2006)

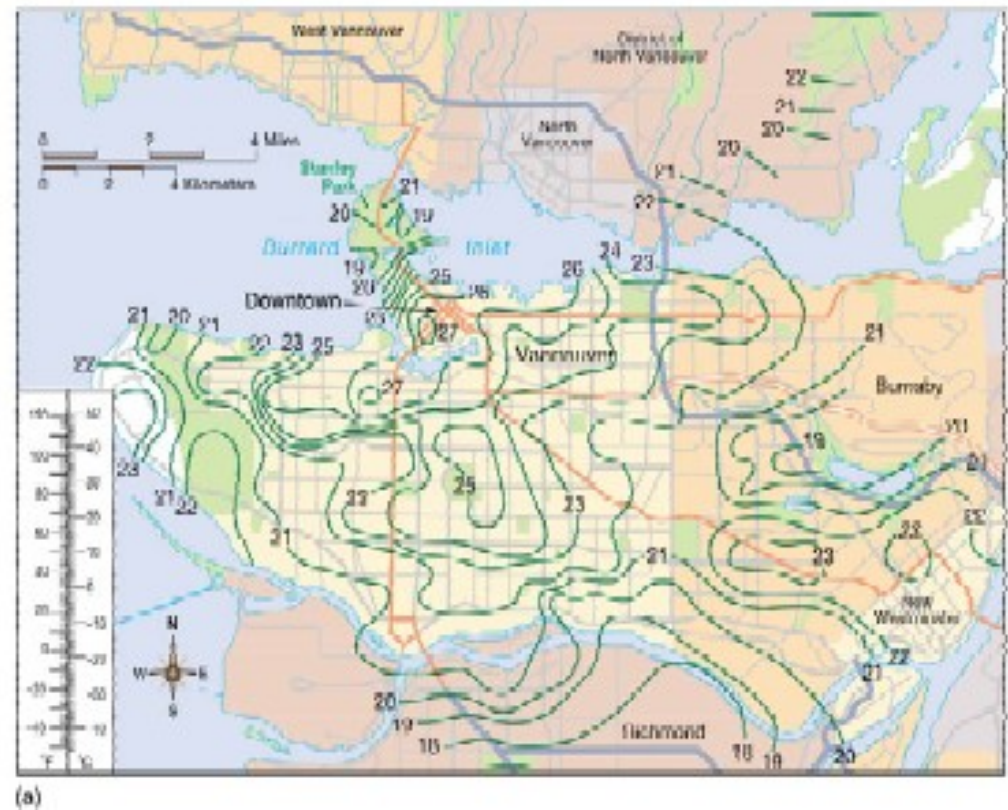
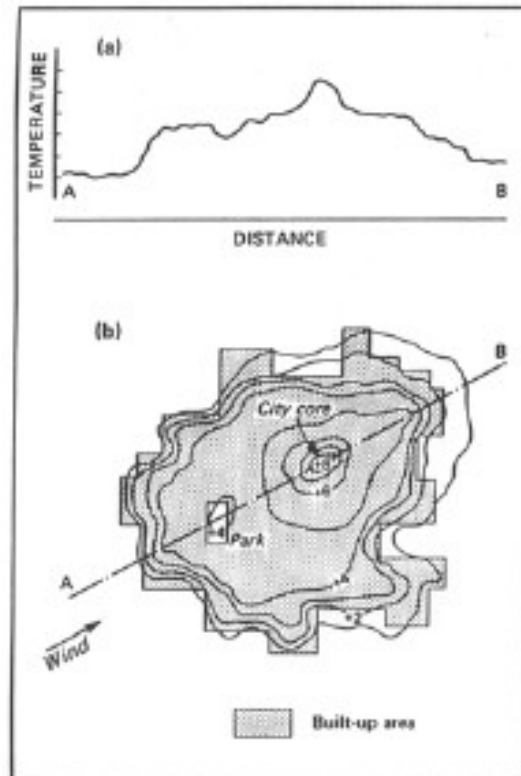
Canopy Layer Urban Heat Island Measurements



- Corrections required for temperature changes during the time of the traverse – at least the start and end-points must be common. Assumption of linear cooling may be inadequate.
- Instrument exposure: avoid influences of vehicle exhaust / engine heat. Provide shaded/ventilated sensor.
- Consider spatial vs temporal sampling – variations in vehicle speed influence number of observations (e.g. over representation of intersections?)
- The source area of the sensor should be considered – not necessarily representative of larger land use area.

Canopy Layer Urban Heat Islands

- Canopy Layer: heat island is a maximum at night, under calm and clear conditions (max 12°C, annual average 1-2°C). May be small or even negative during the day.

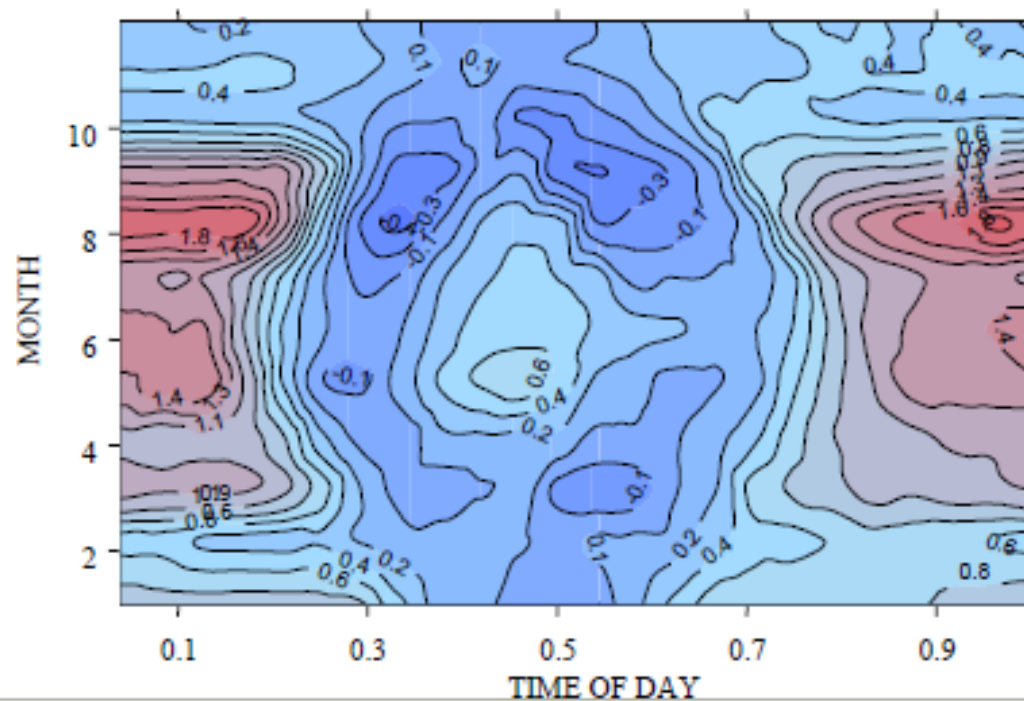


Oke (1982)

Aguado and Burt (2004)

Urban-Rural Station Pair: Lodz, Poland

LODZ - T_{u-r} 1997-1999

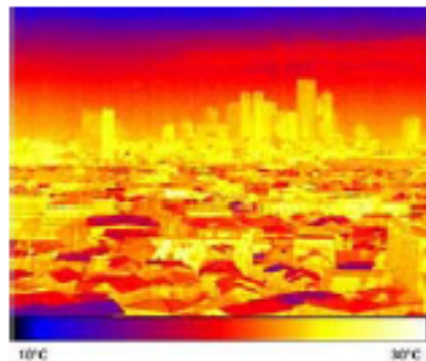


The urban-rural sites for this set of data are well sited and clearly show:

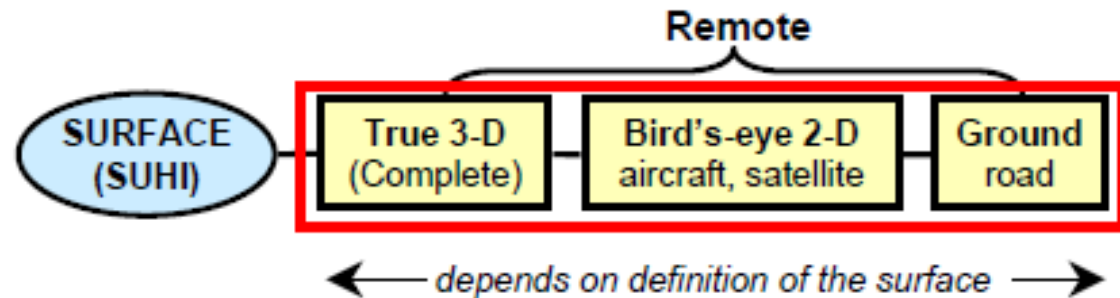
- seasonal pattern with daylength and the control exerted by synoptic weather (wind, cloud & high rural wetness reduce CLUHI)
- daily pattern with daytime minimum (negative) and nocturnal maximum

Data supplied by Klysik and Fortuniak

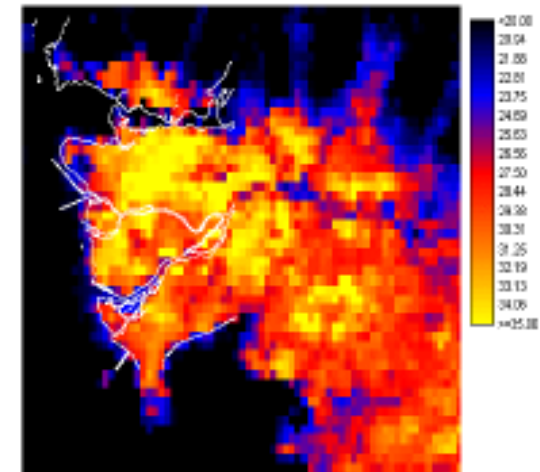
Surface Urban Heat Island Measurement



Tokyo – dense housing and Shinjuku business district



- Thermal remote sensing – uses non-contact instruments that sense longwave or thermal infrared radiation to estimate surface temperature.
- Clear weather limitation (for satellites)
- Spatial view of the urban surface (although not all surfaces seen)
- Relative temperature measurement – for comparison between images may require correction for atmospheric and surface effects

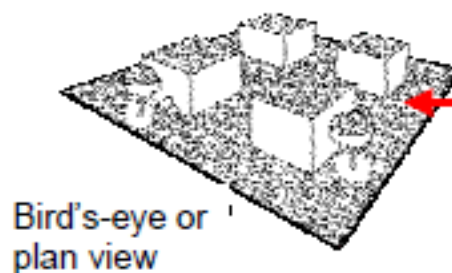
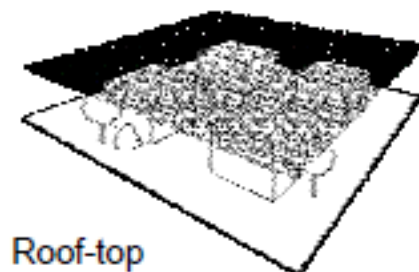
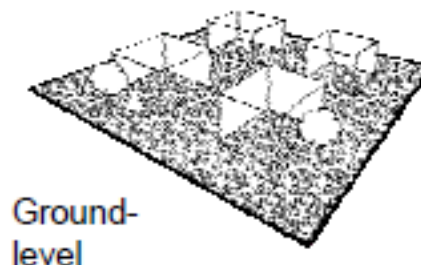
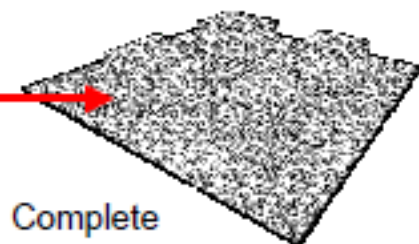


Vancouver - urban area on a coastal delta with mountains (top), sea (left) and farmland (to right and bottom)

Definitions of the Urban Surface

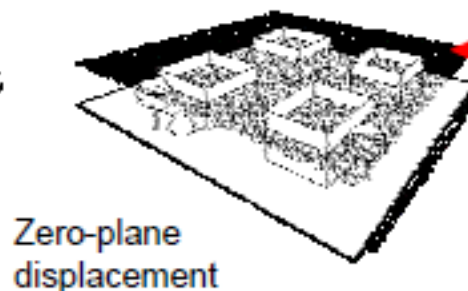
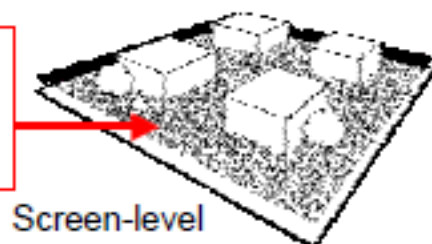
- Surface definitions are important to remote sensing of urban heat island (sensors see the surface directly) and for comparing remote sensing to other measurements or model output

**Models:
surface UHI**



**Surface UHI (as
viewed by a nadir
remote sensor)**

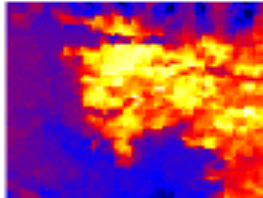
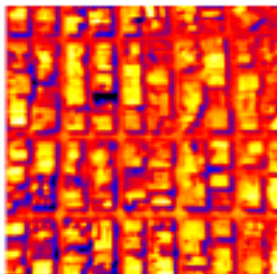
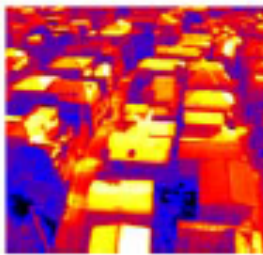
**Air temperature
Measurements:
canopy layer UHI**



**Some numerical
models: canopy
layer UHI**

Voogt and Oke (1997)

Platforms for Thermal Remote Sensing of Urban Areas

Platform	Sample Image	Comments
Satellite		Extensive spatial coverage; temporal coverage may be limited. Impacted by weather and atmosphere. Spatial resolution may be limited.
Aircraft		Higher resolution, more detail of urban features. High cost, irregular coverage. Non-standardized product.
Ground-based		May provide unique perspective of some urban features. Possibility of high temporal resolution, can avoid corrections due to atmospheric influence.

Some Platforms/Sensors used for Thermal Remote Sensing

- Satellite (spatial and temporal resolution for thermal band sensors)
 - GOES (4 km – up to once every 15 min)
 - AVHRR (1.1 km – daily global coverage - two passes per day)
 - MODIS (1 km – global coverage every 1-2 days)
 - Landsat (120 or 60 m - 16 day repeat coverage)
 - ASTER (90 m - 16 days)
- Aircraft/Thermal scanner (spatial resolution depends on sensor and aircraft altitude)
- Ground-based/Infrared Thermometer (spatial resolution – determined by sensor and sensor distance from surface)

Surface Temperature

Temperature of every surface depends on: its surface energy balance, which is governed by its properties:



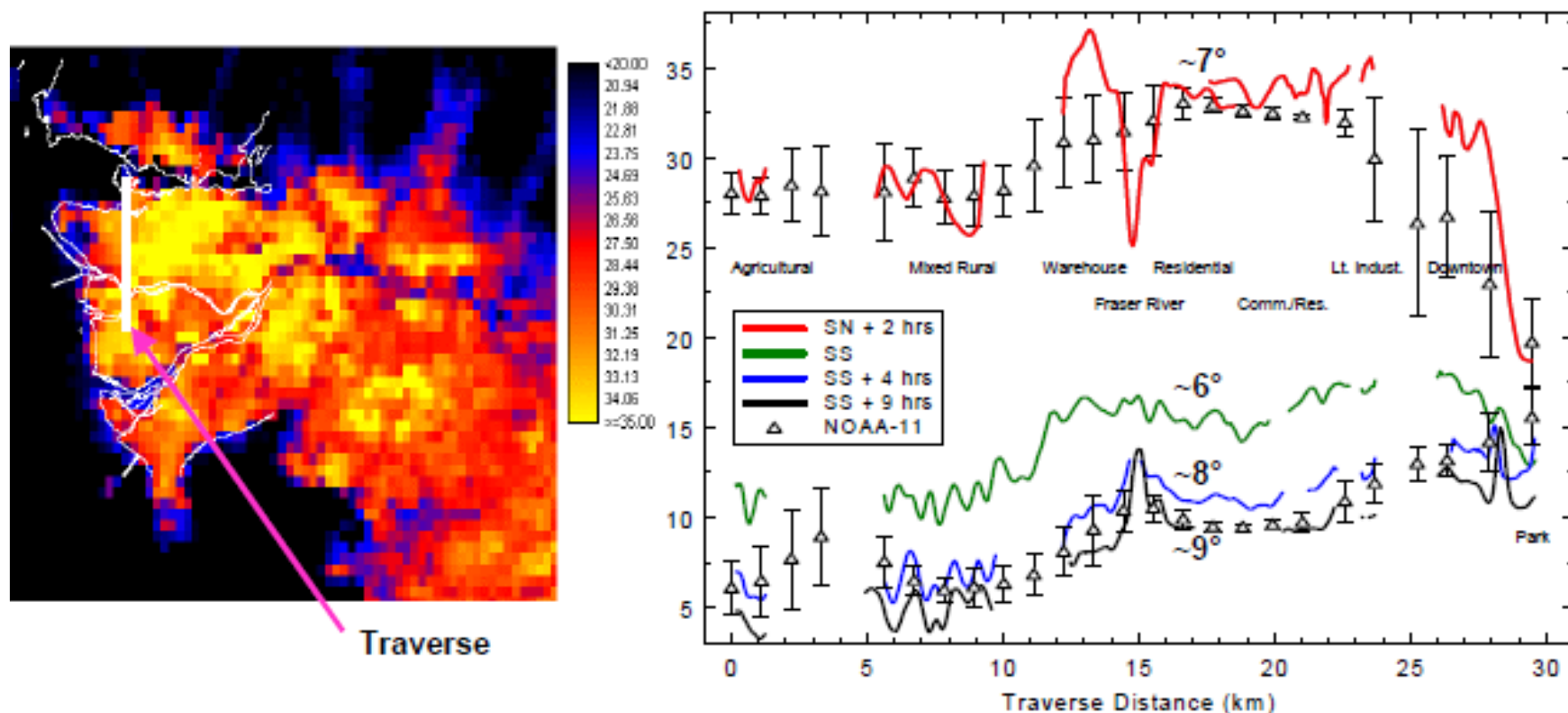
- orientation and openness to Sun, sky and wind
- radiative ability to reflect solar and infrared, and to emit infrared
- availability of surface moisture to evaporate
- ability to conduct and diffuse heat
- roughness

These facts are the basis of most mitigation methods,
i.e. the provision of:

- shade & shelter (trees, awnings, narrow spaces)
- high reflection or emission of radiation (light surfaces, surface films)
- surface moisture (water, vegetation, permeable covers)
- good or poor heat storage (massive walls, roof insulation)

Surface Urban Heat Island

Aircraft and satellite thermal analysis of Vancouver surface heat island at 4 times on a fine August day



Surface Urban Heat Island (SUHI) is large both day and night.

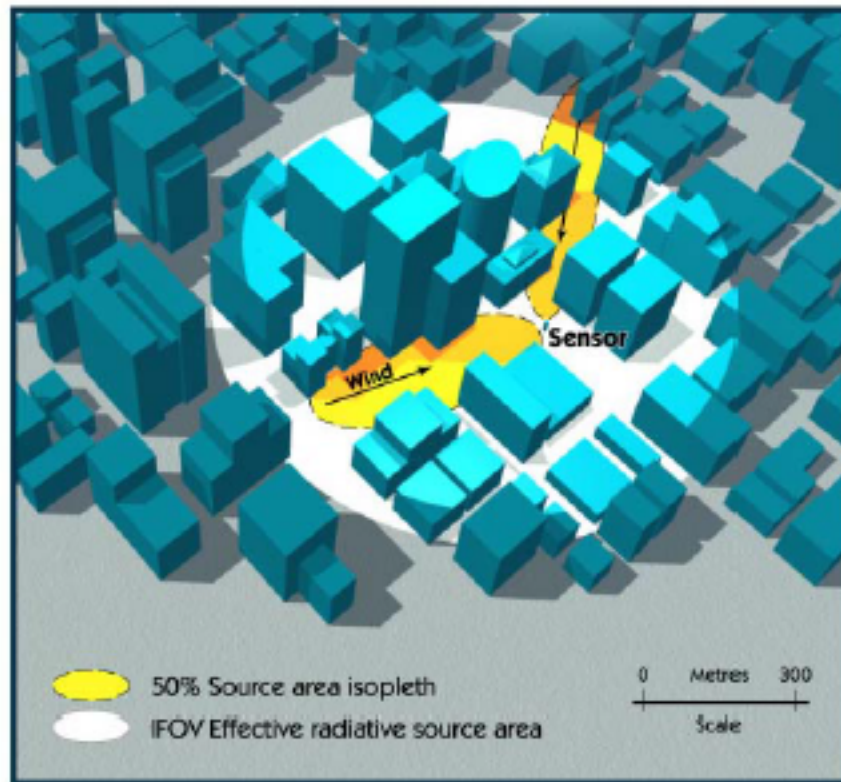
Land use areas with large amounts of visible impervious surfaces appear hot during the day (Warehouse, Lt industrial)

Large diurnal temperature range.

At night large and positive SUHI, maximum at end of night.

Radiative Source Areas: What does a remote sensor “see”?

White outline: IFOV of a thermal remote sensor (but not all surfaces are seen within the circular outline)



Yellow ellipse: source area for a thermometer measuring air temperature

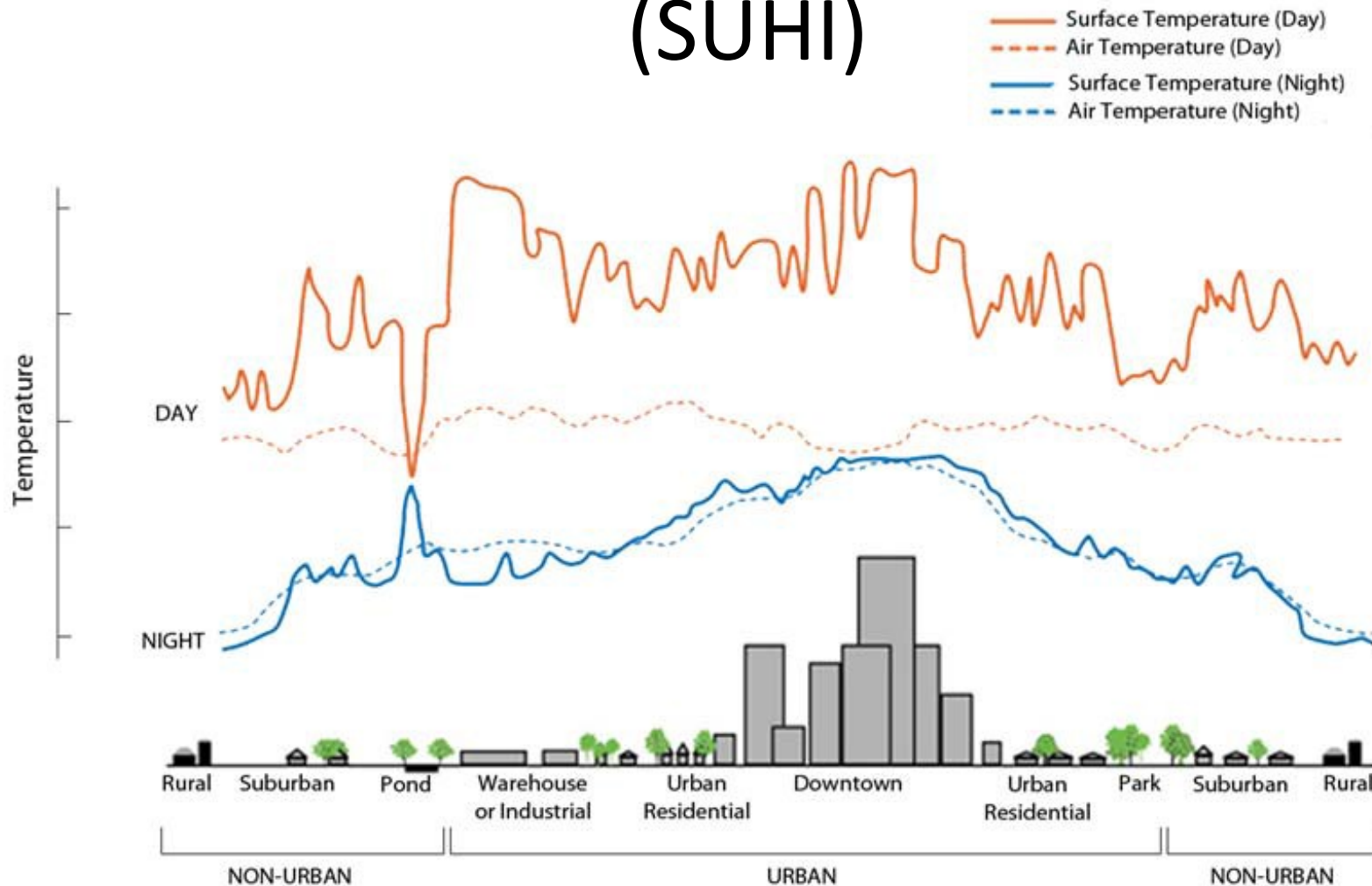
Thermal remote sensing instruments are “line of sight” instruments.

When using thermal remote sensing to view an urban surface, recognize that:

- 1) Not all surfaces will be viewed (often a bias to a “bird’s eye” view)
- 2) The “source area” for the remote sensor may not match that of other sensors on the ground (that have source areas that depend on wind direction, height of the sensor and atmospheric stability and turbulence.)

Voogt and Oke (2003)

L'isola di calore urbana di superficie (SUHI)



n

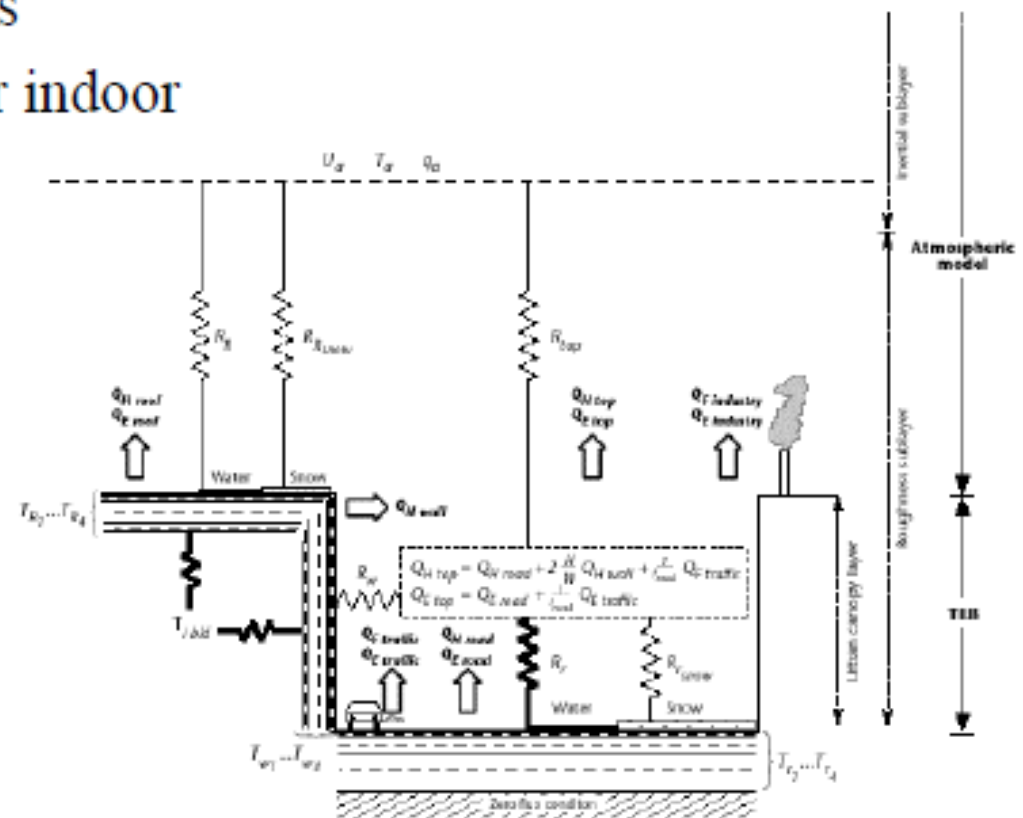
Temperature epidermiche diurne e notturne in aree con diverso utilizzo del suolo (Voogt, 2000)

Modelling Urban Heat Islands

- *Numerical* (using computer code) – ranges from very simple (spreadsheet based) to highly complex (CFD)
- *Empirical* (statistical) – based on collective observations and/or model simulations
- *Scale models*: outdoor or indoor



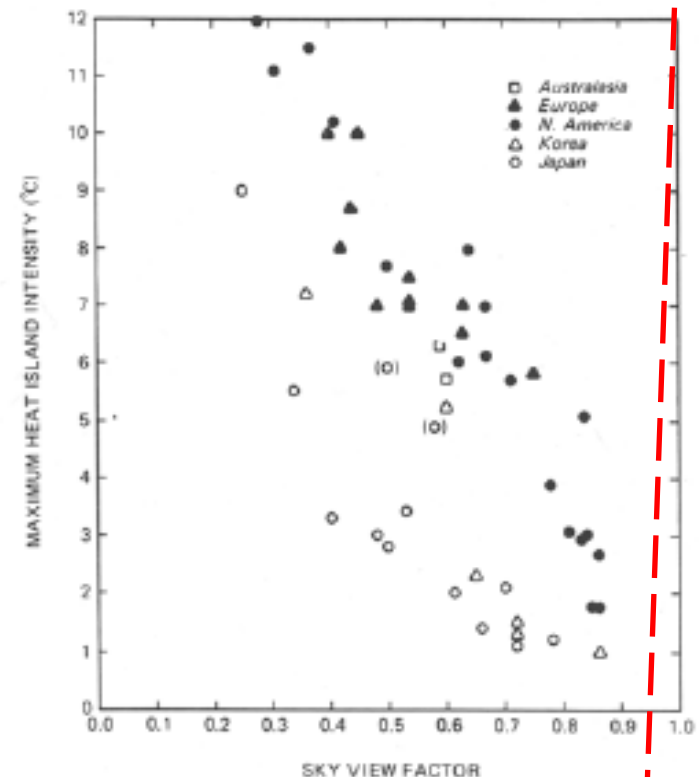
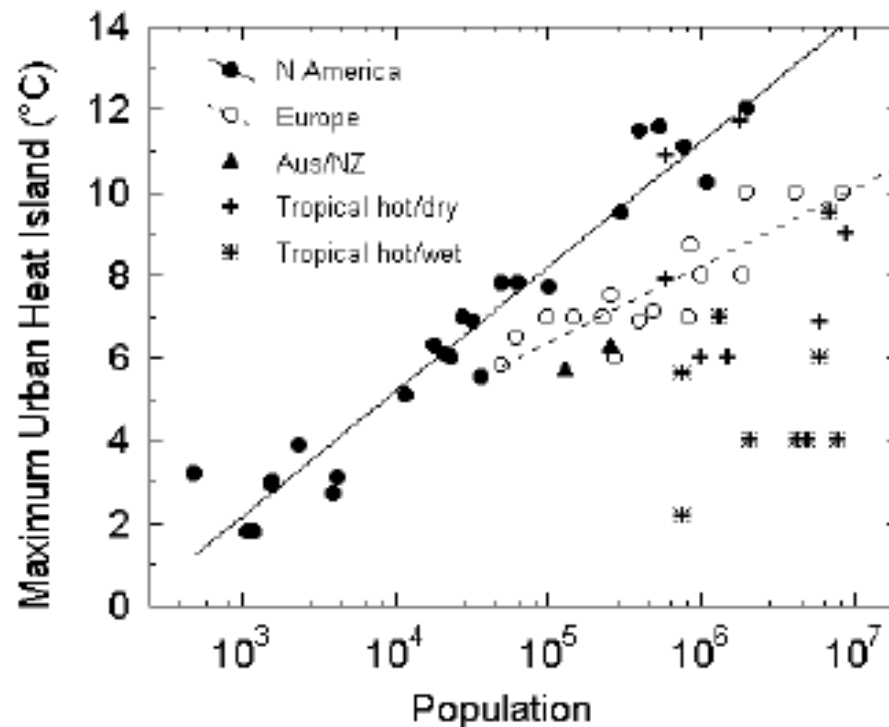
<http://www.cv.titech.ac.jp/~kandalab/COSMO/COSMO.html>



Town Energy Balance Model (Masson 2000)

Statistical Models of Urban Heat Islands

Sky View Factor



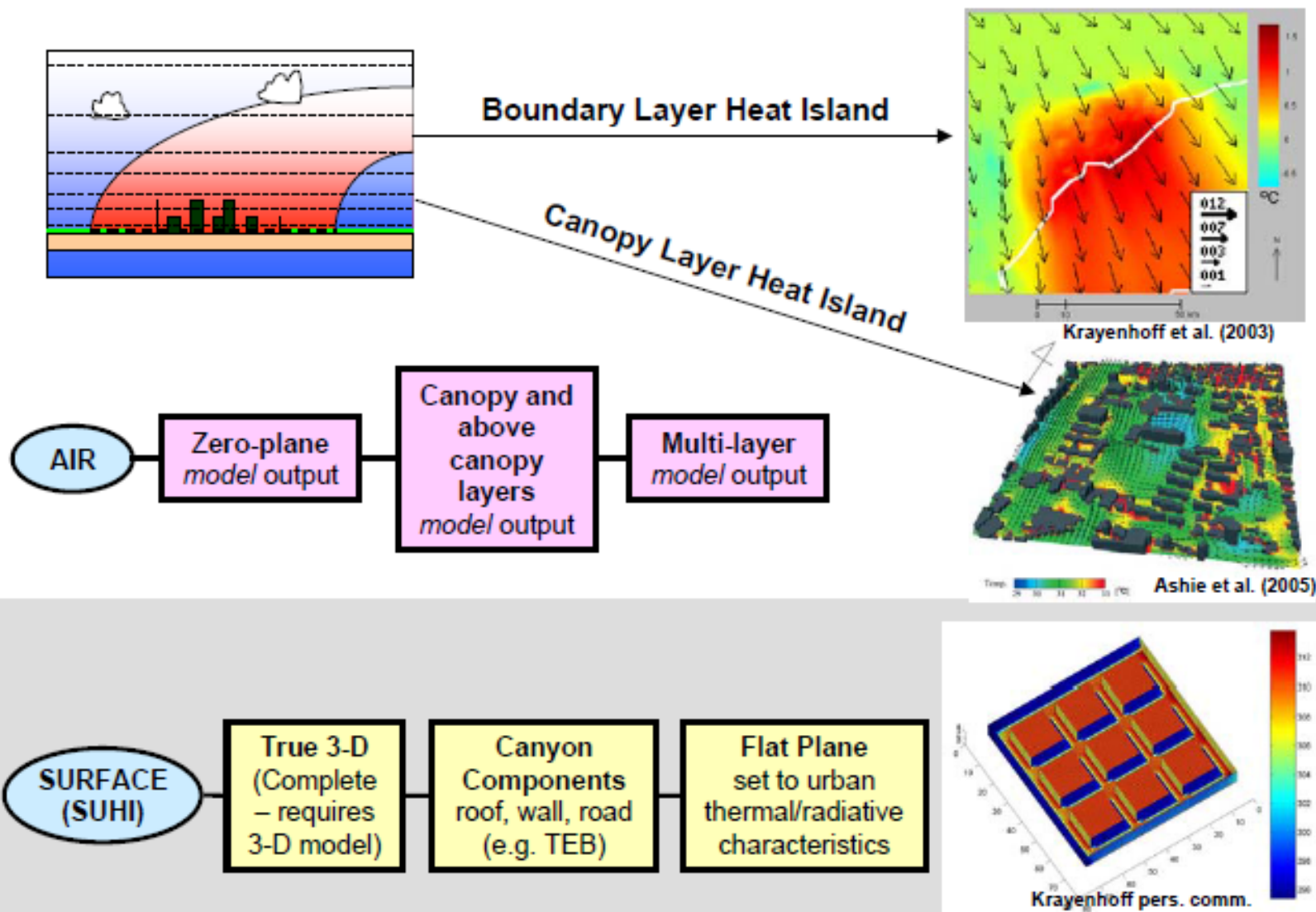
$$\Delta T_{u-r(max)} = 15.27 - 13.88 \text{ SVF}$$

Empirical: statistical relations derived from observations (or sometimes model output) that provide an estimate of heat island magnitude (usually maximum heat island)

Oke (pers. comm.)

Oke (1982)

Numerical Modelling of Urban Heat Islands



Studi recenti su UHI

- **EU Project UHI Central Europe (2013-2015):**
- **Progress in observing and modelling the urban boundary layer**
Janet F. Barlow – 2014 - Urban Climate 10 (2014) 216–240
- **Sensors and the city: a review of urban meteorological networks**
Muller Catherine L., Chapman Lee, Grimmond C.S.B., Young Duick T., Cai Xiaoming - February 2013
- **A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature**
I. D. Stewart - *Int. J. Climatol.* 31: 200–217 (2011)
2010 in Wiley Online Library DOI: 10.1002/joc.2141

Altri aspetti della UHI

- **Umidità**
 - Correlata alla temperatura
 - Natura della superficie che inibisce l'evapotraspirazione
- **Vento**
 - Variazioni d'intensità (attrito) e variabilità (turbolenza) rispetto all'area extra urbana
 - Circolazioni cicloniche indotte da UHI
- **Precipitazioni**
 - Intensificazione (?) di quelle convettive
 - Diminuzione (?) di quelle non convettive

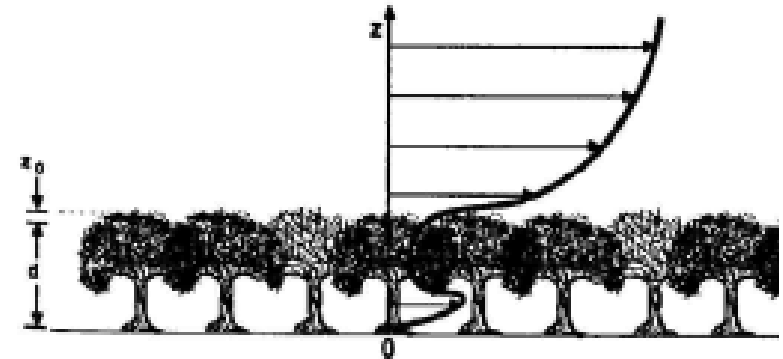
alterazione del profilo di vento nella *canopy* urbana

In presenza di una *canopy* urbana:

$$U(z) = \frac{u_*}{k} \cdot \ln\left(\frac{z-d}{z_0}\right)$$

d = *displacement height*
(o.d.g. altezza media degli edifici)
 z_0 = roughness length
(o.d.g. 0.3-3 m)

esistono vari metodi per stimare d e z_0 in funzione delle caratteristiche morfologiche della città (indice di copertura areale...)



alterazioni del bilancio radiativo alla superficie

$$Q^* = K\downarrow - K\uparrow + L\downarrow - L\uparrow$$

Q^* = radiazione netta

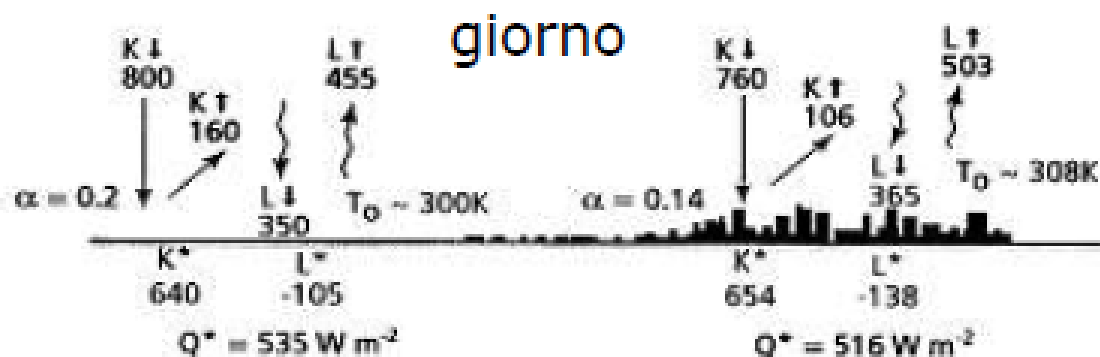
$K\downarrow$ = radiazione solare
visibile incidente (diretta e
diffusa)

$K\uparrow$ = radiazione solare
visibile riflessa

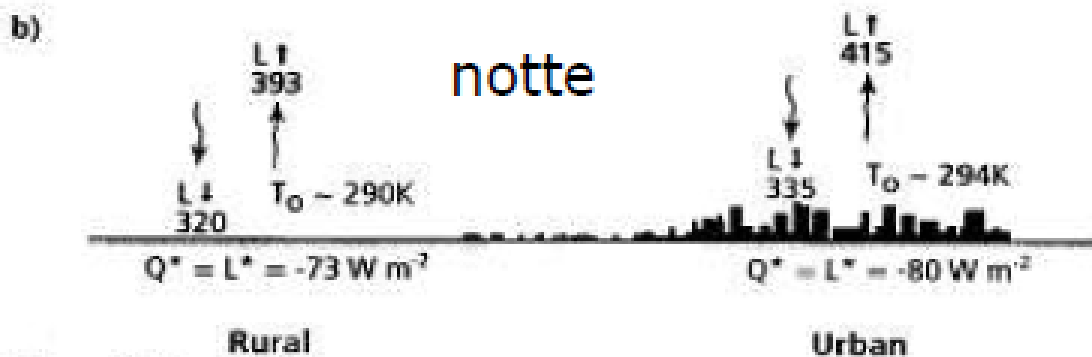
$L\downarrow$ = radiazione infrarossa
incidente

$L\uparrow$ = radiazione infrarossa
uscente (emessa e riflessa)

a)



b)



Rural

Urban

alterazioni del bilancio radiativo alla superficie

$$Q^* = K\downarrow - K\uparrow + L\downarrow - L\uparrow$$

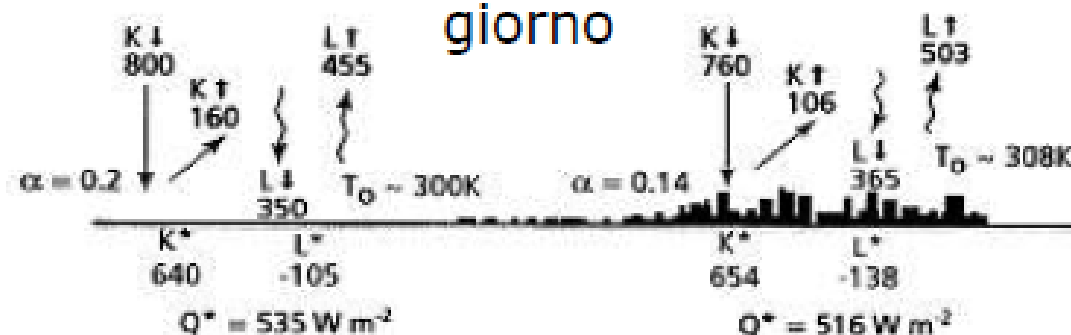
variazione

causa

$K\downarrow$	-	più aerosol
$K\uparrow$	-	minore albedo
$L\downarrow$	+	più aerosol provocano "effetto serra locale"
$L\uparrow$	+	temperature maggiori

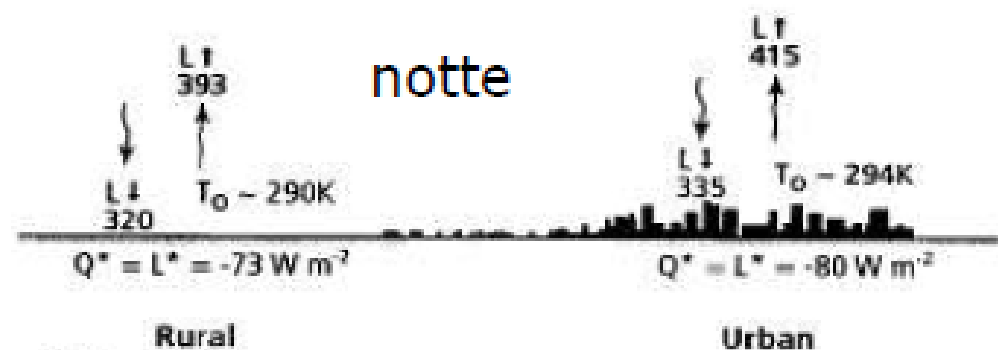
a)

giorno



b)

notte



Rural

Urban

alterazioni del bilancio energetico superficiale

$$Q^* = Q_H + Q_E + Q_G + Q_A + \Delta Q_S$$

Q^* = radiazione netta

Q_H = flusso di calore sensibile

Q_E = flusso di calore latente

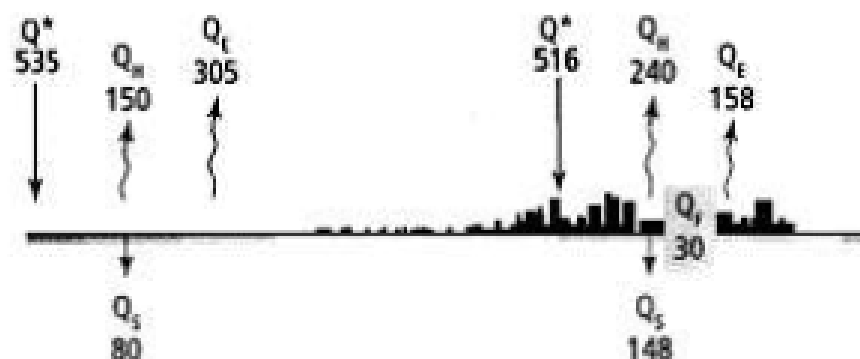
Q_G = flusso di calore nel suolo

Q_A = flusso di calore antropogenico

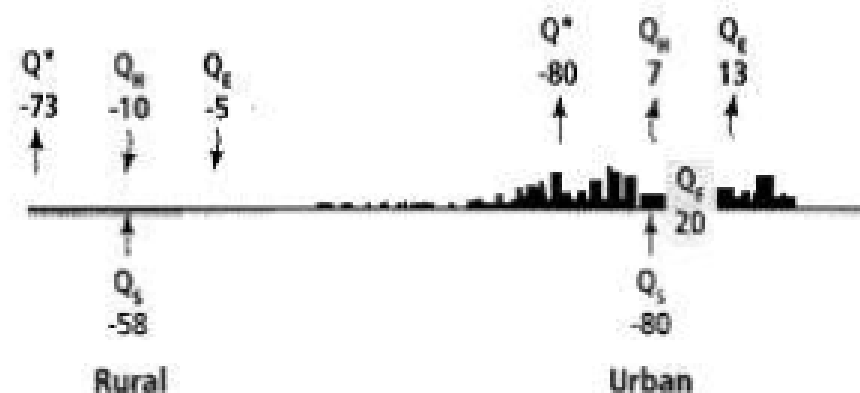
ΔQ_S = calore immagazzinato nella *canopy*

$\beta = Q_H/Q_E$ = rapporto di Bowen

(a) Day



(b) Night



alterazioni del bilancio energetico superficiale

$$Q^* = Q_H + Q_E + Q_G + Q_A + \Delta Q_S$$

variazione

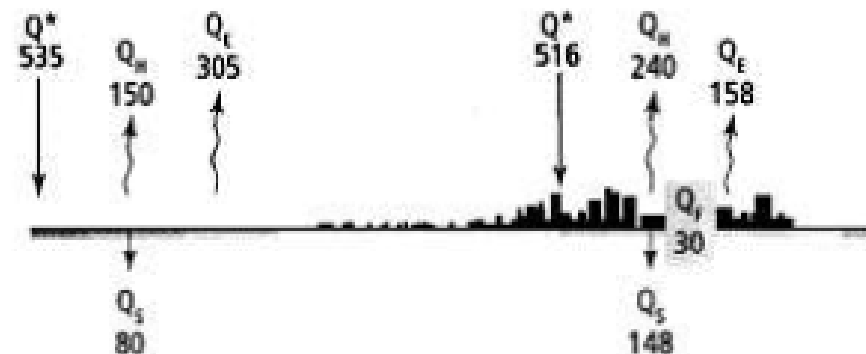
causa

$\beta = Q_H / Q_E$	+	superfici impermeabili
---------------------	---	------------------------

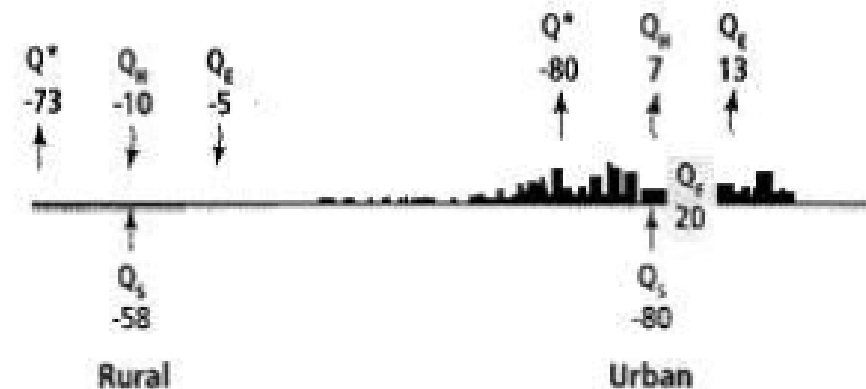
ΔQ_S	+	inerzia termica
--------------	---	-----------------

Q_A	+	consumo energetico
-------	---	--------------------

(a) Day



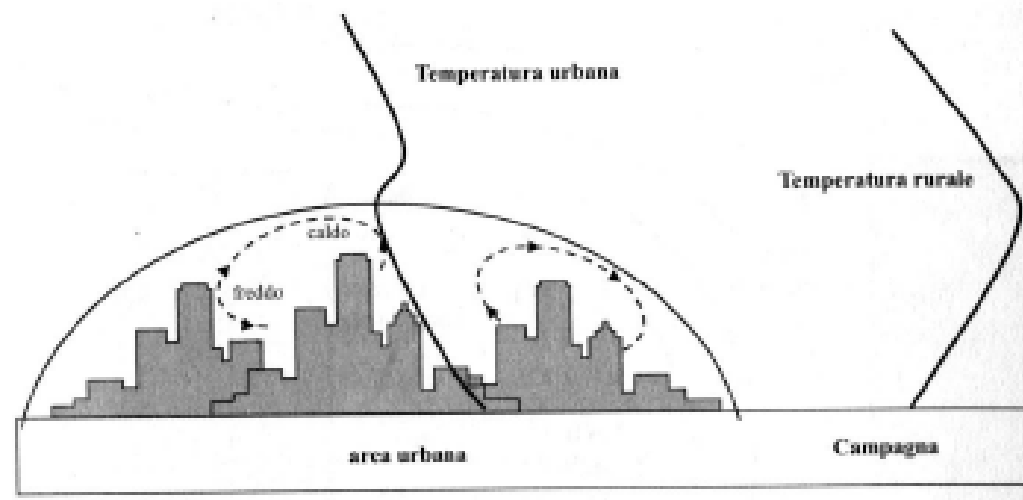
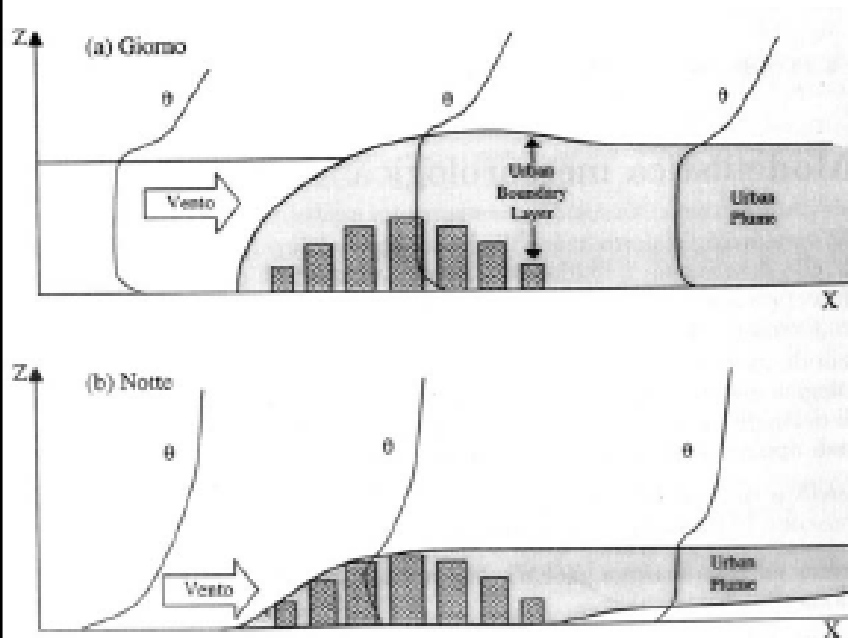
(b) Night



Rural

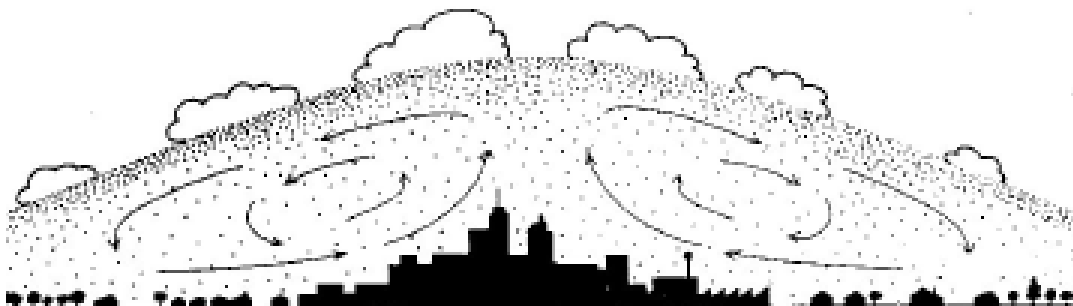
Urban

alterazione dei profili termici

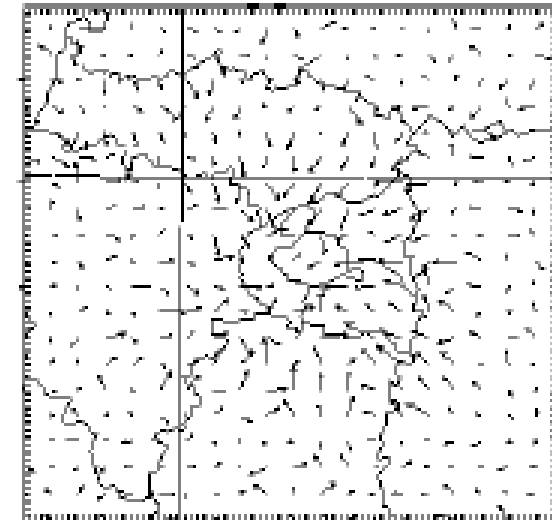


circolazioni indotte

- 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

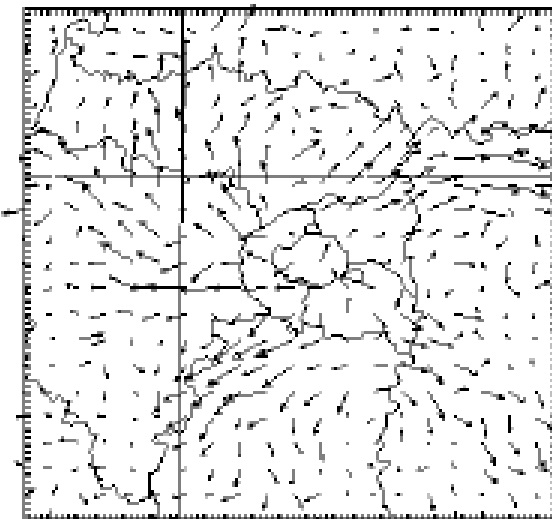


10m wind
(m/s)



Difference reference-rural

wind at 2000m
(m/s)

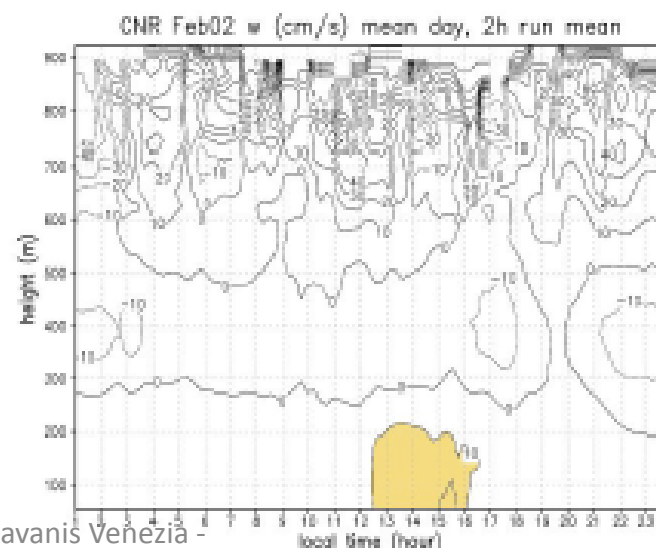
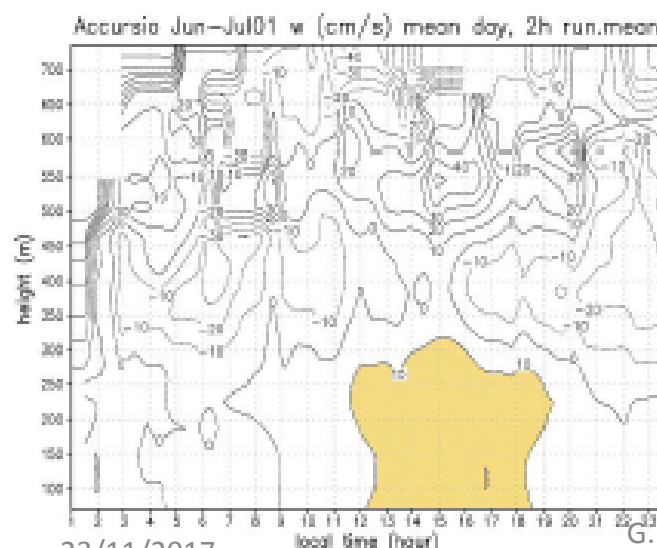
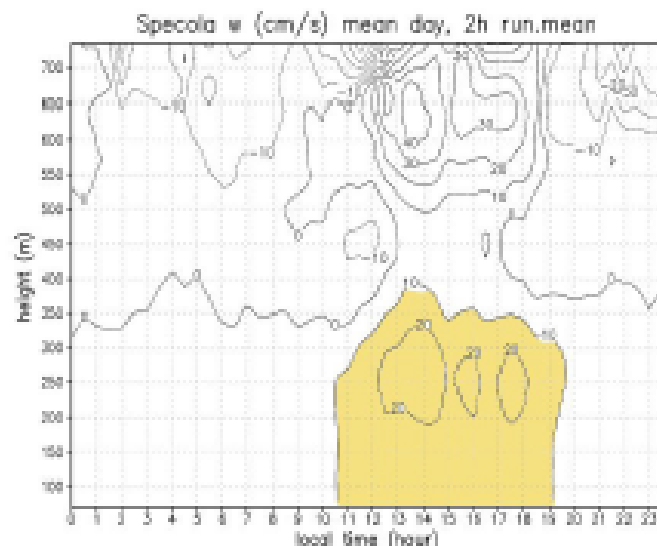


Difference reference-rural

moti convettivi

misure sodar mostrano:

- intense velocità verticali (10/20 cm/s) in primavera e in estate
- moti convettivi (10 cm/s) anche in inverno nelle ore più calde



23/11/2017

Onde di calore (HW) in ambito urbano

Several definitions of HW are used in the literature (e.g. Robinson 2001, Souch and Grimmond 2004, Perkins 2015).

Here, a location-specific definition (Meehl and Tebaldi 2004) is adopted to identify HW periods based on two thresholds of daily maximum air temperature (**T_{max}**):

T1 the 97.5th percentile, and T2 the 81st percentile.

A **HW is defined** as the longest period satisfying the following three conditions:

- (1) **T_{max} > T1** for at least **3** days;
- (2) **T_{max} > T1** for the entire period; and
- (3) **T_{max} > T2** for the entire period, where **T_{max}** denotes the average of **T_{max}** over the HW period.

This definition is used in many other studies with minor alterations in the selection of T1 and T2 (e.g. Lau and Nath (2012, 2014)). To identify HW periods, World Meteorological Organization (WMO) weather stations with long time series of air temperature near the study sites are used.

Scelta del riferimento extra urbano

La scelta del riferimento incide sensibilmente sul valore dell'indice!

- **Riferimenti:**
 - Stazione aeroportuale (talvolta progressivamente inserita nel contesto urbano)
 - Stazione agrometeorologica (talvolta troppo distante)
 - Stazioni periferiche (risentono dell'effetto UHI, anche se diminuito)
- **Confrontabilità:**
 - Tipologia
 - Strumentazione
 - Accuratezza e precisione
 - Stratificazione atmosferica
- **Asimmetria della UHI e gradienti a mesoscala:**
 - Media (pesata) tra più stazioni
 - Analisi mesosinottica (interpolazione)

Modellistica urbana

- **Tipi di modelli:**
 - Diffusivi
 - HR LAM
- **Risoluzione:**
 - Orizzontale: $10 \div 10^3$ m
 - Verticale: molti livelli
- **Suolo:**
 - Tipologia (GIS)
 - Elevazioni (edifici in 3D)
 - Parametrizzazione: radiativa (street Canyons)
- **Condizioni iniziali e al contorno:**
 - dai GM/LAM con eventuale downscaling

Urban Models

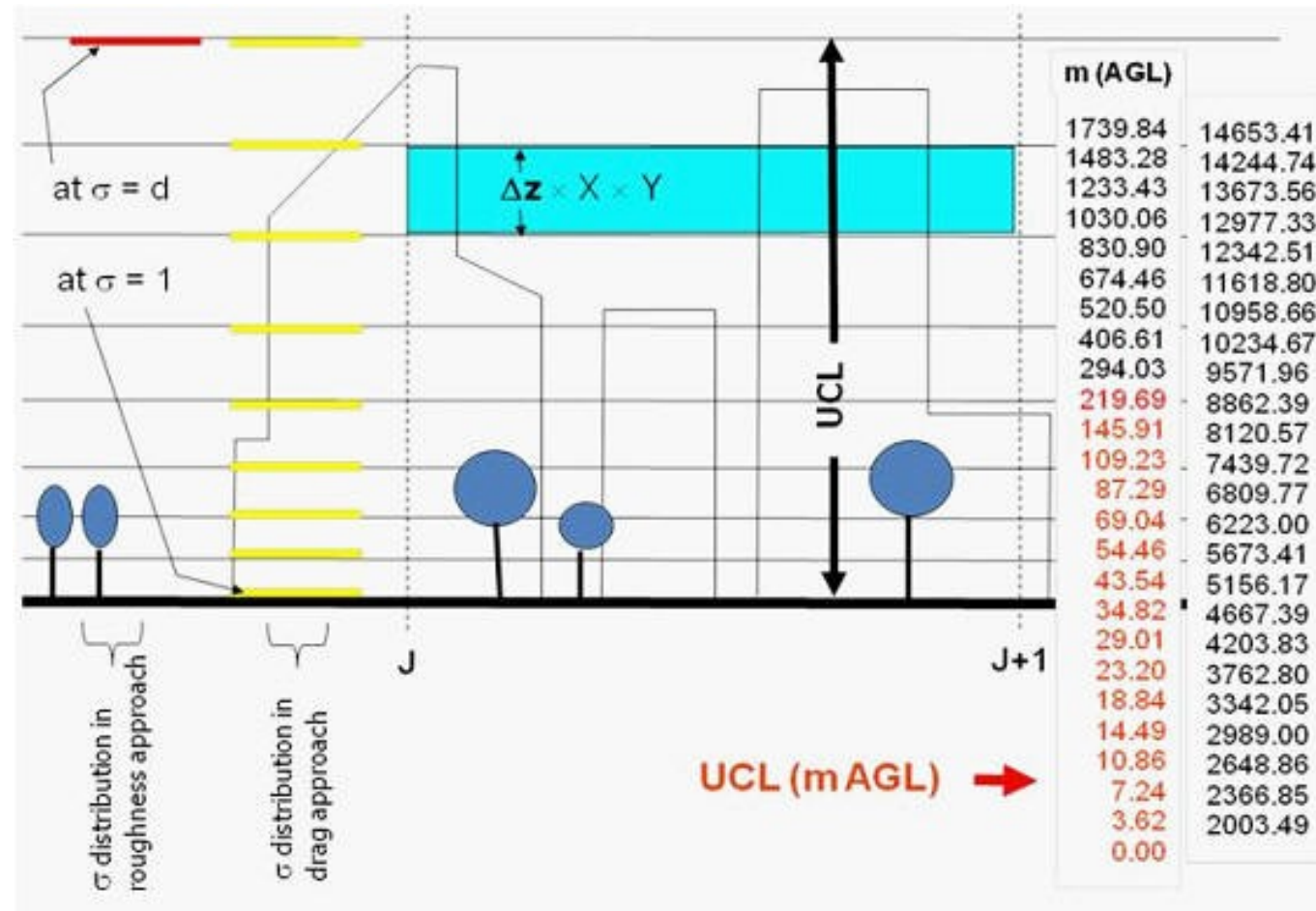
- uMM5
 - urban-canopy parameterization (UCP) "urbanized" mesoscale model (uMM5)

- WRF/Urb

- ENVI-Met

- CAMx

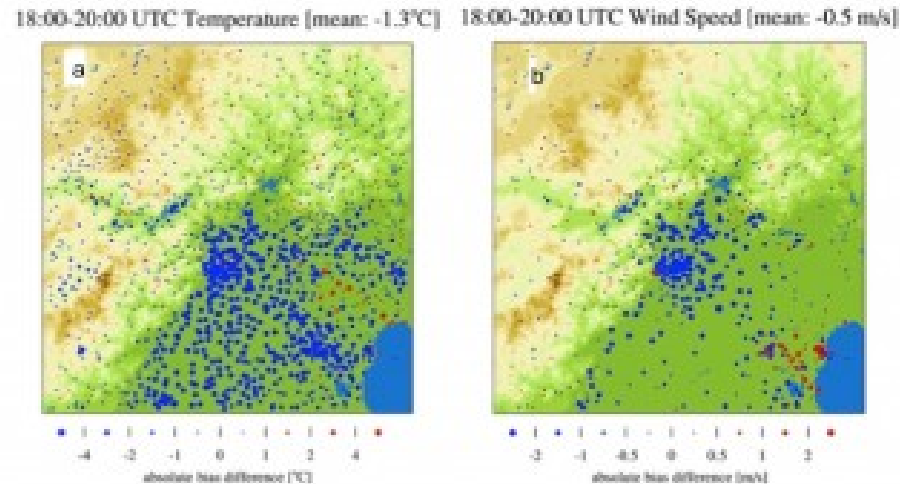
- CMAQ



WRF URB

- <https://ral.ucar.edu/solutions/products/wrf-urban-modeling>

- Barlage, M., S. Miao, and F. Chen, 2016: Impact of physics parameterizations on high-resolution weather prediction over complex urban areas. *J. Geophys. Res.*, 121, 4487–4498, doi:10.1002/2015JD024450



- The integrated WRF/urban modelling system: development, evaluation, and applications to urban environmental problems Fei Chen, et al. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY* Int. J. Climatol. 31: 273–288 (2011) Published online 7 June 2010 in Wiley Online Library DOI: 10.1002/joc.2158

Modelli urbani

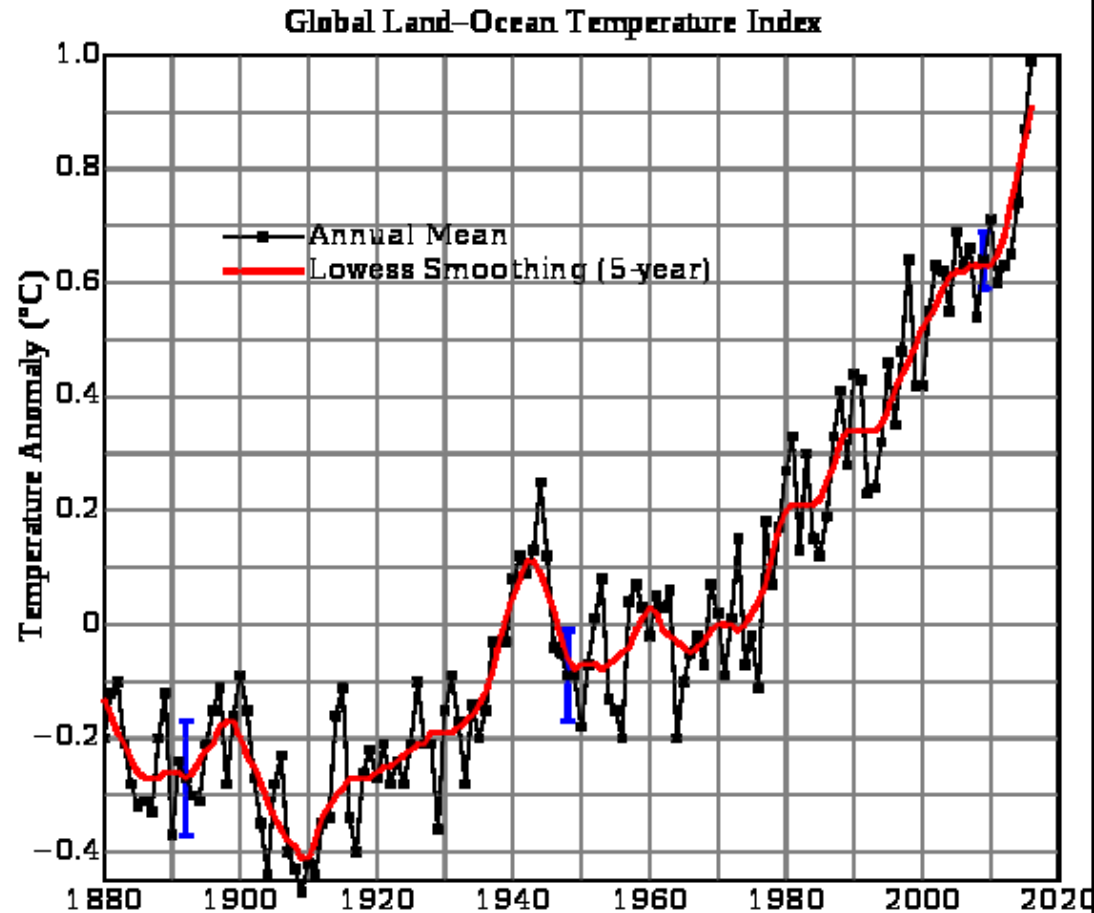
- **WRF ad alta risoluzione in combinazione con modelli dell'ambiente urbano (UCM) e a uno o più strati**
- **Studi di sensibilità (fase di sviluppo)**
- **Effetti della modellizzazione urbana sulle uscite dei modelli**
- **Analisi dell'impatto climatico degli ambienti urbani su quelli regionali e globali**
- **Assimilazione dei dati urbani**
- **Verifica delle uscite dei modelli con dati urbani**

Le serie temporali

- **Serie temporale:**
serie di dati meteorologici a cadenza regolare
- **Serie storiche:**
serie temporali di lunga durata (secoli)
- **Omogeneità:**
 - serie temporale che non ha subito cambiamenti nei metadata (strumentazione, unità di misura, procedure, ambiente circostante)
 - una serie è omogenea se supera opportuni test statistici di omogeneità
- **Serie temporali urbane:**
sono in genere quelle più antiche (dal 1700) degli osservatori storici

Osservazioni del cambiamento climatico

- **Climate Change:**
 - Several aspects
 - Several observations
- **Global Warming**
 - Land (rural and urban)
 - Sea surface



Global mean surface-temperature change from 1880 to 2016, relative to the 1951–1980 mean. The black line is the global annual mean, and the red line is the five-year [local regression](#) line. The blue [uncertainty bars](#) show a 95% confidence interval.

Effetti del UHI sul GW osservato

- *Climate Change 2007, [Fourth Assessment Report from the IPCC](#):*

Studies that have looked at hemispheric and global scales conclude that **any urban-related trend is an order of magnitude smaller than decadal and longer time-scale trends evident in the series** (e.g., Jones et al., 1990; Peterson et al., 1999).

This result could partly be attributed to the omission from the gridded data set of a small number of sites (<1%) with clear urban-related warming trends. In a worldwide set of about 270 stations, Parker (2004, 2006) noted that warming trends in night minimum temperatures over the period 1950 to 2000 were not enhanced on calm nights, which would be the time most likely to be affected by urban warming.

Thus, the global land warming trend discussed is very unlikely to be influenced significantly by increasing urbanisation (Parker, 2006). ... Accordingly, this assessment adds the same level of urban warming uncertainty as in the TAR: 0.006°C per decade since 1900 for land, and 0.002°C per decade since 1900 for blended land with ocean, as ocean UHI is zero

Principali serie storiche

- Serie storiche italiane (Camuffo, Maugeri, Brunetti, Buffoni, ecc.)

CAMUFFO, D. AND JONES, P.D.

2002: *Improved Understanding of Past Climatic Variability from Early Daily European Instrumental Sources..* Springer (Kluwer Academic) Publisher.

- L'esempio di Brera (metadati e omogenizzazione)

DAILYMILAN TEMPERATURE AND PRESSURE SERIES (1763–1998):

COMPLETING AND

HOMOGENISING THE DATA – M.

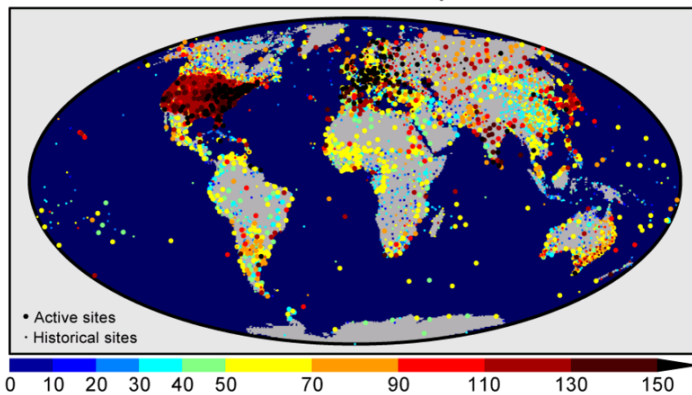
MAUGERI, L. BUFFONI, B.

DELMONTE and A. FASSINA1 -

Climatic Change **53: 119–149, 2002**

- Serie mondiali (vedi IPCC)

Global Climate Network Temperature Stations



		Lat.	Lon.	Alt.	Dati Mensili		Dati giornalieri	
					Temperature	Precipitazioni	Temperature	Precipitazioni
1	Alessandria	44° 41' 08"	8° 45' 98"	98	1878-2000	1875-2000	1878-2000	1875-2000
2	Aosta	45° 44' 07"	18° 544"		1841-2000			
3	Arezzo	43° 27' 11"	52° 274"		1873-2000		1879-2000	1879-2000
4	Balme	45° 19' 07"	13° 1432"			1914-2000		
5	a	45° 05' 06"	42° 1340"			1914-2000		
6	Belluno	46° 07' 12"	13° 404"		1873-2000	1875-2000	1879-2000	1879-2000
7	Benevento	41° 08' 14"	45° 135"			1870-2000		
8	Bologna	44° 29' 11"	20° 60"		1814-2000	1813-2000	1814-2000	1813-2000
9	Bolzano	46° 31' 11"	21° 272"		1850-2000	1850-2000		1921-2000
10	Bra	44° 42' 07"	52° 308"			1861-2000		1861-2000
11	Bressanone	46° 43' 11"	39° 569"		1865-2000	1865-2000		1921-2000
12	Cagliari	39° 12' 09"	19° 55"		1879-2000	1853-2000	1879-2000	1879-2000
13	Casale	45° 08' 08"	30° 113"			1870-2000		
14	Catania	37° 30' 15"	05° 75"		1901-2000	1901-2000	1901-2000	1901-2000
15	Cuneo	44° 24' 07"	31° 536"		1877-2000	1877-2000	1879-2000	1879-2000
16	Domodossola	46° 07' 08"	17° 300"		1872-2000	1872-2000		1872-2000
17	Fenestrelle	45° 02' 07"	04° 1200"			1913-2000		
18	Ferrara	44° 49' 11"	36° 15"		1879-2000	1865-2000	1879-2000	1879-2000
19	Firenze	43° 47' 11"	15° 51"		1889-2000	1860-2000	1889-2000	1860-2000
20	Foggia	41° 28' 15"	32° 80"		1901-2000	1901-2000	1901-2000	1901-2000
21	Formazza	46° 23' 08"	26° 1300"		1933-2000	1913-2000		
22	Fossano				1874-2000	1865-2000		
23	Genova	44° 24' 09"	08° 53"		1833-2000	1833-2000	1833-2000	1833-2000
24	Imperia				1875-2000	1876-2000		
25	Ivrea	45° 28' 07"	55° 267"			1837-2000		
26	L'Aquila	42° 21' 13"	24° 735"		1874-2000	1874-2000	1879-2000	1879-2000
27	Livorno	43° 33' 10"	18° 3"		1866-2000	1857-2000	1870-2000	1876-2000
28	Locarno	46° 10' 08"	47° 379"			1901-2000		1901-2000
29	Lombriasco	44° 50' 07"	39° 239"			1913-2000		
30	Lugano	46° 00' 08"	54° 276"		1864-2000	1901-2000		1901-2000
31	Mantova	45° 09' 10"	45° 20"		1828-2000	1840-2000	1828-2000	1868-2000
32	Messina	38° 12' 15"	30° 54"		1881-2000	1866-2000	1881-2000	1881-2000
33	Milano	45° 28' 09"	11° 122"		1763-2000	1764-2000	1778-2000	1858-2000
34	Marienberg	46° 44' 10"	29° 1323"		1847-2000	1847-2000		1923-2000
35	Napoli	40° 50' 14"	15° 149"		1865-2000	1821-2000	1870-2000	1866-2000
36	Ovada	44° 38' 08"	38° 187"			1914-2000		
37	Padova	45° 24' 11"	52° 14"		1866-2000	1752-2000	1877-2000	1877-2000
38	Palermo	38° 06' 13"	21° 71"		1866-2000	1797-2000	1876-2000	1797-2000

23/11/2017

Length of Station Record (years)

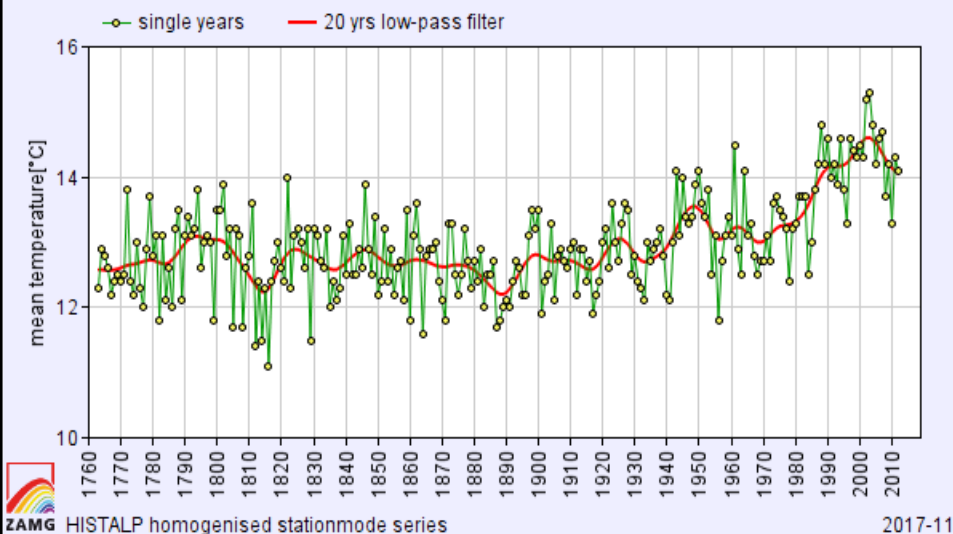
G. Frustaci - Osservatorio Cavanis Venezia -
Workshop di Meteorologia Avanzata

L'esempio di Brera

Metadati e omogenizzazione:

DAILYMILAN TEMPERATURE AND PRESSURE SERIES (1763–1998): COMPLETING AND HOMOGENISING THE DATA – M. MAUGERI, L. BUFFONI, B. DELMONTE and A. FASSINA1 -*Climatic Change* **53: 119–149, 2002**

Milano-Brera T01 Year



1765										
1770										
1775										
1780										
1785										
1790										
1795										
1800										
1805										
1810										
1815										
1820										
1825										
1830										
1835										
1840										
1845										
1850										
1855										
1860										
1865										
1870										
1875										
1880										
1885										
1890										
1895										
1900										
1905										
1910										
1915										
1920										
1925										
1930										
1935										
1940										
1945										
1950										
1955										
1960										
1965										
1970										
1975										
1980										
1985										
1990										
1995										

- 1 Riforma del Carlini.
- 2 Altri spostamenti degli strumenti.
- 3 Cambiamenti nella capannina meteorologica e suo maneggio.
- 4 Miglioramenti introdotti dal Cesaris.
- 5 Sostituzioni del barometro e modifiche nelle correzioni strumentali.
- 6 Effetti della standardizzazione dovuti allo sviluppo delle reti meteorologiche nazionali ed internazionali.
- 7 Cambiamenti del/degli osservatori; vengono considerati solo fino al 1880, poiché in seguito, la standardizzazione delle misure rende queste ultime meno dipendenti dell'osservatore.
- 8 Interruzione della serie dell'Osservatorio di Brera.
- 9 Cambiamenti nelle ore di osservazione.
- 10 Effetto dell'isola di calore urbana.

N.B. I trattini spostati rispetto al centro della colonna indicano che il cambiamento è avvenuto nell'intervallo quinquennale precedente o successivo all'anno indicato. Il tratteggio esprime incertezza nel fissare il cambiamento.

Serie storiche: test di omogeneità e correzione delle serie

Test di omogeneità:

- **Test di Craddock:**
 - Craddock J.M.: Methods for comparing annual rainfall records for climate purpose; *Weather*, 34: 332-346; 1979
- **Standard Normal Homogeneity Test:**
 - Standard normal homogeneity test - Alexandersson (1986) ; Alexandersson and Moberg, 1997
 - Boehm, R. 1992. Description of the Procedure of Homogenizing Temperature Time Series in Austria, Centr. Europ. research. initiative, Proj. Gr. Meteorology, Wp. 2, Vienna
- **Metodi di omogenizzazione**
 - **COST** (European Cooperation in Science and Technology) **Action ES0601:** advances in homogenization methods of climate series: an integrated approach (HOME): www.homogenization.org
 - HOMER; HOM/SPLIDHOM; homClimatol3-a3; ...
 - www.climahom.eu (software download)
 - <https://rdr.io/rforge/climtrends/> : statistical Methods for Climate sciences

Omogeneità di una serie storica

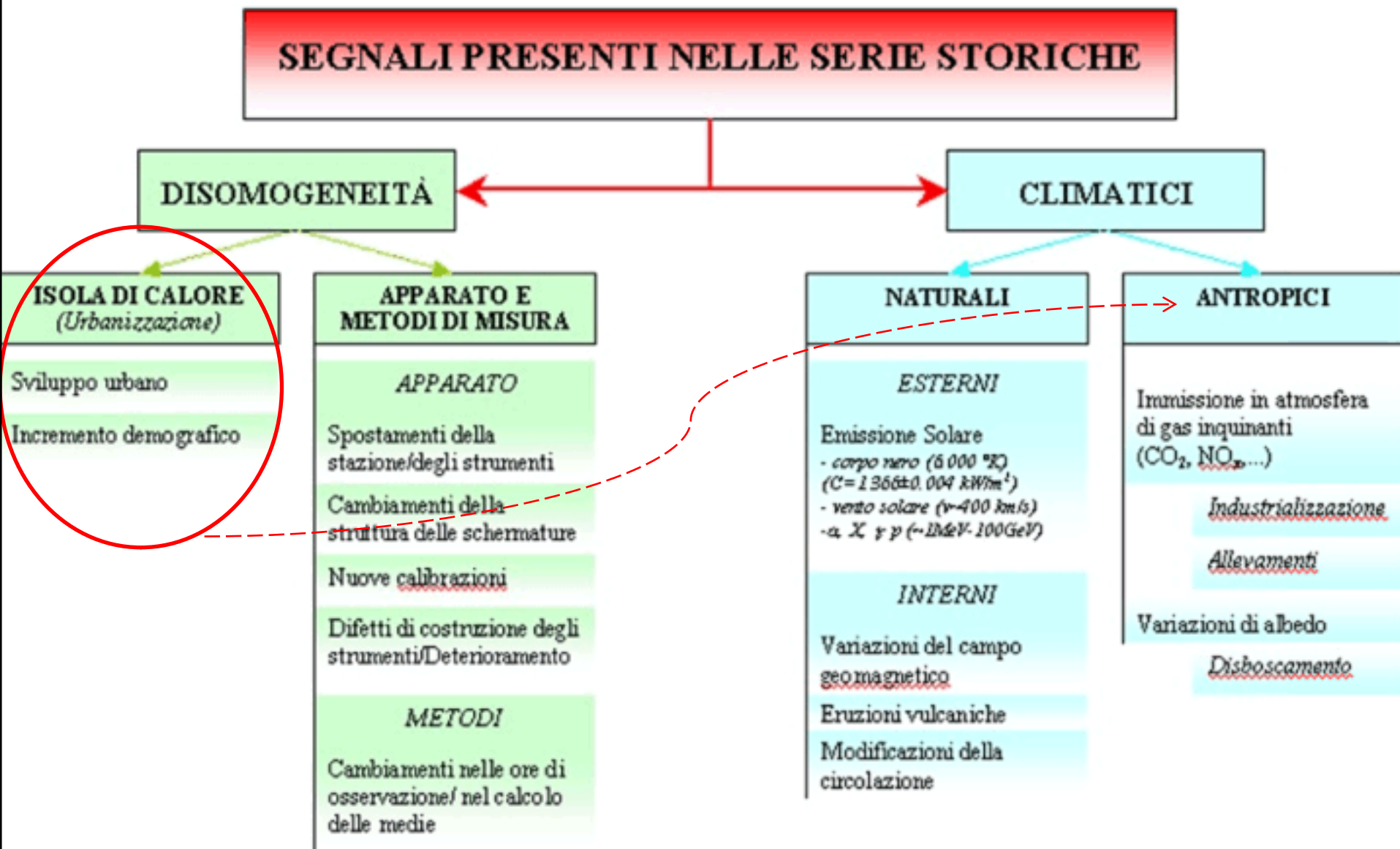
Definizione: Una serie cronologica di una variabile meteorologica si definisce **omogenea** se le sue variazioni sono dovute unicamente alle modificazioni del tempo meteorologico e/o del clima.

Le disomogeneità possono essere di vario tipo e sono accomunate dal fatto di introdurre **fattori non climatici** nelle serie

- una **discontinuità** netta nel valore medio
- **trend** graduale nel valore medio e/o nella varianza.

Nella maggior parte dei casi, tuttavia,
le disomogeneità si manifestano con
salti improvvisi nel valore medio
che lasciano inalterati gli altri momenti statistici.

Cause di disomogeneità



Omogenizzazione

- Le disomogeneità "**nascondono**" i **veri segnali climatici** e vanno pertanto eliminate prima di procedere all'analisi dei dati.
 - L'operazione per la quale si eliminano le disomogeneità prende il nome di **omogeneizzazione**, che ha un carattere *estimativo*
 - Differenza tra una **serie omogenea** (vera) e una **serie omogeneizzata**.
 - La procedura di omogeneizzazione restituisce alla serie una "**omogeneità relativa**" (in pratica: la serie corretta mostra un andamento in linea con quello di serie provenienti da stazioni vicine), ben diversa dall'omogeneità "vera"
 - Metodi diretti e metodi indiretti:
 - i primi si basano su informazioni, di solito ricavate da studi di carattere storico (**metadata**),
 - i secondi fanno uso di tecniche statistiche, generalmente basate sul **confronto con altre serie** storiche.
- In genere si usa una combinazione dei due metodi:

➤ **NB: importanza dei metadata!**

Metodi indiretti (statistici)

Si basano sul confronto con una serie di riferimento:

- Una **serie di riferimento** è una serie storica costruita mediando in maniera opportuna i dati omologhi di parecchie stazioni, possibilmente molto vicine alla stazione “candidata” all’omogeneizzazione.
- Formalmente i dati di una **generica serie “candidata”** sono la somma di più termini:

$$X(t) = C(t) + IH(t) + e(t) \quad (t = 1, 2, \dots, n)$$

$X(t)$: valore al tempo t del parametro climatico X che da analizzare;

$C(t)$: funzione di tendenza di un ipotetico segnale climatico,

$IH(t)$: eventuale disomogeneità nel valore t -esimo della serie

$e(t)$: rappresenta un errore casuale

- La **serie di riferimento** si rappresenta nella seguente forma:

$$R(t) = C'(t) + IH'(t) + e'(t) \quad (t = 1, 2, \dots, n)$$

Confronto tra serie

- Se le due serie appartengono alla stessa regione climatica, possiamo assumere che $C(t) = C'(t)$ per ogni valore di t .
- Inoltre, se la serie di riferimento è supposta essere già omogenea, risulterà sempre $IH'(t) = 0$.

- La **serie delle differenze**:

$$Z(t) = X(t) - R(t) = IH(t) + d(t) \quad (t = 1, 2, \dots, n)$$

esprime le disomogeneità della serie "candidata" ($IH(t)$), rispetto alla serie di riferimento, più un termine casuale di errore ($d(t)$).

- L'analisi di questa serie delle differenze permette di isolare periodi omogenei e di rapportarli ad un unico periodo (in genere il più recente, più conosciuto in termini di metadati), costruendo una nuova serie (omogeneizzata).

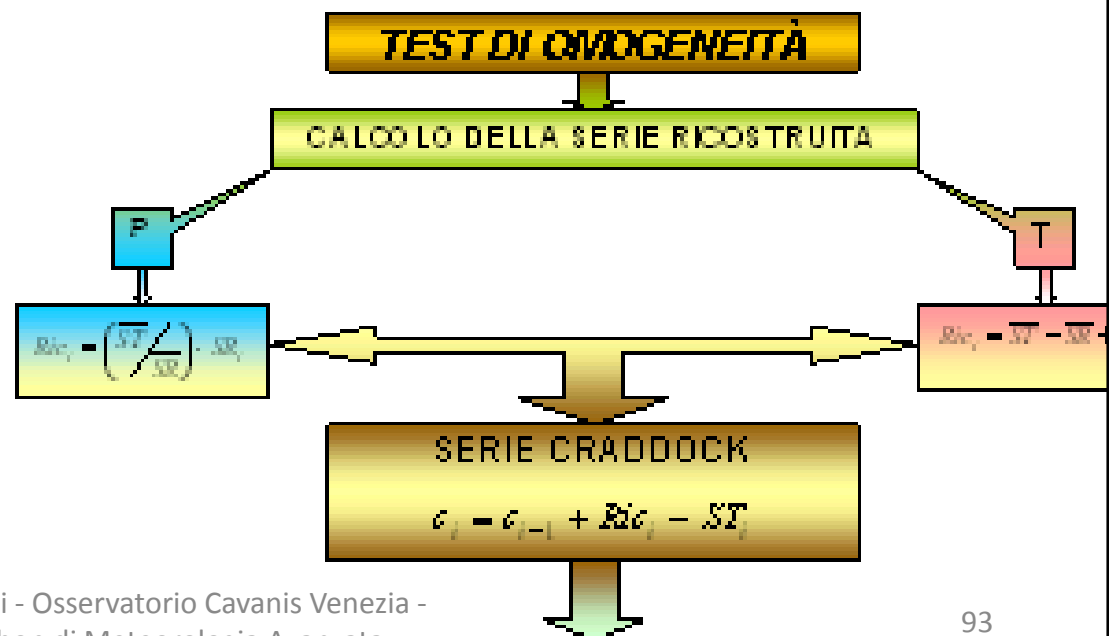
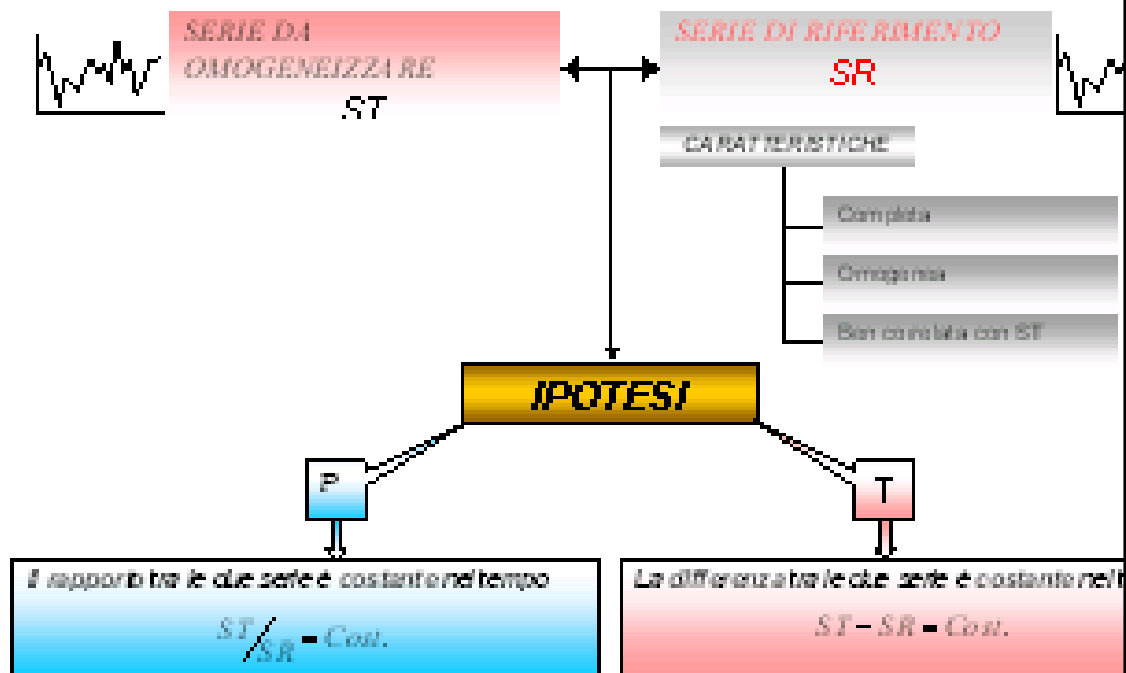
La valutazione dell'omogenità di una serie è fatta con il **test di Craddock** (prima e dopo il processo di omogeneizzazione).

Test di Craddock

Il test richiede una serie di riferimento omogenea.

Esso accumula le differenze normalizzate tra la serie “candidata” e la serie di riferimento.

Se la curva delle differenze si discosta molto dallo zero e in un punto si registra una netta variazione nella pendenza della curva, in quel punto è probabile che vi sia una discontinuità della serie “candidata”.



Craddock

Test non parametrico (Craddock, 1979) che valuta l'andamento nel tempo della quantità S_n calcolata sia utilizzando una serie da controllare $\{X_i\}$ che una o più serie di riferimento $\{Y_i\}$.

Accumula le differenze tra la serie candidata e quella di riferimento. Si distinguono serie di precipitazioni e serie di temperature; per le ultime si definisce:

$$c = \underline{y} - \underline{x} \quad \text{e} \quad d_i = c + x_i - y_i$$

Per le precipitazioni invece: $c = \underline{y} / \underline{x}$ e $d_i = c x_i - y_i$

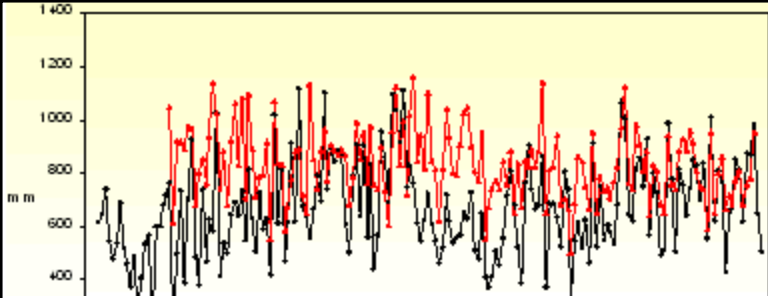
dove in tutte e due i casi:

i è il time-step (anno/stagione/mese/giorno a seconda della scelta)

$\underline{x}$ e $\underline{y}$ sono i valori medi delle rispettive serie

Infine si trova la serie : $S_n = \sum d_i$ ($i = 1, \dots, N$) che presenta un trend positivo quando i valori registrati nella serie $\{X_i\}$ sono sovrastimati rispetto alla serie di riferimento e negativo quando i valori sono sottostimati. Per identificare eventuali breakpoint si cercano cambiamenti nella pendenza media di S_n (discontinuità nella derivata prima). Nel caso in cui la serie da controllare sia omogenea allora la serie S_n fluttuerà attorno al valore nullo.

Esempio del test di Craddock



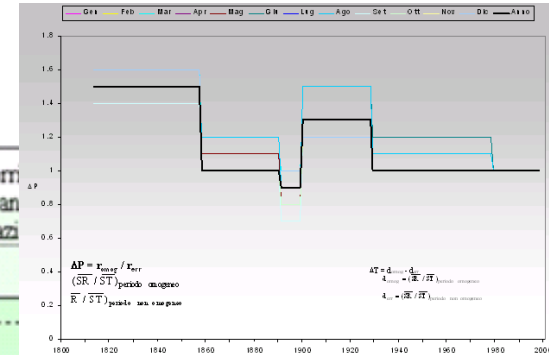
TEST DI CRADDOCK

"...al pluviometro, ridotto in cattivo stato pel lungo uso, ne venne sostituito un altro di migliore costruzione, e lavorato con molta precisione...."

Si ha notizia di un guasto al pluviometro. In conseguenza della riparazione di tale guasto è stata rimossa anche la sottostima delle precipitazioni periodo 1900-ottobre 1928.

Cambia la fonte dei dati: non più Osservatorio Astronomico, ma Istituto Idrografico (collocato ad alcune centinaia di metri dal precedente).

Introduzione nuovo pluviometro (registratore di Fuess):
"...il pluviometro fu collocato per cura del Prof. B. Dessau nel periodo 1900-1903 in cui egli resse internamente l'osservatorio..."



Conclusione

Verificate l'omogeneità delle serie temporali!

- **Per ogni valutazione climatologica**
- **Per controllo della strumentazione in uso**