

ONDATE DI CALORE NELLO SCENARIO DELLA CRISI CLIMATICA

STRUMENTI DI MITIGAZIONE DEGLI IMPATTI

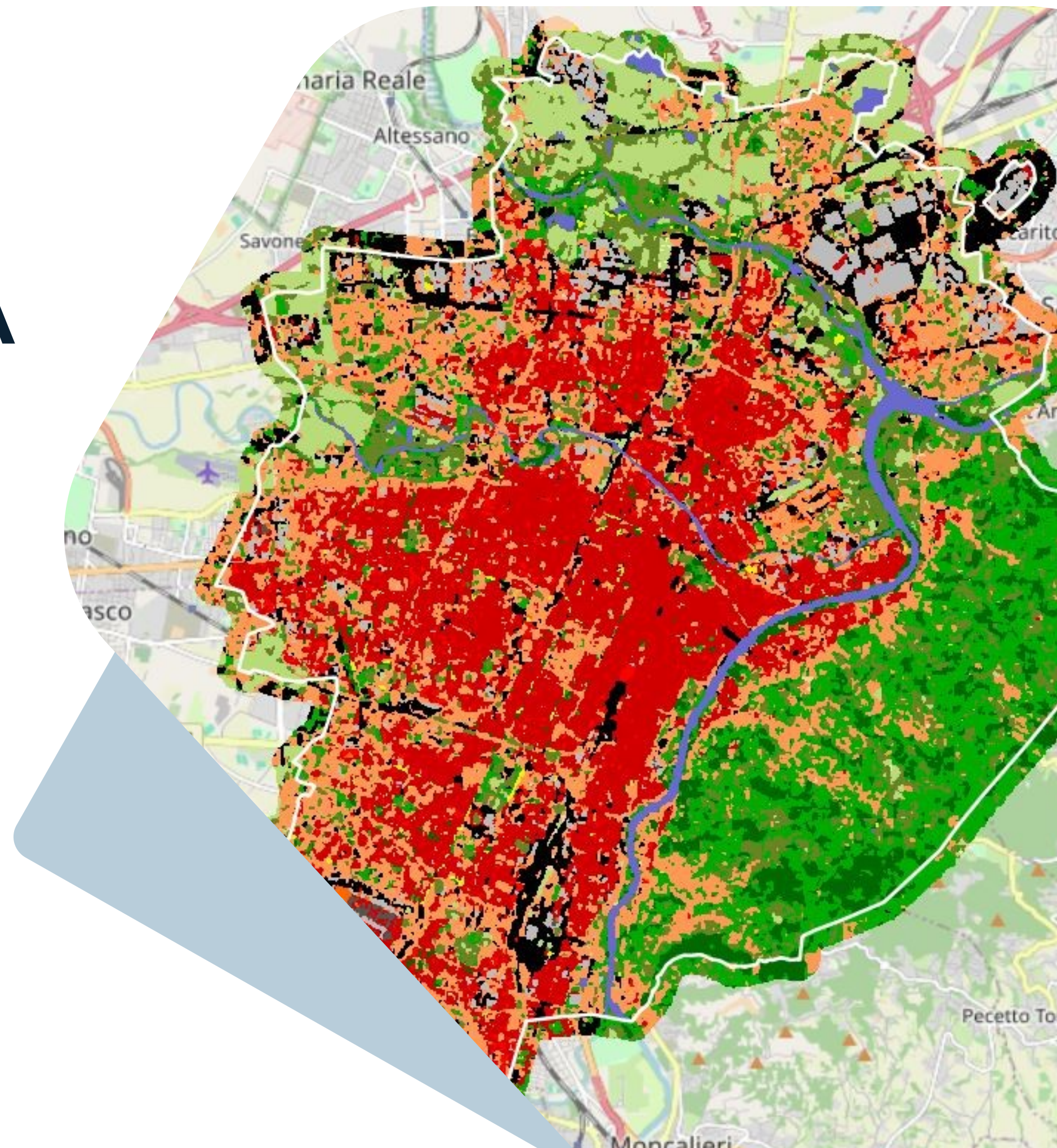
Arpa Piemonte - Sala Polifunzionale
Torino 14 maggio 2025

Luca Forestello

Gabriele Nicolò

Arpa Piemonte

Zonizzazione climatica locale dell'area urbana (LCZ)



Zonizzazione climatica locale dell'area urbana

Il sistema delle Local Climate Zone

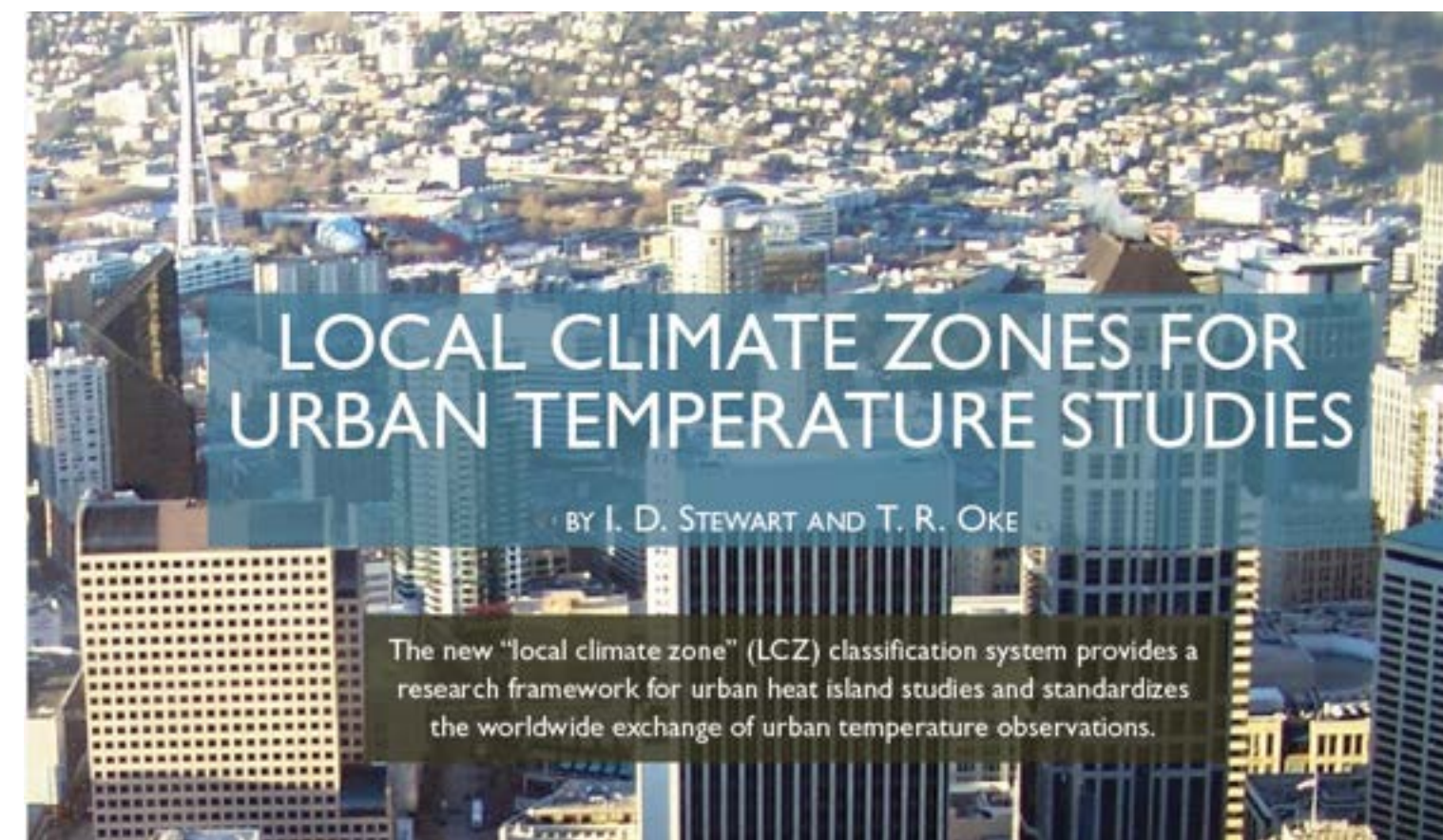


Le zone climatiche locali (LCZ) sono un concetto introdotto da Stewart e Oke (I. D. Stewart & Oke, 2012)

"Le Zone Climatiche Locali sono regioni urbane uniformi per quanto riguarda: la copertura superficiale, struttura, materiale e attività umana"

I. D. Stewart & Oke

Le LCZ sono fondamentali per comprendere come l'ambiente costruito interagisce con il clima locale e costituiscono il punto di riferimento per lo studio dell'isola di calore urbana.



Zonizzazione climatica locale dell'area urbana

Il sistema LCZ



Il sistema LCZ classifica il paesaggio urbano-rurale in 17 classi: 10 di "morfologia urbana" e 7 di "copertura del suolo " :

Built types

1. Compact high-rise	Dense mix of tall buildings to tens of stories. Few or no trees. Land cover mostly paved. Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	6. Open low-rise	Open arrangement of low-rise buildings (1–3 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Wood, brick, stone, tile, and concrete construction materials.
2. Compact midrise	Dense mix of midrise buildings (3–9 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction materials.	7. Lightweight low-rise	Dense mix of single-story buildings. Few or no trees. Land cover mostly hard-packed. Lightweight construction materials (e.g., wood, thatch, corrugated metal).
3. Compact low-rise	Dense mix of low-rise buildings (1–3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction materials.	8. Large low-rise	Open arrangement of large low-rise buildings (1–3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Steel, concrete, metal, and stone construction materials.
4. Open high-rise	Open arrangement of tall buildings to tens of stories. Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	9. Sparsely built	Sparse arrangement of small or medium-sized buildings in a natural setting. Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees).
5. Open midrise	Open arrangement of midrise buildings (3–9 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	10. Heavy industry	Low-rise and midrise industrial structures (towers, tanks, stacks). Few or no trees. Land cover mostly paved or hard-packed. Metal, steel, and concrete construction materials.

Land cover types

A. Dense trees	Heavily wooded landscape of deciduous and/or evergreen trees. Land cover mostly pervious (low plants). Zone function is natural forest, tree cultivation, or urban park.	E. Bare rock or paved	Featureless landscape of rock or paved cover. Few or no trees or plants. Zone function is natural desert (rock) or urban transportation.
B. Scattered trees	Lightly wooded landscape of deciduous and/or evergreen trees. Land cover mostly pervious (low plants). Zone function is natural forest, tree cultivation, or urban park.	F. Bare soil or sand	Featureless landscape of soil or sand cover. Few or no trees or plants. Zone function is natural desert or agriculture.
C. Bush, scrub	Open arrangement of bushes, shrubs, and short, woody trees. Land cover mostly pervious (bare soil or sand). Zone function is natural scrubland or agriculture.	G. Water	Large, open water bodies such as seas and lakes, or small bodies such as rivers, reservoirs, and lagoons.
D. Low plants	Featureless landscape of grass or herbaceous plants/crops. Few or no trees. Zone function is natural grassland, agriculture, or urban park.		

Stewart, I.D., and Oke, T.R. (2012) *Local Climate Zones for Urban Temperature Studies*.
Bulletin of the American Meteorological Society, 93(12), 1879–1900. doi:10.1175/BAMS-D-11-00019.1

Zonizzazione climatica locale dell'area urbana (LCZ)

Gli indicatori

La classificazione del suolo in zone climatiche (LCZ) si basa sull'analisi di diversi indicatori, nel presente studio sono stati considerati i seguenti parametri:



Morfologia urbana

SVF - Sky View Factor

CAR - Canyon Aspect Ratio

MHB - Mean Height Buildings

MHC - Mean Height Canopy

ROL - Roughness Length

BSF - Building Surface Fraction

Caratteristiche di copertura del suolo

ISF - Impervious Surface Fraction

PSF - Pervious Surface Fraction

Caratteristiche radiative

ALB - Albedo

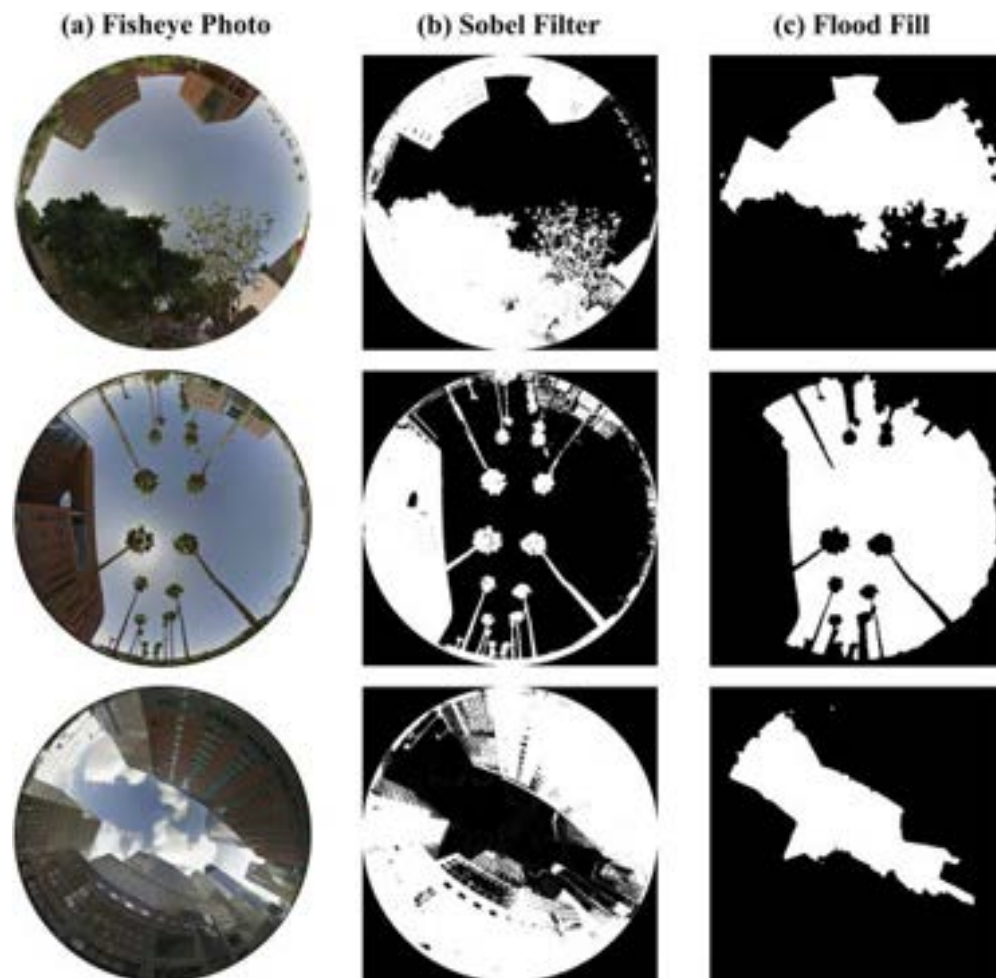
Ogni porzione di territorio sarà caratterizzato da valori calcolati per ciascun parametro

Zonizzazione climatica locale dell'area urbana (LCZ)

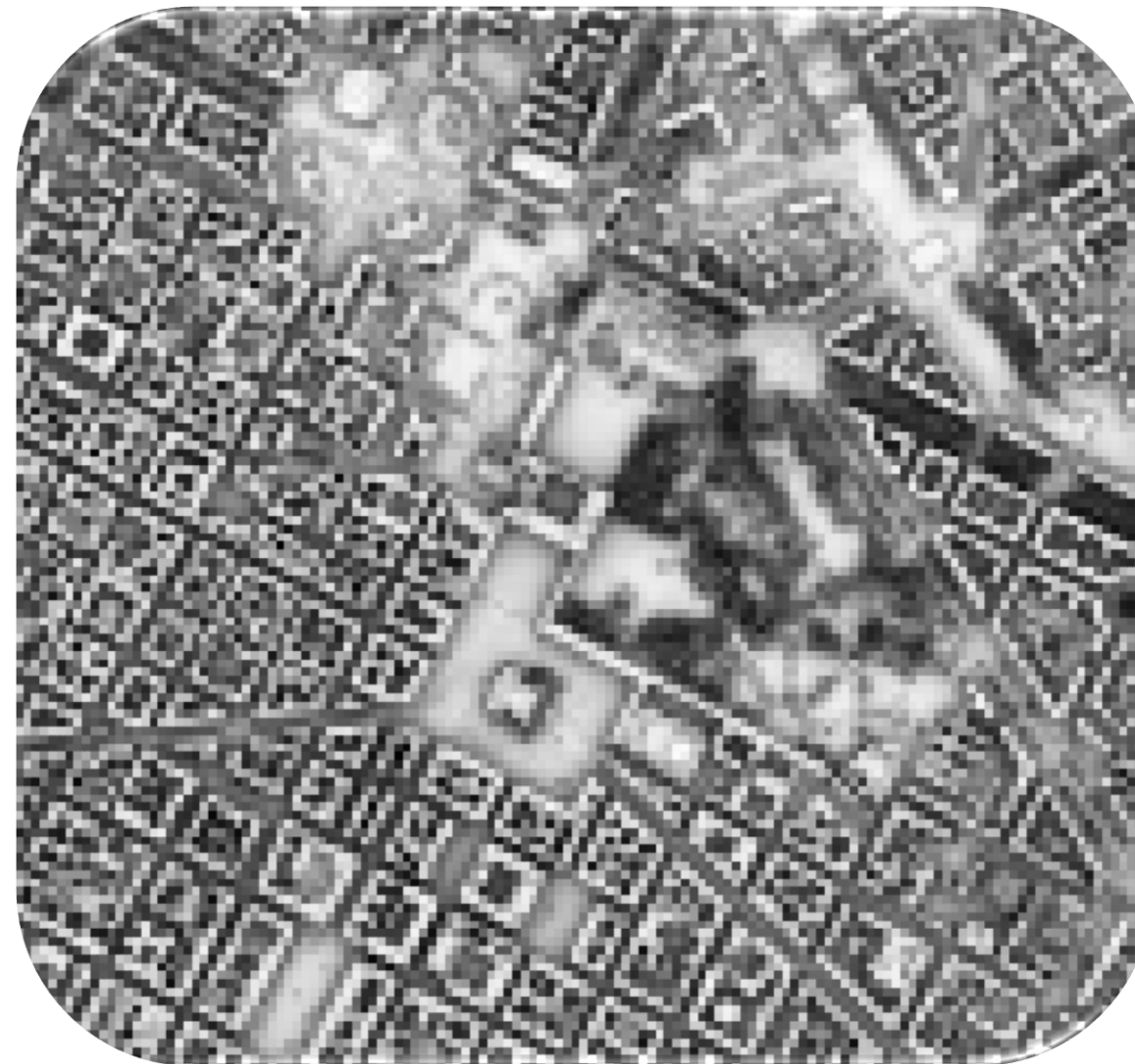
Gli indicatori

SVF - Sky View Factor

Indica la porzione di cielo visibile da un punto di osservazione



Ariane Middel, Jonas Lukasczyk, Ross Maciejewski,
Matthias Demuzere, Matthias Roth,
Sky View Factor footprints for urban climate modeling,
Urban Climate, Volume 25, 2018



Colori chiari → spazi aperti
es. Piazza Castello
(massima porzione di cielo
visibile e massimo valore di
SVF).

Colori scuri → vie strette, ma
anche le vie con alberi alti
(Corso Regina Margherita).

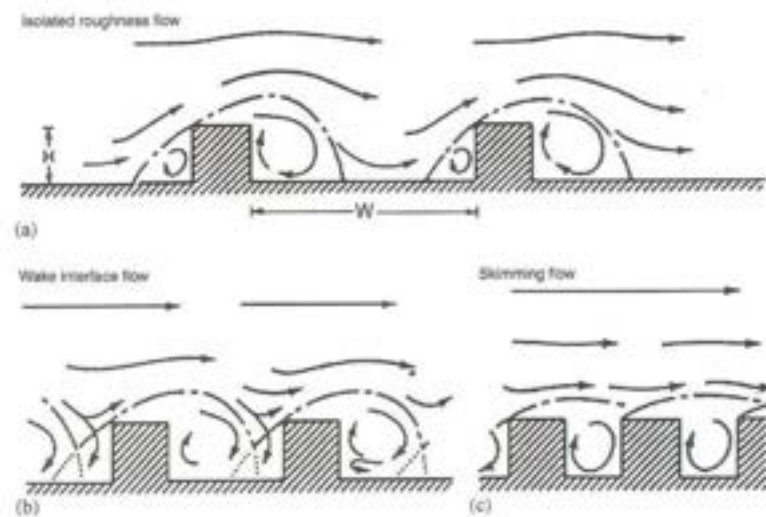


Zonizzazione climatica locale dell'area urbana (LCZ)

Gli indicatori

CAR - Canyon Aspect Ratio

E' il rapporto tra l'altezza media degli edifici e la larghezza media delle strade



Perpendicular flow regimes in urban canyons for different aspect ratio
Source: Oke, T (1988)



Colori chiari → spazi aperti come le piazze (minore effetto canyoning, valori bassi di CAR)

Colori scuri → gli spazi chiusi come le strade limitate ai lati da alti edifici (maggiore effetto canyoning, valori alti di CAR).

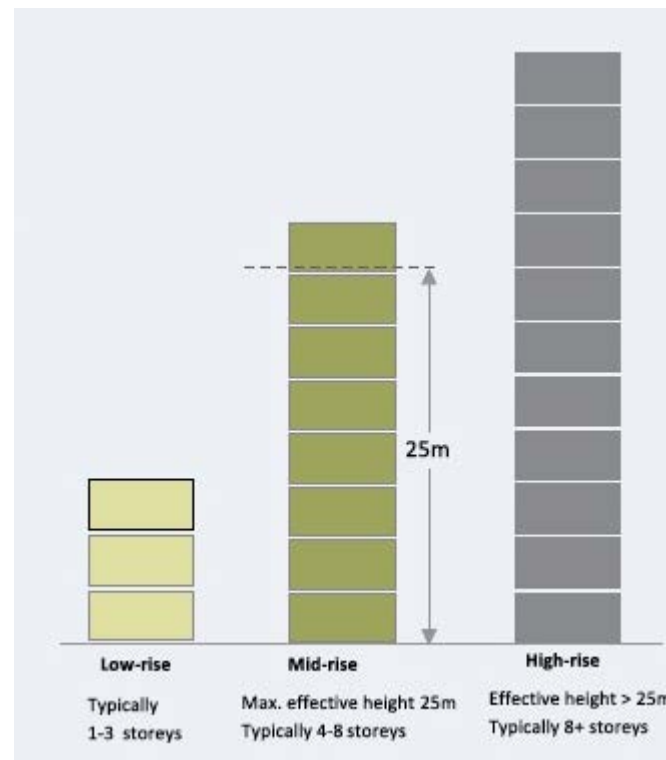


Zonizzazione climatica locale dell'area urbana (LCZ)

Gli indicatori

MHB - Mean Height Buildings

E' l'altezza media degli edifici



Colore scuro → edifici con maggiore altezza (alto valore di MHB).

Colore bianco → suolo non coperto da edifici come le piazze (minimo valore di MHB) ma anche aree vegetate (Giardini Reali).



Zonizzazione climatica locale dell'area urbana (LCZ)

Gli indicatori

MHC - *Mean Height Canopy*

E' l'altezza media della vegetazione



Verde più intenso → aree con alberi più alti (MHC maggiore, es. Giardini Reali e Corso Regina Margherita).

Bianco → aree non vegetate

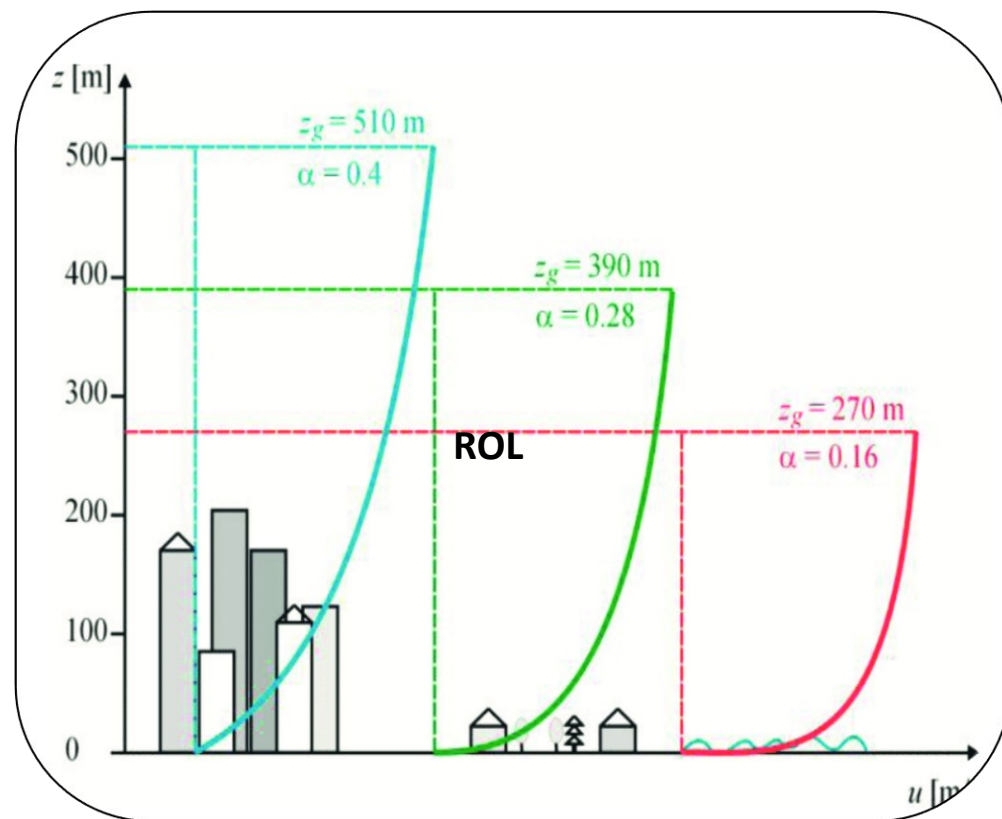


Zonizzazione climatica locale dell'area urbana (LCZ)

Gli indicatori

ROL – Roughness Length

Valuta la velocità media orizzontale del vento al suolo



Aree scure → la morfologia del terreno influisce molto sulla velocità del vento (maggiore rugosità).

Anche la vegetazione influisce sulla velocità del vento.

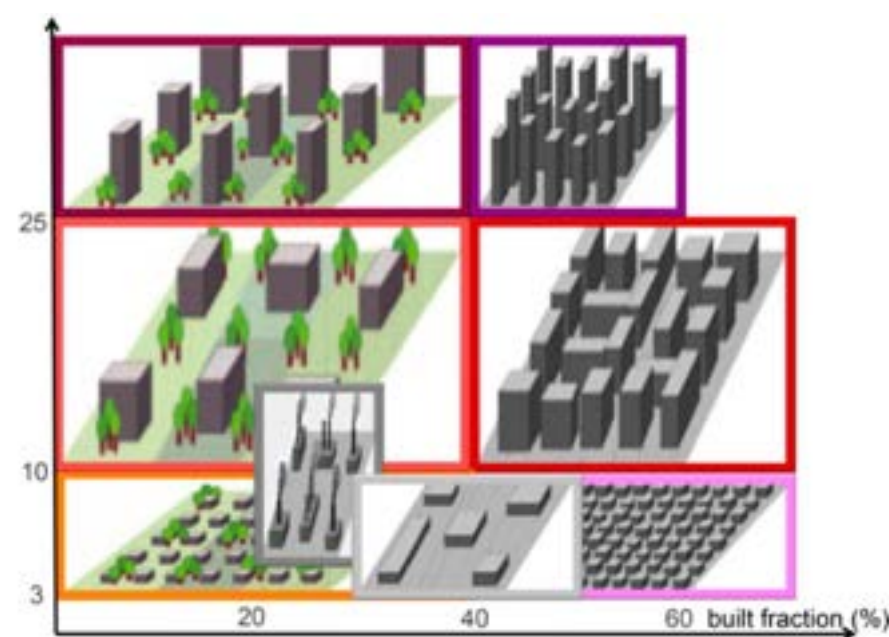


Zonizzazione climatica locale dell'area urbana (LCZ)

Gli indicatori

BSF - Building Surface Fraction

E' il rapporto tra la superficie edificata e la superficie totale



Colore chiaro → aree senza edifici o aree vegetate.

Colore scuro → aree edificate

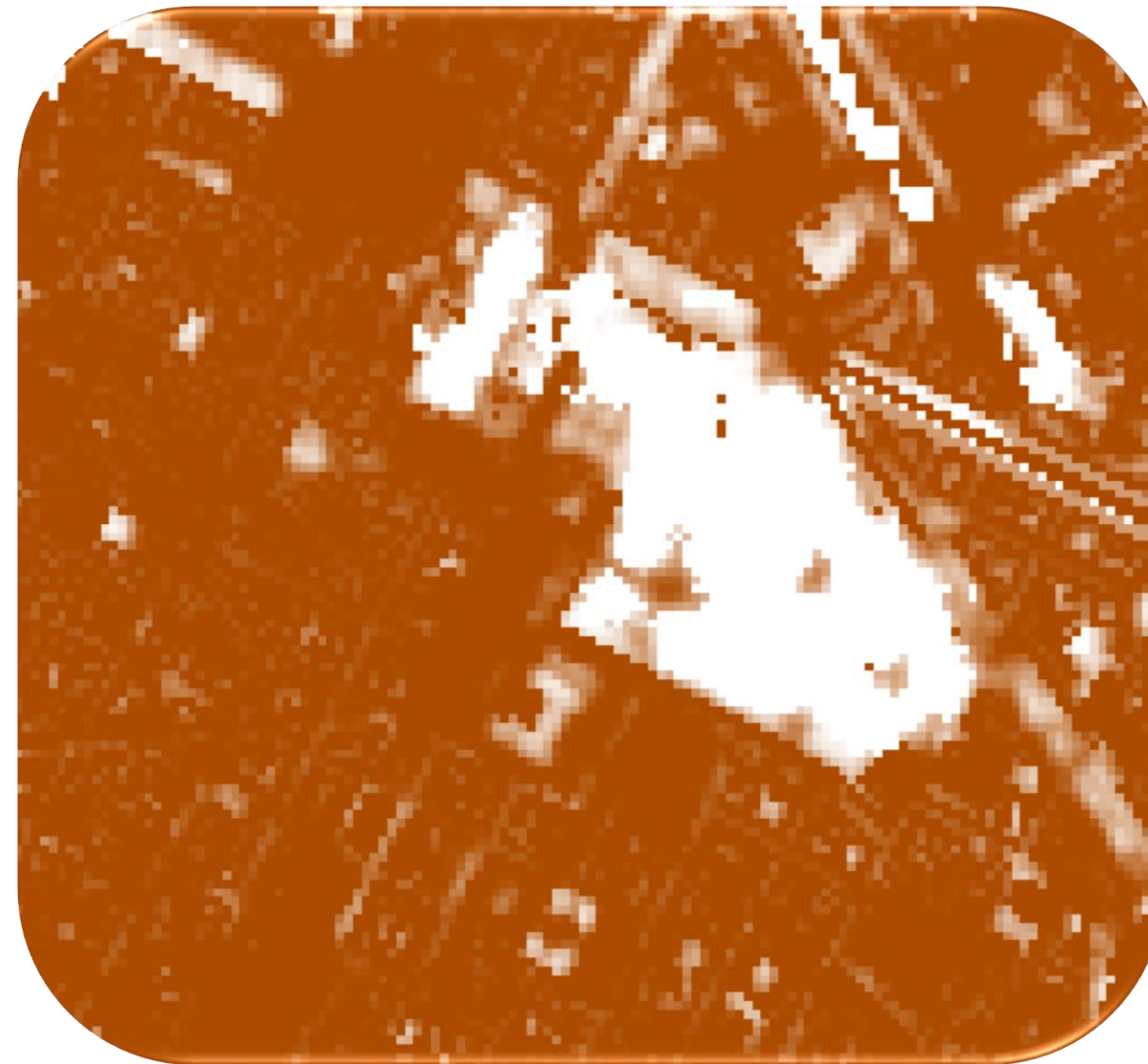
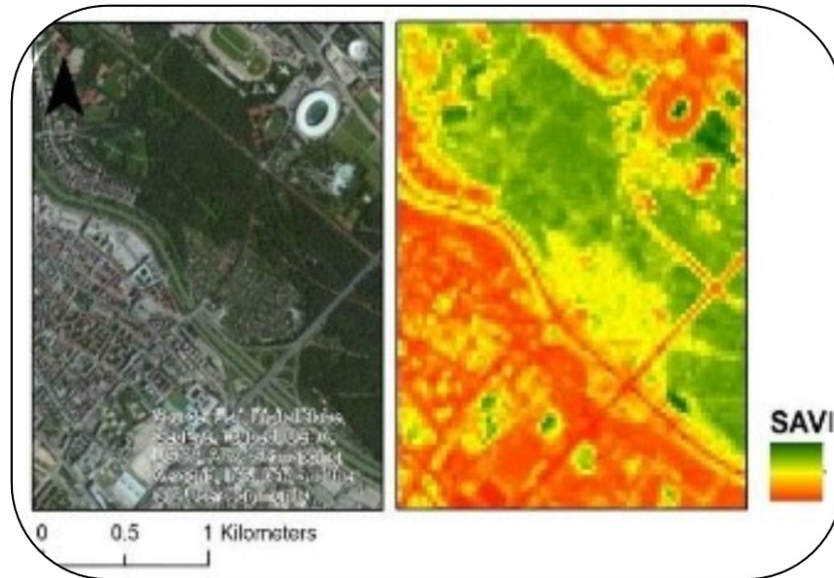


Zonizzazione climatica locale dell'area urbana (LCZ)

Gli indicatori

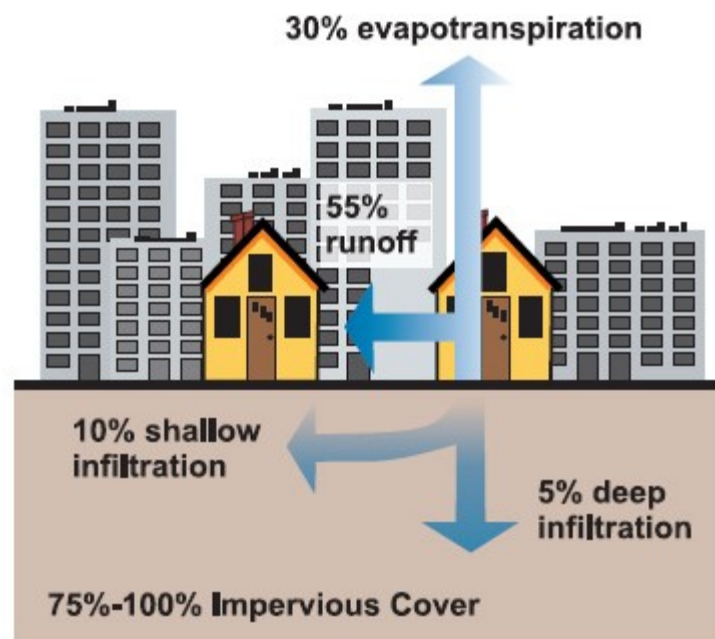
ISF - Impervious Surface Fraction

E' il rapporto tra la superficie rocciosa assieme a quella pavimentata, e la superficie totale



Colore scuro → indica maggiore impervietà (es. edifici, piazze asfaltate,...).

Colore chiaro → aree con minore impervietà (aree boscate, aree verdi...).

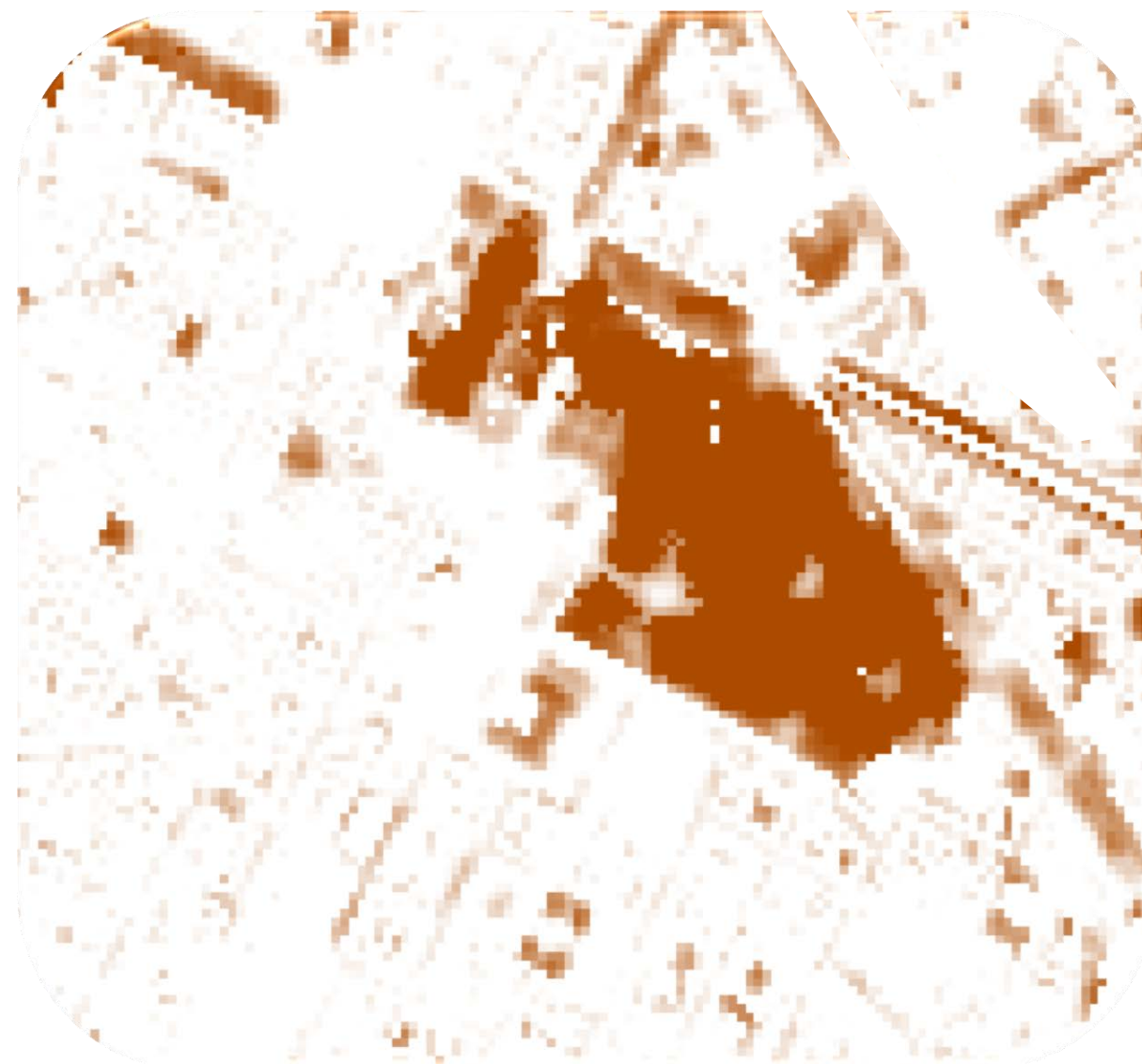
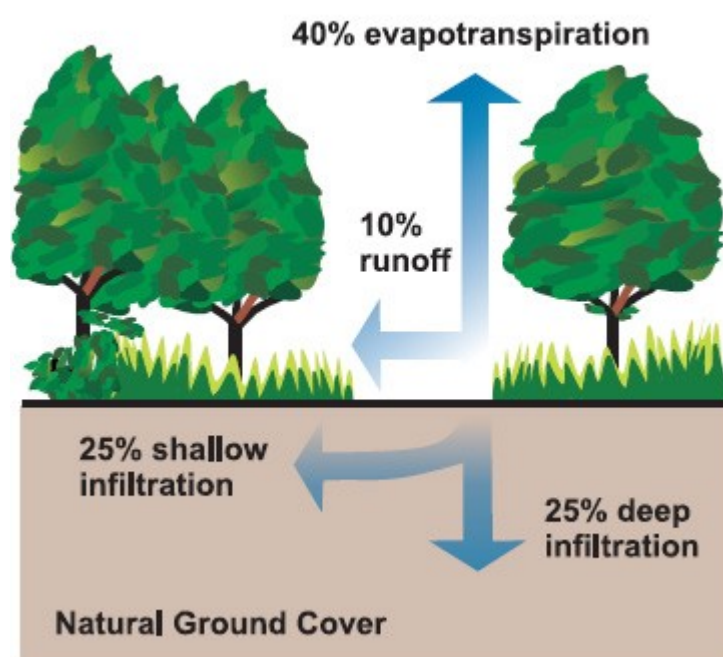
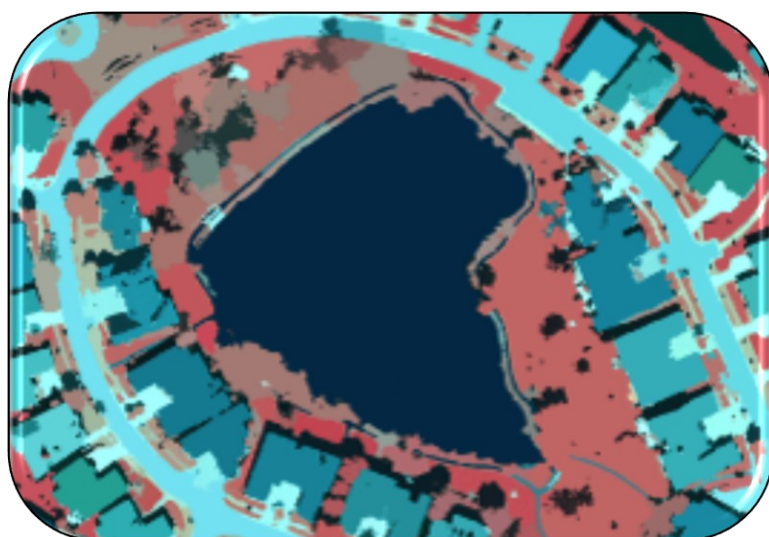


Zonizzazione climatica locale dell'area urbana (LCZ)

Gli indicatori

PSF - Pervious Surface Fraction

E' il rapporto tra suolo nudo, assieme a suolo vegetato e suolo coperto da acqua, e la superficie totale



Colore scuro → maggiore pervietà
(es. aree boscate).

Colore chiaro → maggiore pervietà
(es. aree boscate).

Il PSF è il complementare del dato
Impervious Surface Fraction.

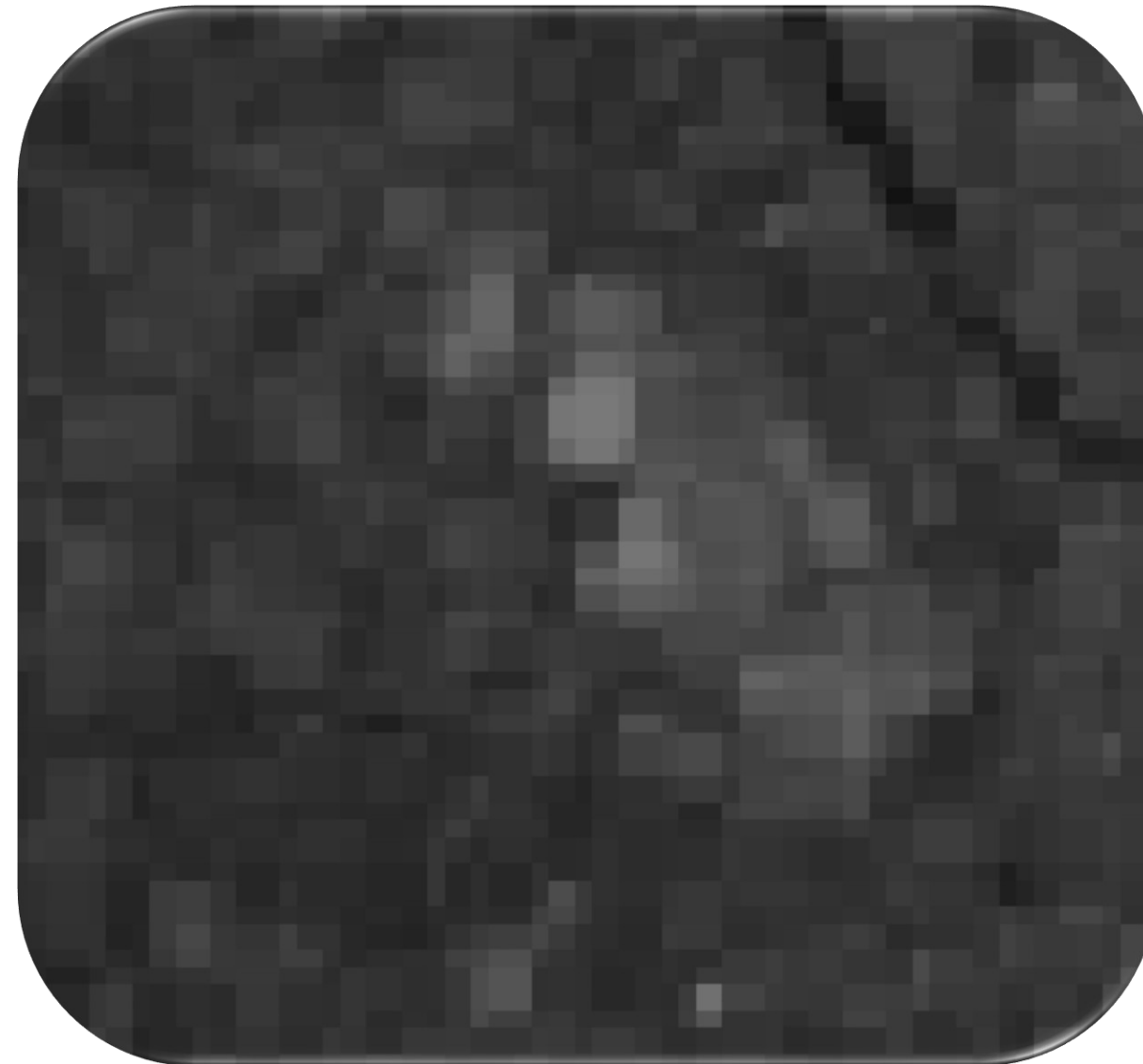


Zonizzazione climatica locale dell'area urbana (LCZ)

Gli indicatori

ALB - Albedo

Indica rapporto tra la quantità di radiazione solare riflessa da una superficie e quella ricevuta



Aree più scure → minore albedo (tetti più scuri, la Dora Riparia,...).

Aree più chiare → maggior albedo (tetti chiari, o pavimentazioni chiare es. Giardino Ducale)



Zonizzazione climatica locale dell'area urbana (LCZ)

Come avviene l'attribuzione delle classi LCZ?

Classificazione

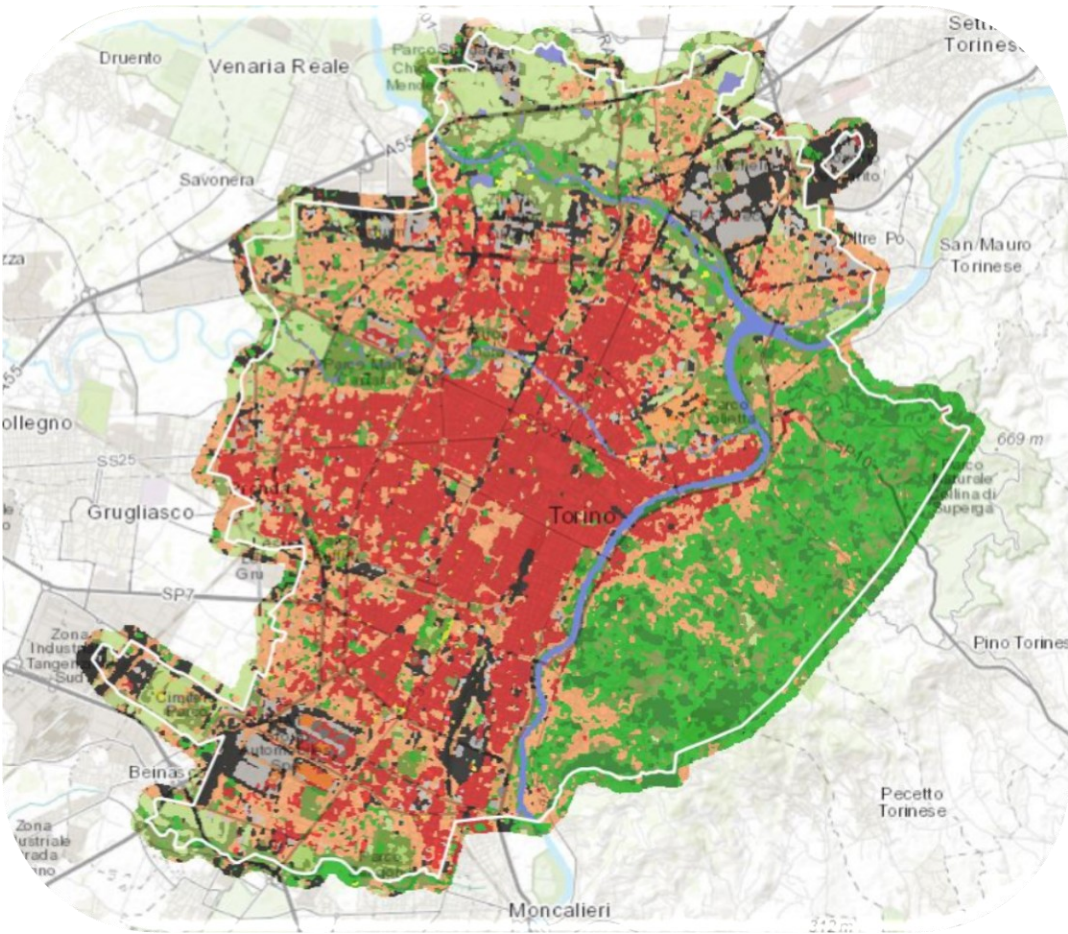
Parametri



LCZ Type	Sky View Factor	Canyon Aspect Ratio (H/W)	Mean Height (m)	Terrain Roughness Class	Building Surface Fraction	Impervious Surface Fraction	Pervious Surface Fraction	Surface Albedo
1	0.2-0.4	>2	>25	8	40-60%	40-60%	<10%	0.10-0.20
2	0.3-0.6	0.75-2	10-25	6-7	40-70%	30-50%	<20%	0.10-0.20
3	0.2-0.6	0.75-1.5	3-10	6	40-70%	20-50%	<30%	0.10-0.20
4	0.5-0.7	0.75-1.25	>25	7-8	20-40%	30-40%	30-40%	0.12-0.25
5	0.5-0.8	0.3-0.75	10-25	5-6	20-40%	30-50%	20-40%	0.12-0.25
6	0.6-0.9	0.3-0.75	3-10	5-6	20-40%	20-50%	30-60%	0.12-0.25
7	0.2-0.5	1-2	2-4	4-5	60-90%	<20%	<30%	0.15-0.35
8	>0.7	0.1-0.3	3-10	5	30-50%	40-50%	<20%	0.15-0.25
9	>0.8	0.1-0.25	3-10	5-6	10-20%	<20%	60-80%	0.12-0.25
10	0.6-0.9	0.2-0.5	5-15	5-6	20-30%	20-40%	40-50%	0.12-0.20
A	<0.4	>1	3-30	8	<10%	<10%	>90%	0.10-0.20
B	0.5-0.8	0.25-0.75	3-15	5-6	<10%	<10%	>90%	0.15-0.25
C	0.7-0.9	0.25-1	<2	4-5	<10%	<10%	>90%	0.15-0.30
D	>0.9	<0.1	<1	3-4	<10%	<10%	>90%	0.15-0.25
E	>0.9	<0.1	<0.25	1-2	<10%	>90%	<10%	0.15-0.30
F	>0.9	<0.1	<0.25	1-2	<10%	<10%	>90%	0.20-0.35
G	>0.9	<0.1	N/A	1	<10%	<10%	>90%	0.02-0.10

Mappa

- 1 - Compact high-rise
- 2 - Compact midrise
- 3 - Compact low-rise
- 4 - Open high-rise
- 5 - Open midrise
- 6 - Open low-rise
- 7 - Lightweight low-rise
- 8 - Large low-rise
- 9 - Sparsely built
- 10 - Heavy industry
- A - Dense trees
- B - Scattered trees
- C - Bush, scrub
- D - Low plants
- E - Bare rock or paved
- F - Bare soil or sand
- G - Water



Zonizzazione climatica locale dell'area urbana (LCZ)

Come avviene l'attribuzione delle classi LCZ?



```
else if (x==11){
  range[x] <- max[x]-min[x]
  min_range[x]<-0
  max_range[x]<-max[x]+range[x]
}
else if (x==14|x==15|x==16|x==17){
  range[x] <- max[x]-min[x]
  min_range[x]<-min[x] - range[x]
  max_range[x]<-max[x]+0.001
}
}

for (x in 1:17) {
  SVF_LCZ <- SVF
  values(SVF_LCZ) <- fuzzify_trapezoidal(values(SVF), a = min_range[x], b = min_range[x], c = max[x], d = max_range[x])
  nome_nome <- paste ("E:\\lavori\\r\\raster_test\\SVF_LCZ-",x,".tif",collapse='')
  nome_nome_cor <- gsub(" ", "", nome_nome)
  print (nome_nome_cor)
  writeRaster(SVF_LCZ, nome_nome_cor, format = "GTiff", overwrite = TRUE)
}

graphics.off()

par(mfrow = c(4, 5))
for (x in 1:17) {
  SVF_LCZ_graf <- TrapezoidalFuzzyNumber(min_range[x], min[x], max[x], max_range[x])
  #plot (SVF_LCZ_graf)
  class(SVF_LCZ_graf)
  nome_graf <- paste ("SVF_LCZ_graf",x)
  plot(SVF_LCZ_graf, col = "red", main = nome_graf)
  abline(v=min[x], col="blue")
  abline(v=max[x], col="blue")
}
par(mfrow = c(1, 1))
df <- data.frame(min_range, min , max , max_range)
print (df)
```

Codice r

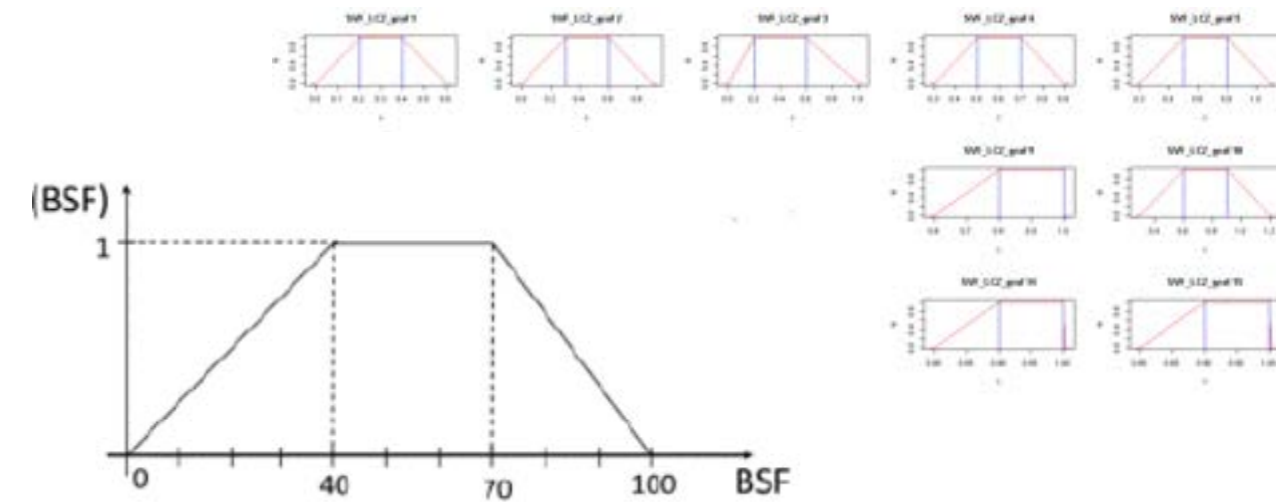


Grafico logica fuzzy

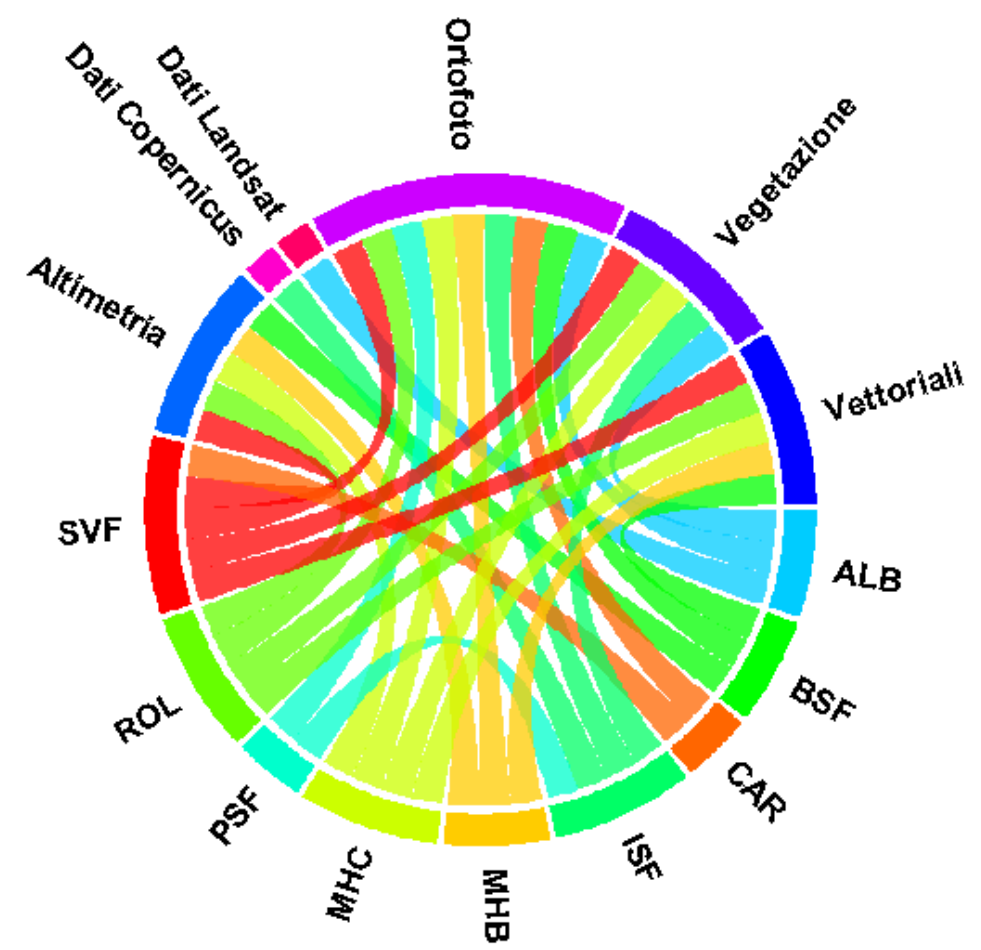


Zonizzazione climatica locale dell'area urbana (LCZ)

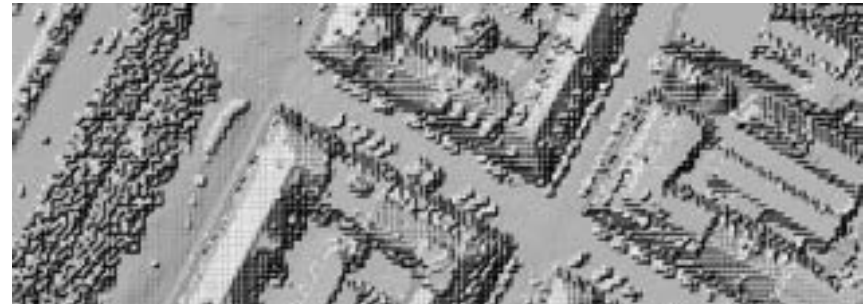
Quali dati e quali strumenti servono per calcolare LCZ?



DATI	ASTI	CHIVASSO	TORINO
Altimetria	- Digital Terrain Model - DTM risoluzione 5m (Regione Piemonte) - Livello edifici quotati (Arpa Piemonte) - DATI Lidar DTM, DSM risoluzione 1 m (Fonte Ministero Transizione Ecologica)	- Digital Terrain Model - DTM risoluzione 5m - Livello edifici quotati (Arpa Piemonte) - DATI Lidar DTM, DSM risoluzione 1 m (Fonte Ministero Transizione Ecologica)	- Digital Terrain Model - DTM anno 2023 risoluzione 20 cm (Fonte Comune di Torino) - Digital Surface Model - DSM anno 2023 risoluzione 20 cm (Fonte Comune di Torino) - Dati LIDAR (Fonte Comune di Torino)
Dati vettoriali	BDtre Vettoriale (Fonte Regione Piemonte)	BDtre Vettoriale (Fonte Regione Piemonte)	CTC Comunale (Fonte Comune di Torino)
Ortofoto	Ortofoto AGEA 2021 - Regione Piemonte risoluzione 20 cm (Regione Piemonte)	Ortofoto AGEA 2021 - Regione Piemonte risoluzione 20 cm (Regione Piemonte)	Ortofoto anno 2023 risoluzione 10 cm (Fonte Comune di Torino)
Dati telerilevati	- Imperviousness Density 2018 (risoluzione 10 m, fonte ISPRA - Programma Copernicus) - Albedo, Immagini LANDSAT (risoluzione 30 m, fonte USGS)	- Imperviousness Density 2018 (risoluzione 10 m, fonte ISPRA - Programma Copernicus) - Albedo, Immagini LANDSAT (risoluzione 30 m, fonte USGS)	- Imperviousness Density 2018 (risoluzione 10 m, fonte ISPRA - Programma Copernicus) - Albedo, Immagini LANDSAT (risoluzione 30 m, fonte USGS)
Vegetazione	Alberate, aree verdi (Comune di Asti)	High Resolution Canopy Height Maps by WRI and Meta	Verde urbano, aree agroforestali (Fonte Comune di Torino)



STRUMENTI	Estensioni/librerie
Qgis (3.34)	- SAGA - GDAL
R v4.4.0 RStudio	- Raster - Fuzzy ...

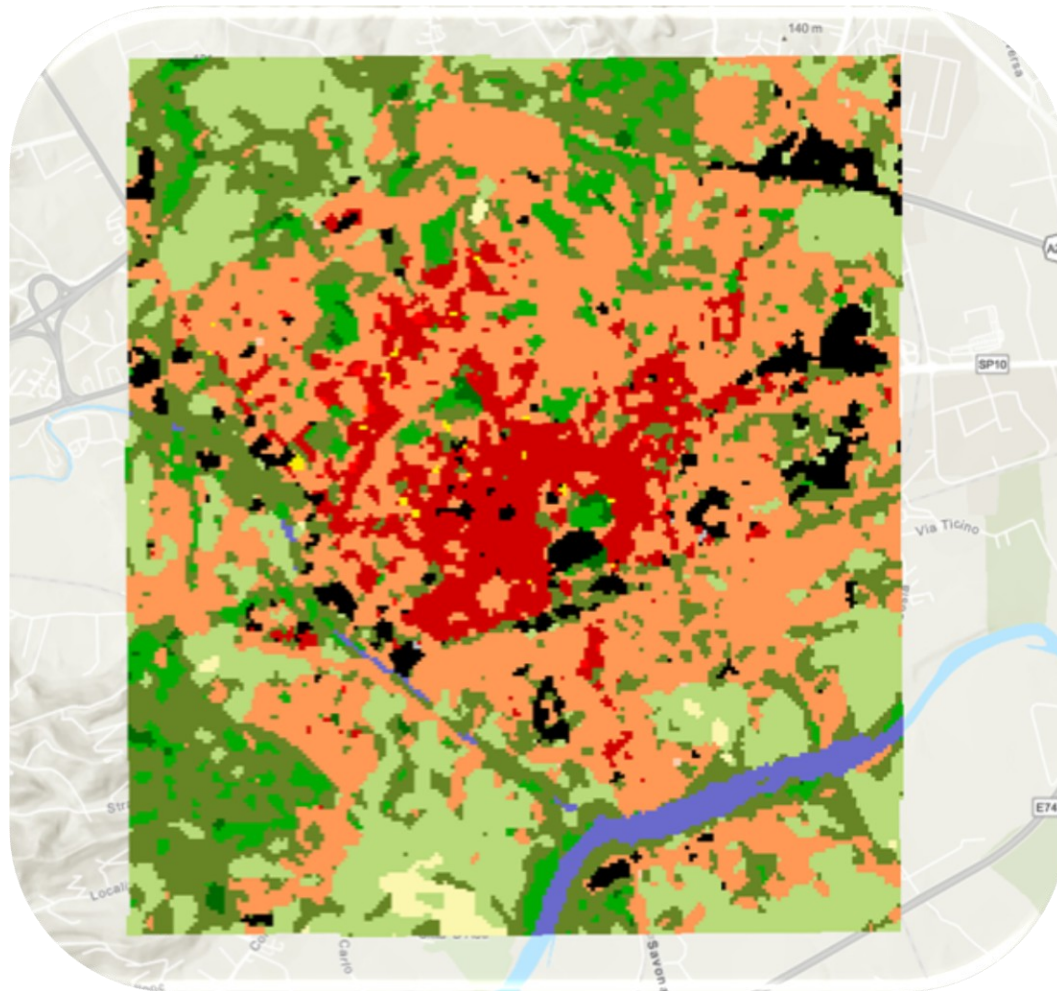


Zonizzazione climatica locale dell'area urbana (LCZ)

Aree di d'indagine

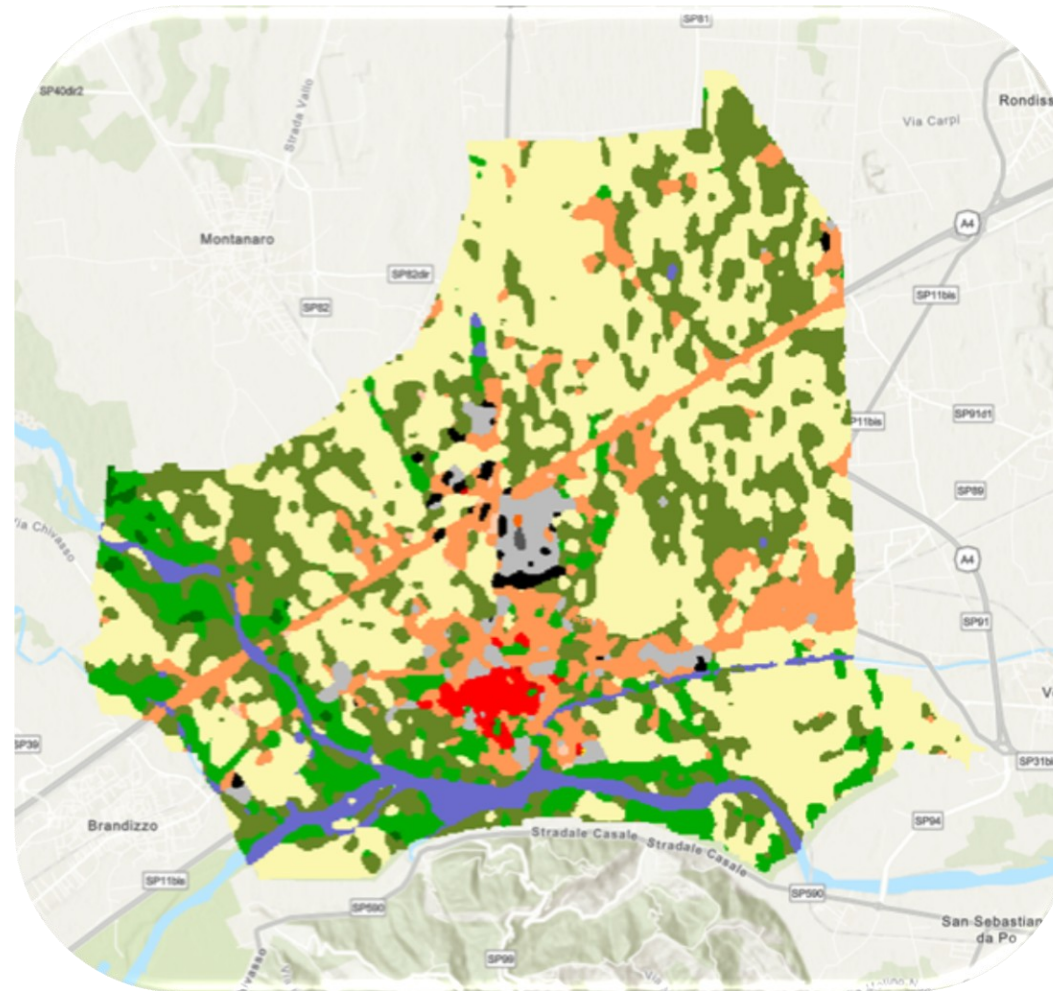
[Consulta le mappe delle Zone Climatiche Locali](#)

Asti



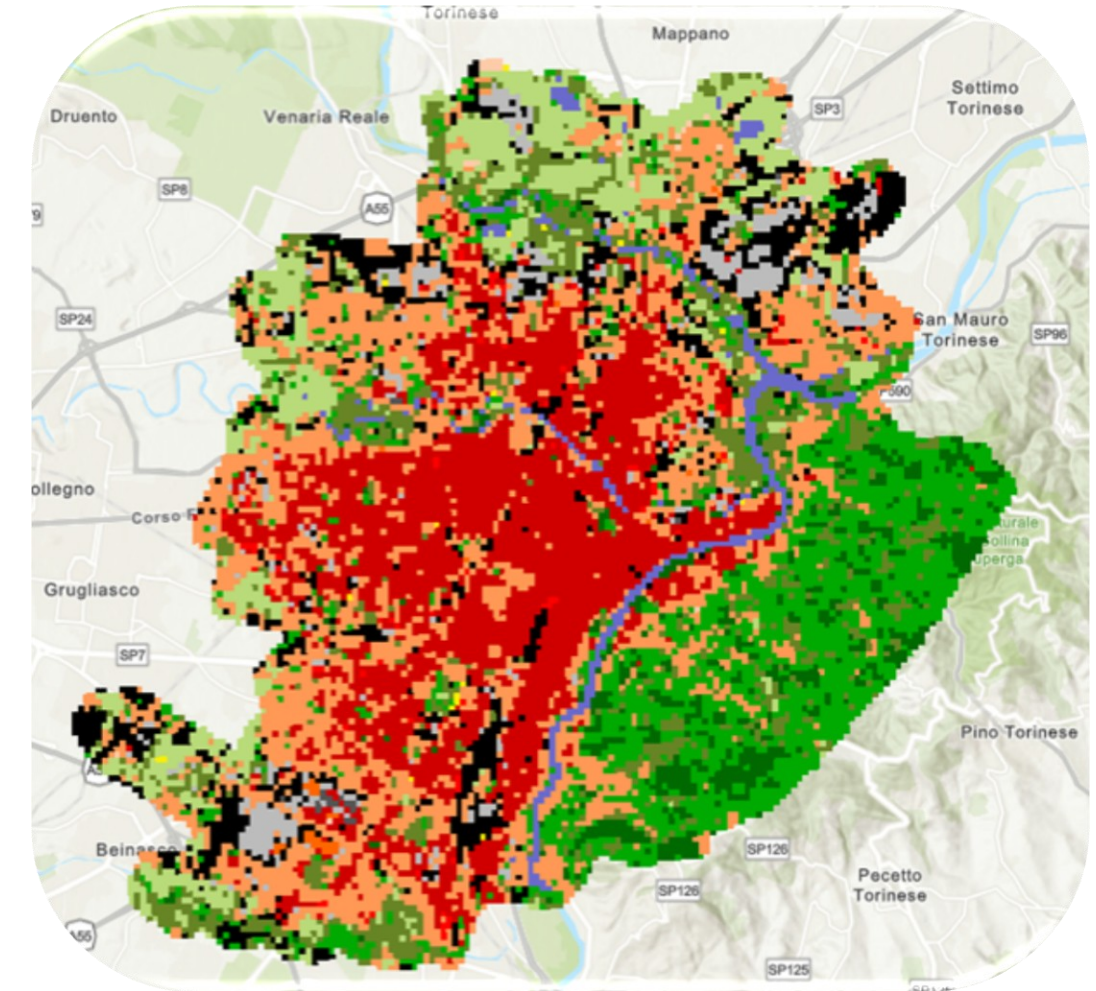
*Progetto Urban Forestry (2018-2023)
In collaborazione con CNR-IBE e Comune di
Asti, Regione Piemonte, Ipla.*

Chivasso



*Tesi di laurea magistrale “Caratterizzazione delle
LCZ sul comune di Chivasso” Angelo Mustone
(2024).
In collaborazione con il Comune di Chivasso*

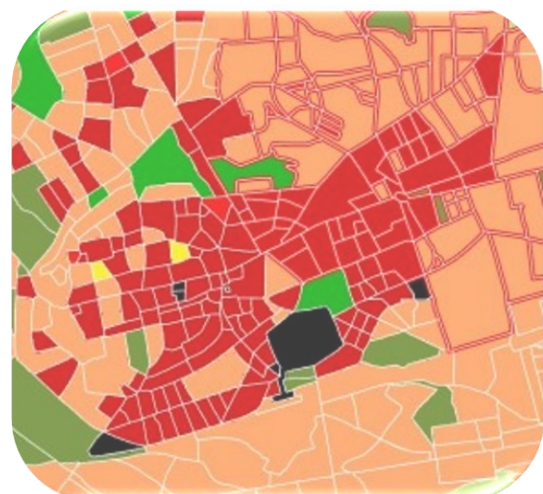
Torino



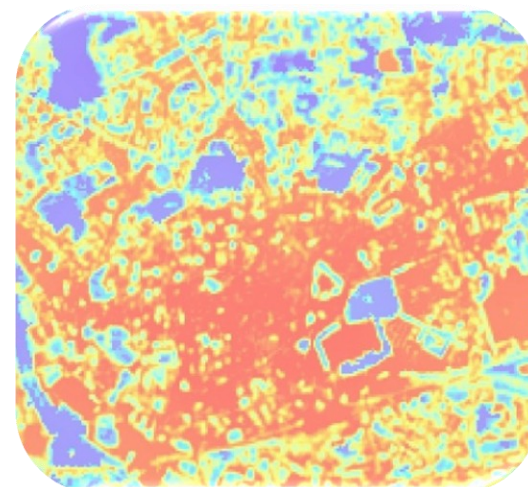
*In collaborazione con la Città di Torino
(2024)*

Zonizzazione climatica locale dell'area urbana (LCZ)

Applicazioni delle mappe LCZ



Pianificazione urbana



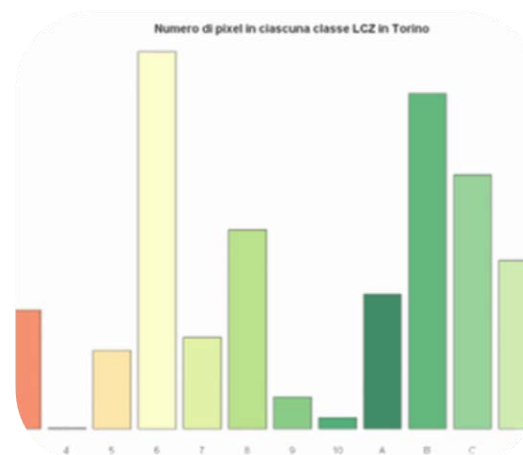
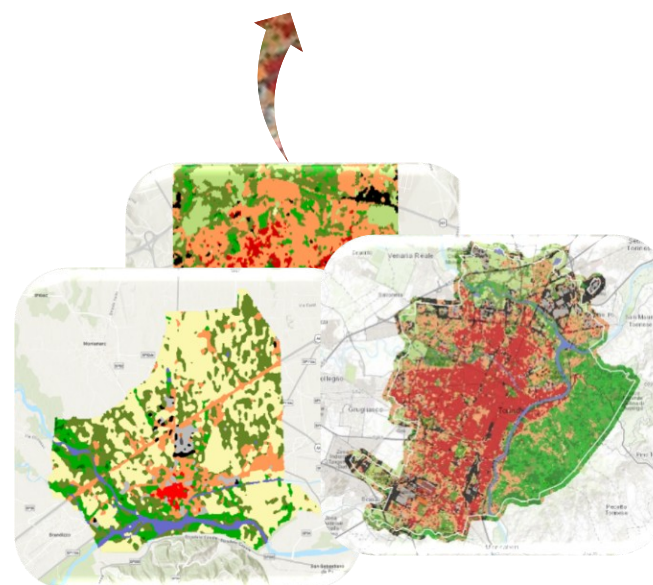
Mappa del rischio sanitario



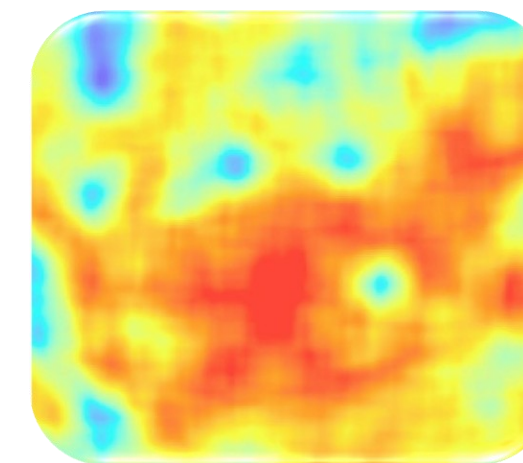
Analisi delle isole di calore urbane (UHI)



Modellazione del clima urbano

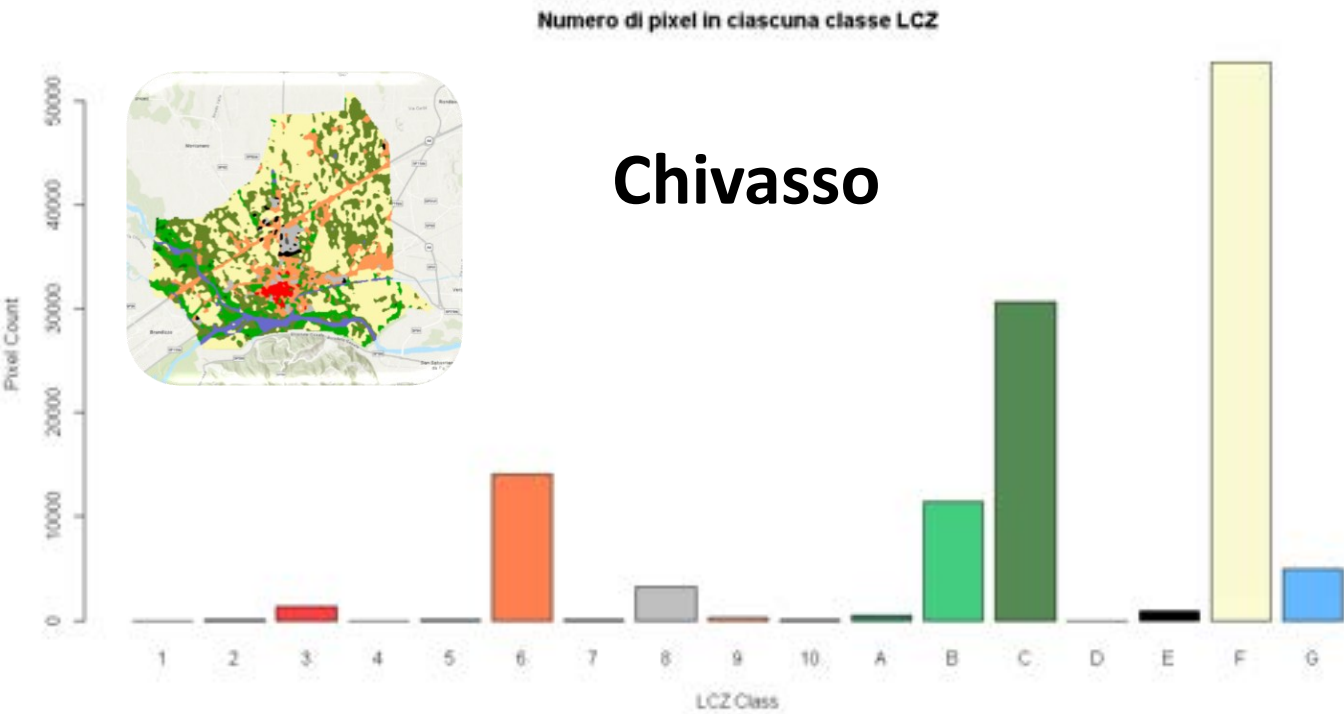
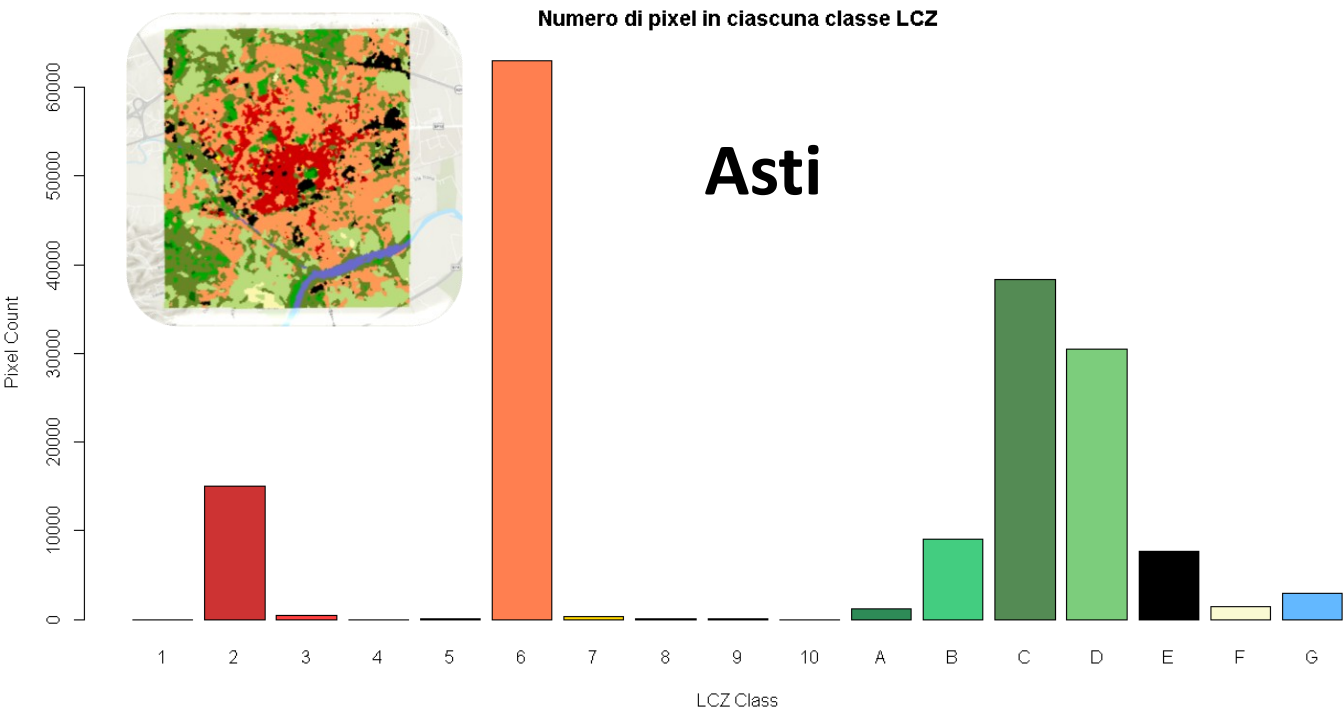


Standardizzazione tra le città



Resilienza urbana e adattamento climatico

Applicazioni delle mappe LCZ

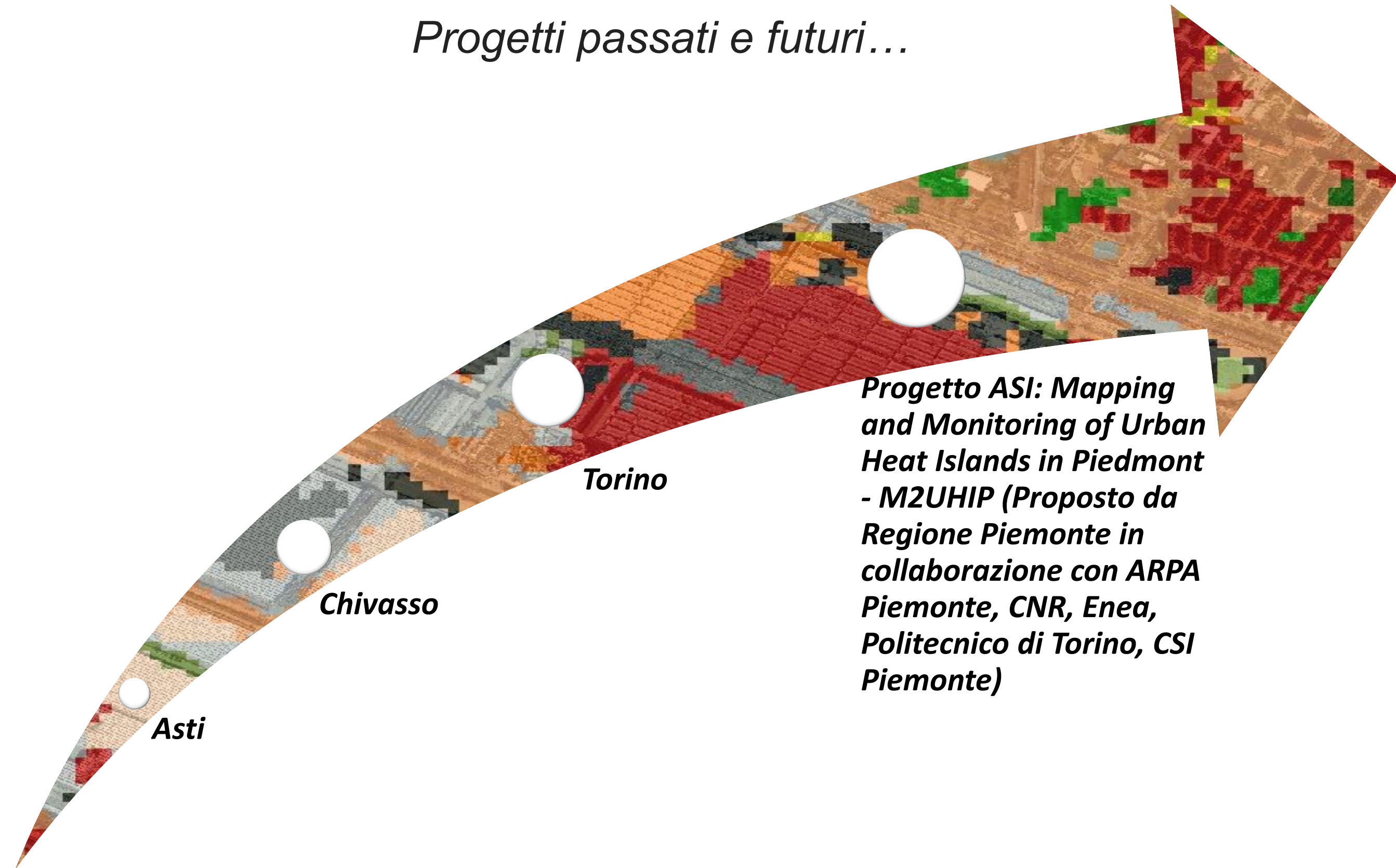


- 1 - Compact high-rise
- 2 - Compact midrise
- 3 - Compact low-rise
- 4 - Open high-rise
- 5 - Open midrise
- 6 - Open low-rise
- 7 - Lightweight low-rise
- 8 - Large low-rise
- 9 - Sparsely built
- 10 - Heavy industry
- A - Dense trees
- B - Scattered trees
- C - Bush, scrub
- D - Low plants
- E - Bare rock or paved
- F - Bare soil or sand
- G - Water

Il grafico che rappresenta la frequenza delle classi LCZ nelle città studiate. E' un grafico standardizzato che consente un confronto immediato tra città diverse.

Zonizzazione climatica locale dell'area urbana (LCZ)

Progetti passati e futuri...



Grazie per
l'attenzione!