



Agenzia
Spaziale
Italiana



POLITECNICO
MILANO 1863



LOCAL CLIMATE ZONES & OPEN DATA CUBE (LCZ-ODC)

Le immagini satellitari a supporto di progettazione e monitoraggio del territorio

23 febbraio 2024 - Roma, Casa dell'Architettura

Introduzione sull'utilizzo di immagini satellitari per la generazione di mappe tematiche

Relatore: Giovanna Venuti

Professore Associato

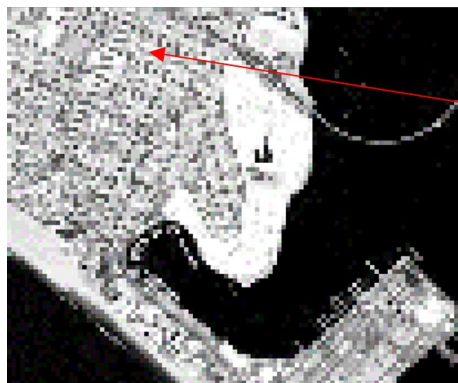
Politecnico di Milano - DICA - Sezione Geodesia e Geomatica

è il nostro dato

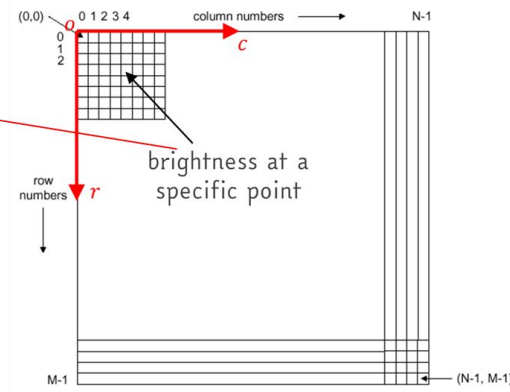
viene acquisita da un sensore (o payload) a bordo di un satellite artificiale (veettore)

il sensore che punta su una certa area della superficie terrestre acquisisce e registra l'energia che la porzione di superficie 'illuminata' dal sole riflette nella direzione del sensore

l'immagine è il risultato di un'acquisizione 'simultanea' dell'energia riflessa di un'area di dimensioni prefissate (swath o tile)



Grayscale satellite digital image

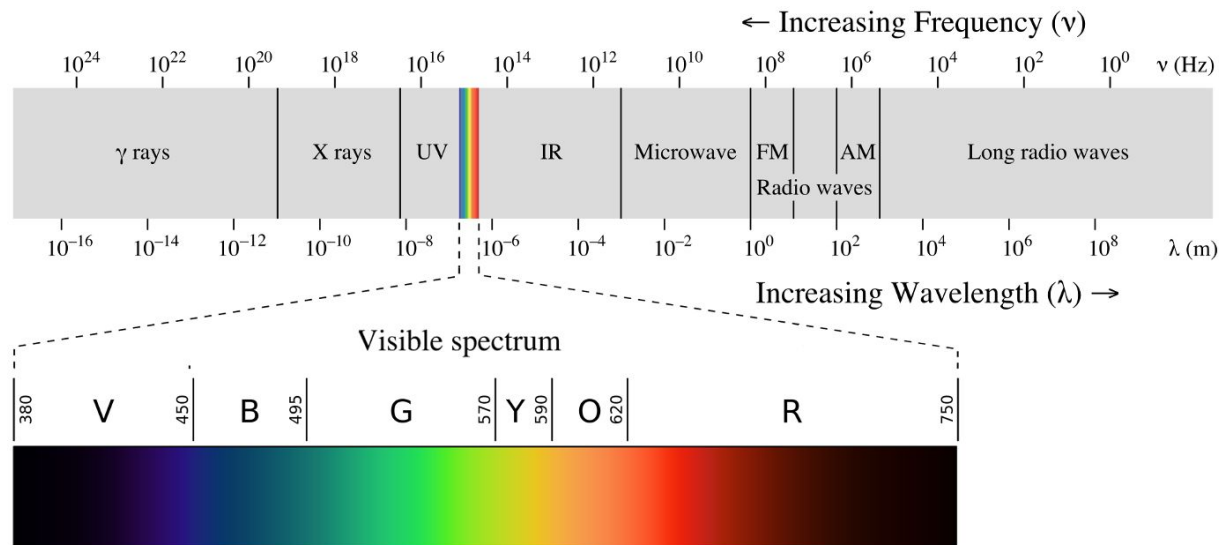


Numeric matrix

https://gis4schools.readthedocs.io/en/latest/part3/rs_imageanalysis.html

l'energia che misuriamo è prodotta dal sole, si propaga nel vuoto (e anche nell'atmosfera) sotto forma di onde con periodi o frequenza diverse

i sensori sono in grado di acquisire l'energia suddividendola in canali o bande di frequenza



lo spettro elettromagnetico è l'insieme di tutte le possibili frequenze

i sensori delle missioni multi e iperspettrali acquisiscono in un certo intervallo dello spettro e, all'interno di questo, solo su certi intervalli di frequenza o bande

L'immagine come "specchio" di numeri

consideriamo una sola delle bande

il sensore registra una matrice di numeri proporzionali all'energia riflessa dalla superficie 'inquadrata'

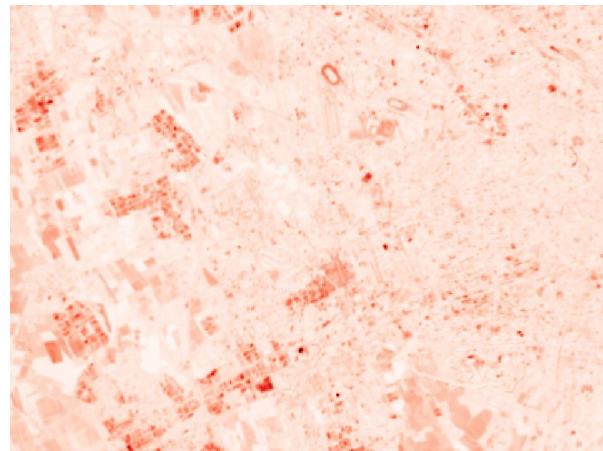
ciascun numero o pixel dell'immagine si riferisce all'energia di una porzione elementare di tutta la superficie 'inquadrata'

la dimensione di questa porzione definisce la RISOLUZIONE SPAZIALE dell'immagine: questa risoluzione può cambiare da banda a banda

Banda
pancromatica di
PRISMA (5m)

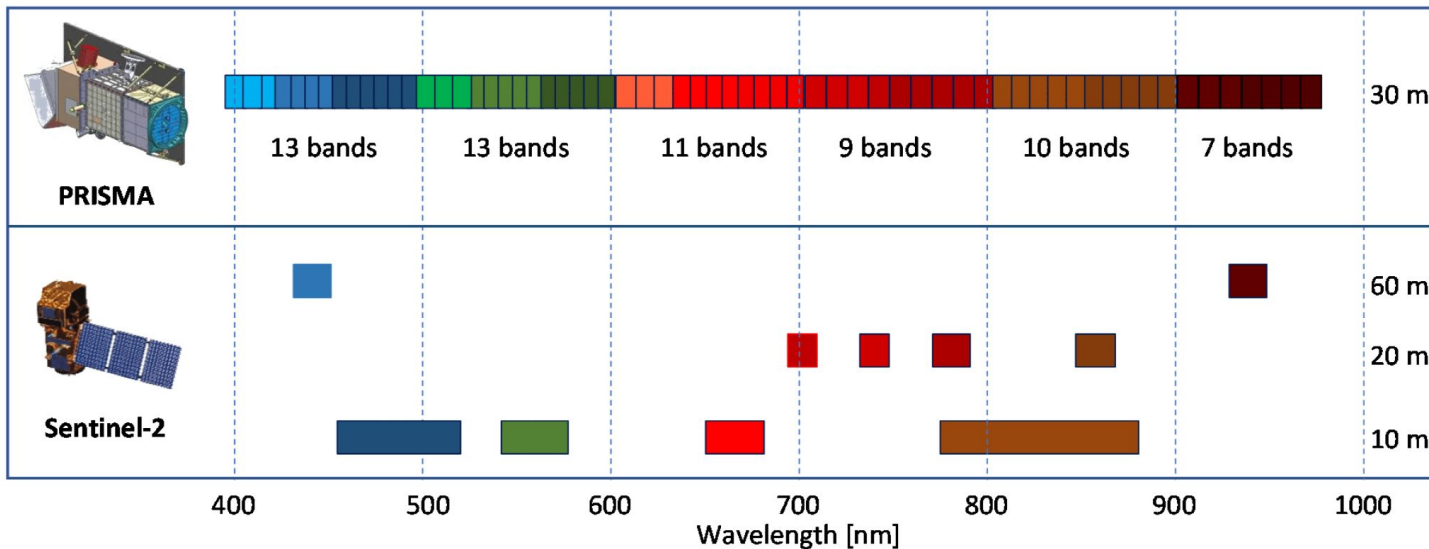


Banda del
ROSSO di
PRISMA (30m)



Bande di acquisizione dei satelliti PRISMA e Sentinel-2 e loro risoluzione spaziale

Confronto della risoluzione spaziale e spettrale delle bande di PRISMA e Sentinel-2 nella regione del VNIR (vicino infrarosso)



Niroumand-Jadidi, M.; Bovolo, F.; Bruzzone, L. Water Quality Retrieval from PRISMA Hyperspectral Images: First Experience in a Turbid Lake and Comparison with Sentinel-2. Remote Sens. 2020, 12, 3984. <https://doi.org/10.3390/rs12233984>

L'immagine multi e iper-spetttrale

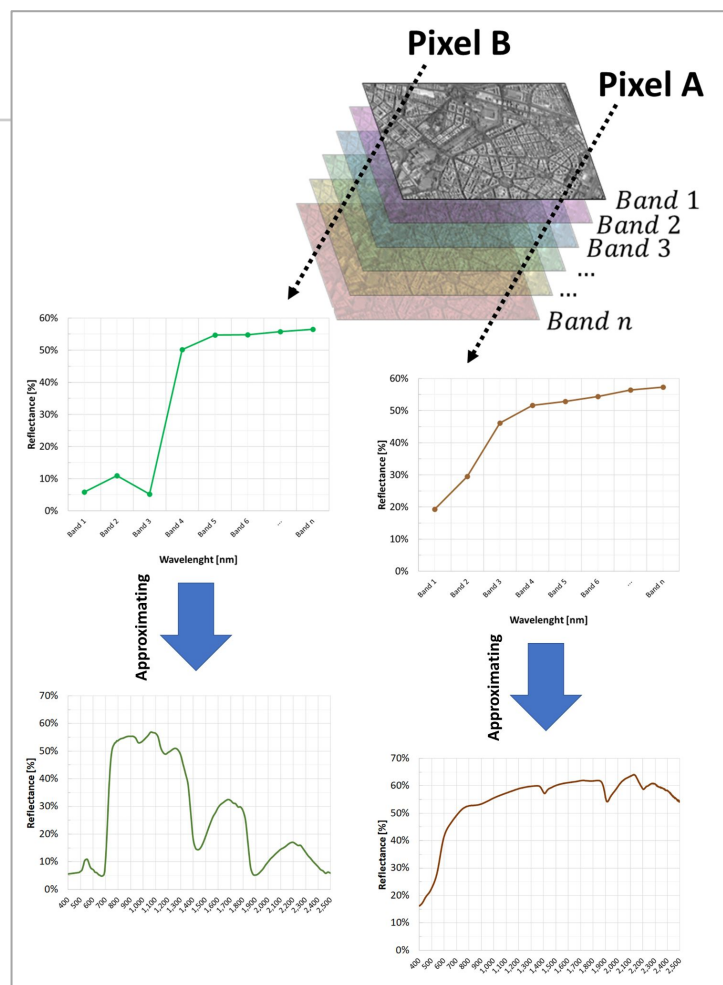
è la collezione delle immagini acquisite ognuna in diversi intervalli o bande dello spettro

l'ampiezza delle bande può essere diversa e così il numero di bande

il numero e l'ampiezza delle bande definiscono la RISOLUZIONE SPETTRALE di un'immagine o di una missione satellitare

- se il numero è dell'ordine di decine di bande, si parla di **missione multispettrale**
- se il numero è dell'ordine di centinaia di bande, si parla di **missione iperspettrale**

https://gis4schools.readthedocs.io/en/latest/part3/rs_imageanalysis.html

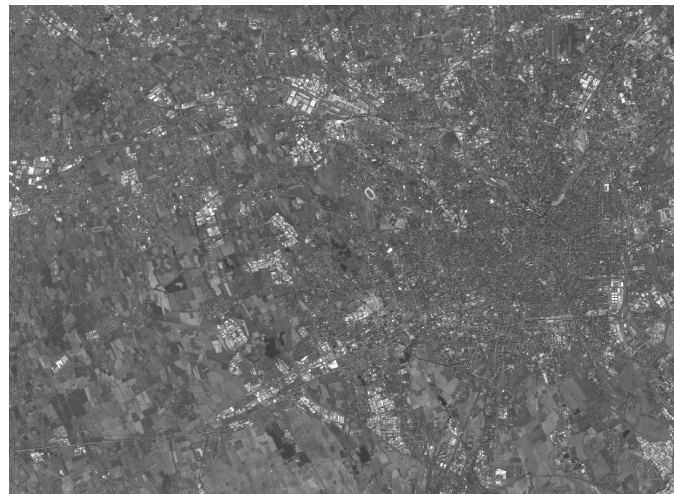


maggiore è l'ampiezza della banda, minore è l'area della porzione di superficie rappresentata in un pixel (minore è la risoluzione spettrale, maggiore è la risoluzione spaziale)

Immagine RGB di PRISMA
(30 m di risoluzione spaziale)



Banda del PANCROMATICO di PRISMA
(5 m di risoluzione spaziale)

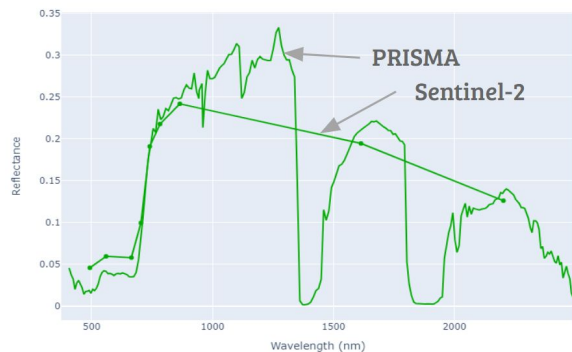


l'energia riflessa dalla singola porzione di superficie e registrata in un certo pixel dell'immagine è diversa nelle diverse porzioni dello spettro

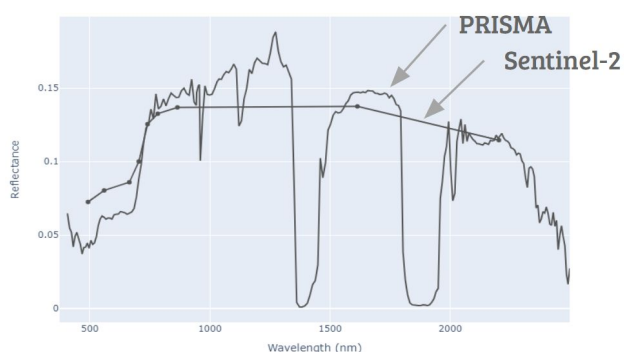
l'energia riflessa da una porzione di superficie nelle diverse bande costituisce la FIRMA SPETTRALE: aree costituite dalla stessa tipologia di suolo hanno firme spettrali simili

Confronto firme spettrali calcolate da PRISMA (iperspettrale) e Sentinel-2 (multispettrale)

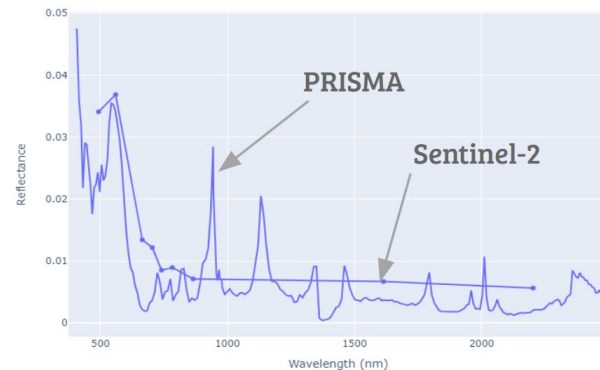
Firma spettrale di vegetazione



Firma spettrale di asfalto



Firma spettrale di acqua

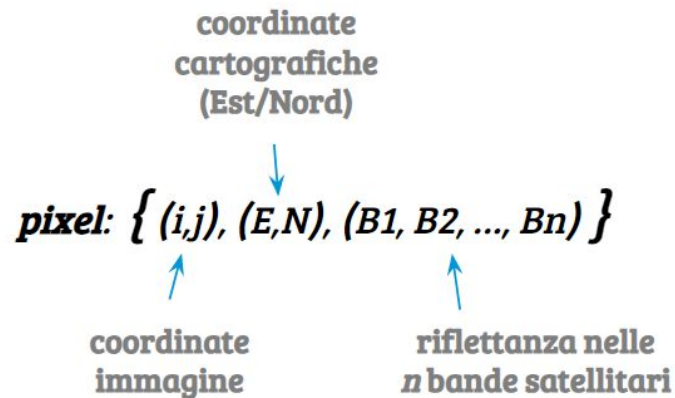
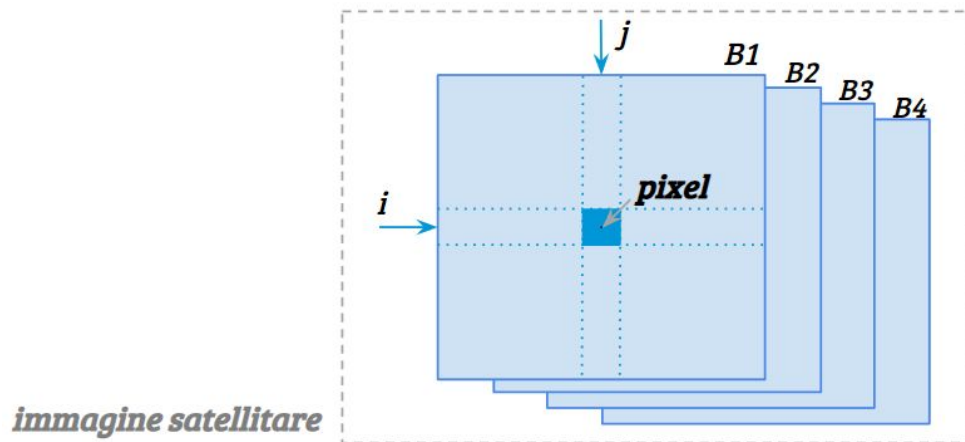


L'informazione associata ad un pixel

ciascun pixel rappresenta una certa porzione di territorio

si possono assegnare al pixel le coordinate baricentriche di questa porzione (georeferenziazione dell'immagine)

a ciascun pixel di un'immagine multi o iper spettrale si può assegnare inoltre il valore dell'energia in tutte le bande e un'etichetta che indica la classe di appartenenza (cluster/segmento)

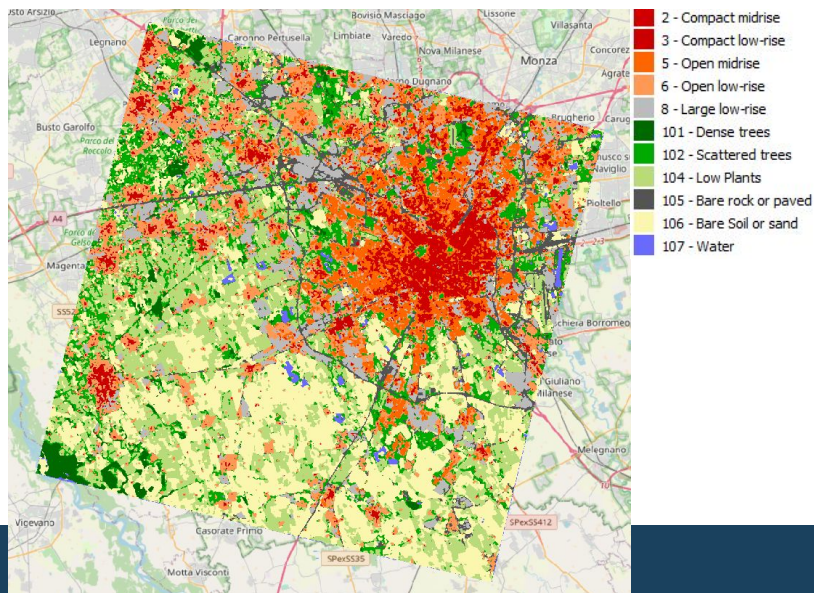


La generazione di una mappa tematica da immagini digitali

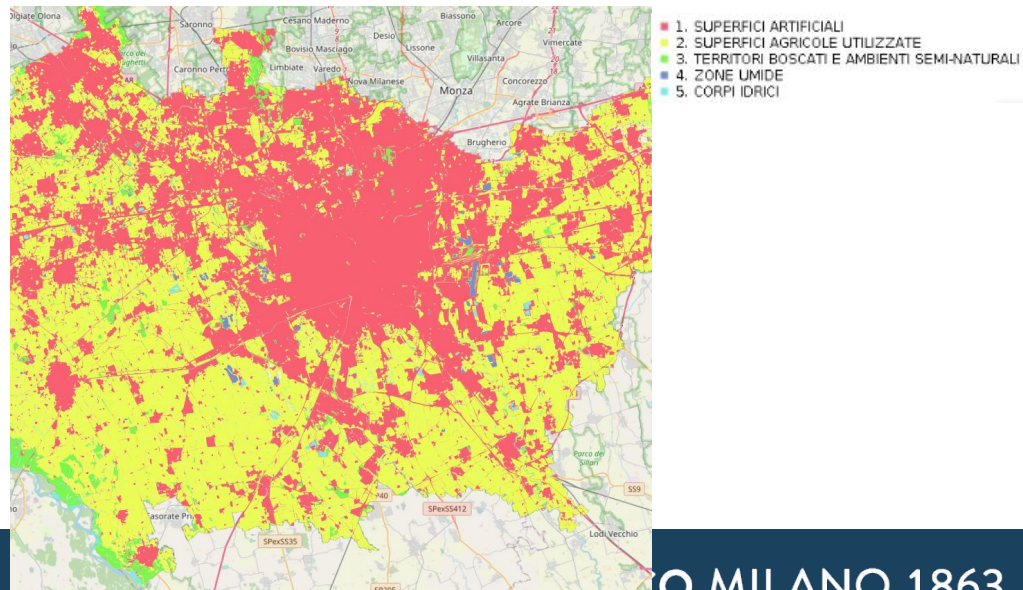
colori uguali indicano aree appartenenti a una stessa classe (stesso comportamento climatico/stessa copertura del suolo/etc.)

la mappa tematica derivata dall'immagine è un'unica matrice di etichette (tante quante sono le classi) assegnate a ciascun pixel e rappresentate con un diverso colore

Esempio: mappa di Local Climate Zone



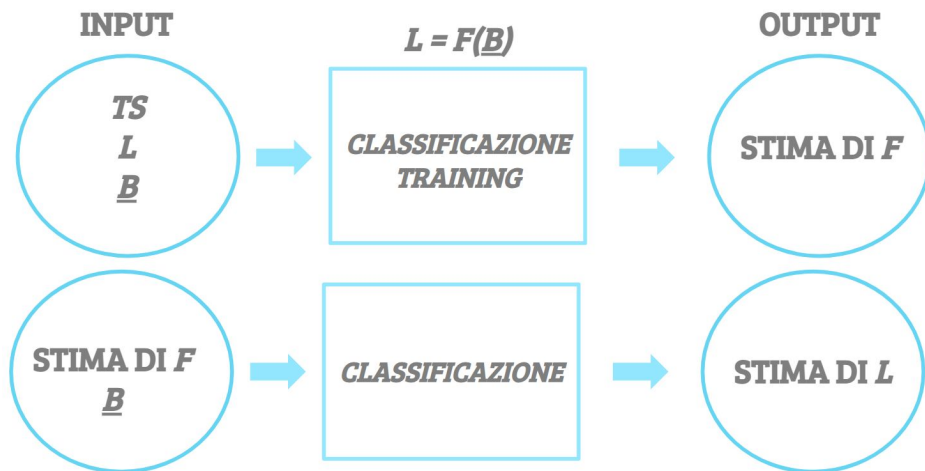
Esempio: mappa di copertura del suolo



classificare vuol dire assegnare a ciascun pixel dell'immagine, sulla base del vettore di energia riflessa nelle diverse bande (firma spettrale), un'etichetta

più in generale vuol dire trovare dapprima la legge che assegna l'etichetta in funzione della firma spettrale per poi applicarla a tutti i pixel

nella classificazione supervisionata la legge viene cercata su un insieme di pixel di cui si conosce sia la firma che l'etichetta: campioni di addestramento o *training sample (TS)*



Valutazione dell'accuratezza di classificazione

la valutazione dell'accuratezza viene effettuata su campioni di verifica (*testing sample*) di cui si conosce l'etichetta a priori

i pixel dei testing sample vengono classificati assegnando una etichetta a posteriori

la valutazione dell'accuratezza consiste nella determinazione della congruenza tra etichette a priori e a posteriori:
per ogni classe di etichetta nota a priori, si valuta il numero di pixel la cui etichetta a posteriori coincide con quella a priori

Valutazione dell'accuratezza di classificazione

Accuratezza valutata su campioni di verifica, che rappresentano la “verità” con cui si costruisce la matrice di confusione.

*Esempio: Matrice di confusione per la mappa LCZ
calcolata dall'immagine PRISMA del 9 FEBBRAIO 2023*

Campioni di verifica (“verità”)	Compact Mid-rise	123	23	73	0	8	0	0	0	0	0	0
	Compact Low-rise	114	785	75	92	4	0	0	0	0	0	0
	Open Mid-rise	125	37	970	23	0	0	0	0	0	0	0
	Open Low-rise	0	176	81	864	0	0	19	0	15	0	0
	Large Low-rise	0	0	0	1	1168	0	0	0	0	0	0
	Dense trees	0	0	1	7	0	912	242	0	0	0	0
	Scattered trees	2	0	8	22	6	46	1143	0	4	0	0
	Low plants	0	0	0	0	0	0	8	1212	0	0	0
	Bare rock or paved	0	0	0	0	0	0	4	1	296	1	0
	Bare soil or sand	0	0	0	0	6	0	0	1	0	1235	0
	Water	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	643
		Compact Mid-rise	Compact Low-rise	Open Mid-rise	Open Low-rise	Large Low-rise	Dense trees	Scattered trees	Low plants	Bare rock or paved	Bare soil or sand	Water

Mappa LCZ (“predizione”)

		Actual (True) Values	
		Positive	Negative
Predicted Values	Positive	TP	FP
	Negative	FN	TN

$$\text{Overall Accuracy} = \frac{\text{True Positives} + \text{True Negatives}}{\text{True Positives} + \text{True Negatives} + \text{False Positives} + \text{False Negatives}}$$

$$\text{Precision} = \frac{\text{True Positives}}{\text{True Positives} + \text{False Positives}}$$

$$\text{Recall} = \frac{\text{True Positives}}{\text{True Positives} + \text{False Negatives}}$$

$$\text{F1-score} = 2 * \frac{\text{Precision} * \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}}$$

La generazione di mappe di LCZ nell'ambito del progetto LCZ-ODC

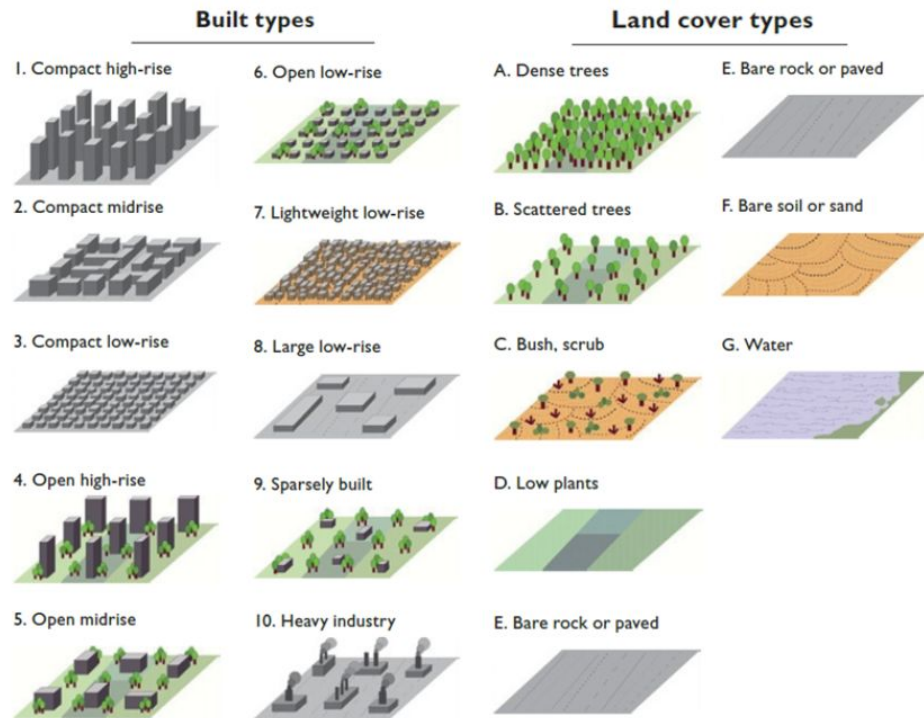
Relatore: Alberto Vavassori

Dottorando in Ingegneria Ambientale e delle Infrastrutture

Politecnico di Milano - DICA

Il sistema delle “Local Climate Zone”

- Il sistema di classificazione in “Local Climate Zone” (LCZ) costituisce un punto di riferimento per lo studio dell'isola di calore urbana e, più in generale, dei microclimi urbani.
- L’ambiente urbano è diviso in classi in base a proprietà fisiche che influenzano la temperatura dell’aria: morfologia urbana (altezza/spaziatura di edifici e alberi) e copertura del suolo (superfici permeabili e non).
- Le LCZ sono regioni con copertura e morfologia uniforme, che si estendono per centinaia di metri fino a diversi chilometri.



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

Il sistema delle “Local Climate Zone”

Le **proprietà** fisiche delle LCZ sono **misurabili e generalizzabili** a diversi contesti urbani e temporali:

1. **proprietà geometriche**: Sky View Factor, Aspect Ratio, altezza edifici, ecc.
2. **proprietà termiche**: albedo, flusso di calore antropogenico, ecc.

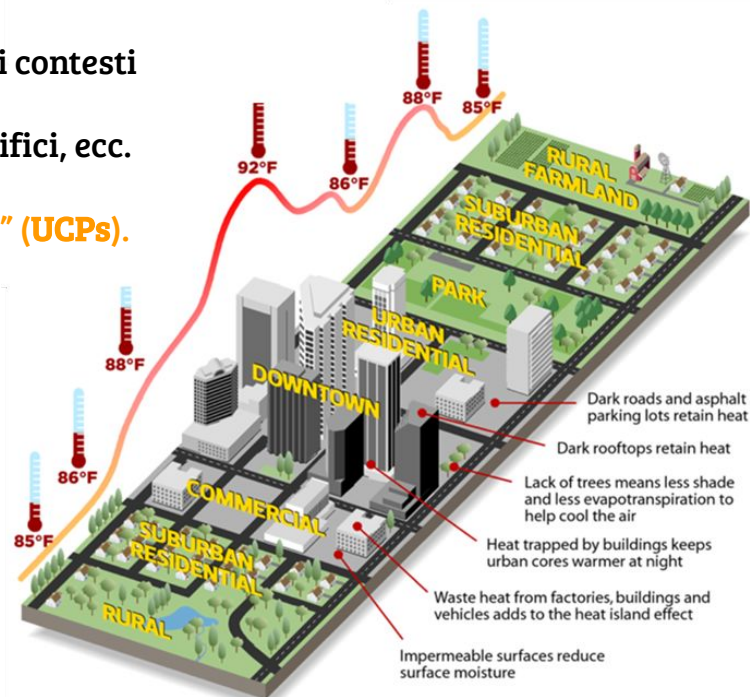
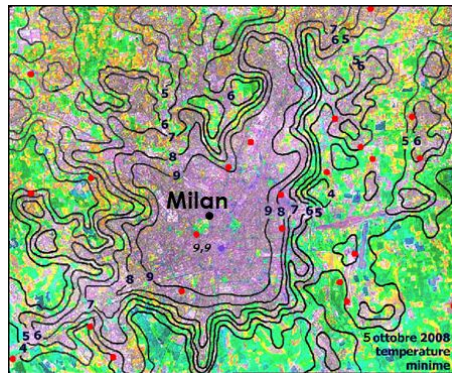
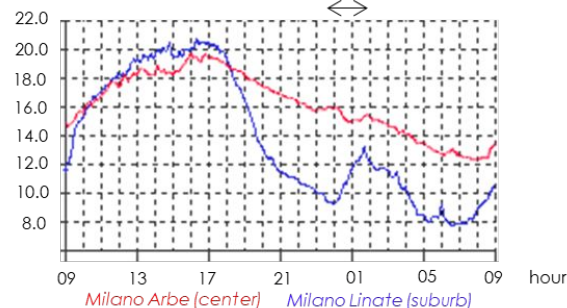
Questi parametri costituiscono i cosiddetti **“Urban Canopy Parameters” (UCPs)**.

La struttura logica del sistema LCZ è supportata da osservazioni e risultati di modellazione numerica di temperatura dell'aria

28/29 September 2008

Air temperature [°C]

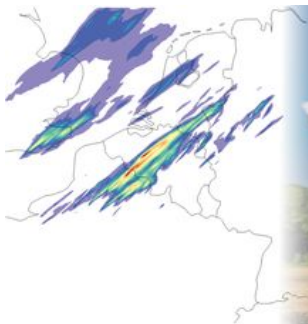
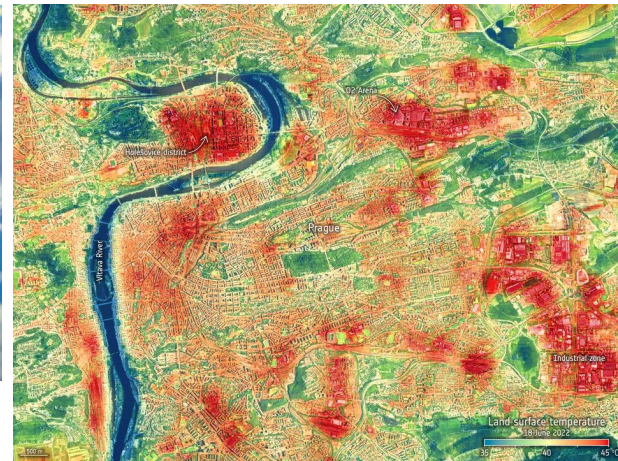
Cloudy hours
↔



SOURCE: D.S. Lemmen and F.J. Warren, Climate Change Impacts and Adaptation

Ambiti applicativi

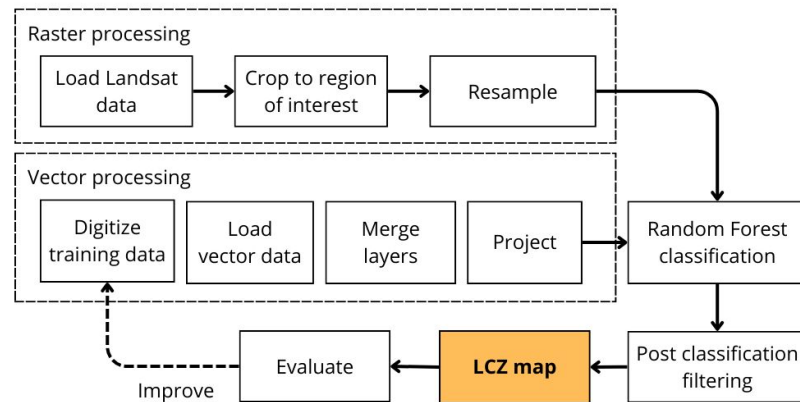
- Studio dell'isola di calore urbana
- Studio degli effetti dell'isola di calore sulla salute
- Modellazione atmosferica alla micro-scala
- **Efficientamento energetico degli edifici**
- **Pianificazione urbana**
- ...



Produzione di mappe LCZ: metodi *Remote Sensing-based*

- Si basano sulla classificazione supervisionata di immagini satellitari multispettrali (ad es. Landsat 8 e Sentinel-2).
- Il **progetto WUDAPT** è un punto di riferimento: fornisce un workflow semplice per la produzione delle mappe LCZ e anche un database di mappe LCZ per diverse città.
- **Limite:** le immagini satellitari hanno copertura globale ma non contengono dati fondamentali sulla morfologia urbana (ad es. altezza degli edifici).

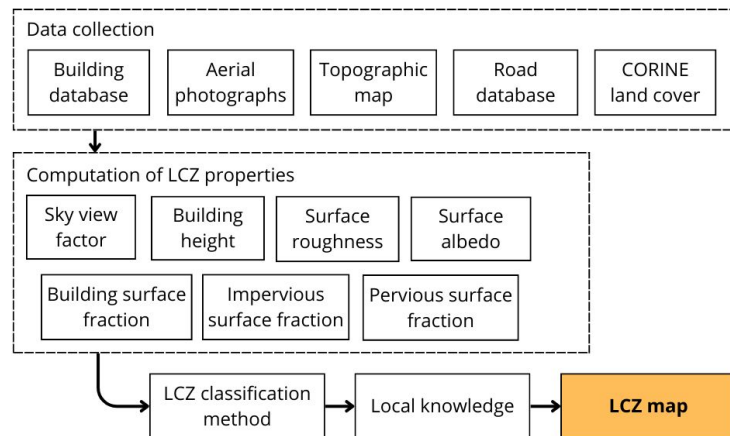
Workflow dei metodi *Remote Sensing-based*



Lehnert M. et al. (2021) Mapping Local Climate Zones and Their Applications in European Urban Environments: A Systematic Literature Review and Future Development Trends. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10, 260. doi:10.3390/ijgi10040260

- Si basano sul calcolo delle proprietà geometriche e termico-radiative delle superfici delle LCZ usando diversi dati geospaziali (es. database topografico, land cover, ecc).
- Conoscendo i range di valori di tali parametri, **classificatori *rule-based*** vengono applicati per ricavare mappe LCZ.
- **Limite**: la disponibilità di dati geospaziali (es. altezze di edifici) non è garantita in tutti i contesti urbani.

Workflow dei metodi *GIS-based*



Lehnert M. et al. (2021) Mapping Local Climate Zones and Their Applications in European Urban Environments: A Systematic Literature Review and Future Development Trends. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10, 260. doi:10.3390/ijgi10040260

→ **Esistono alcuni metodi combinati che mirano a compensare i limiti dei metodi RS e GIS-based**

Metodo implementato nell'ambito del progetto LCZ-ODC

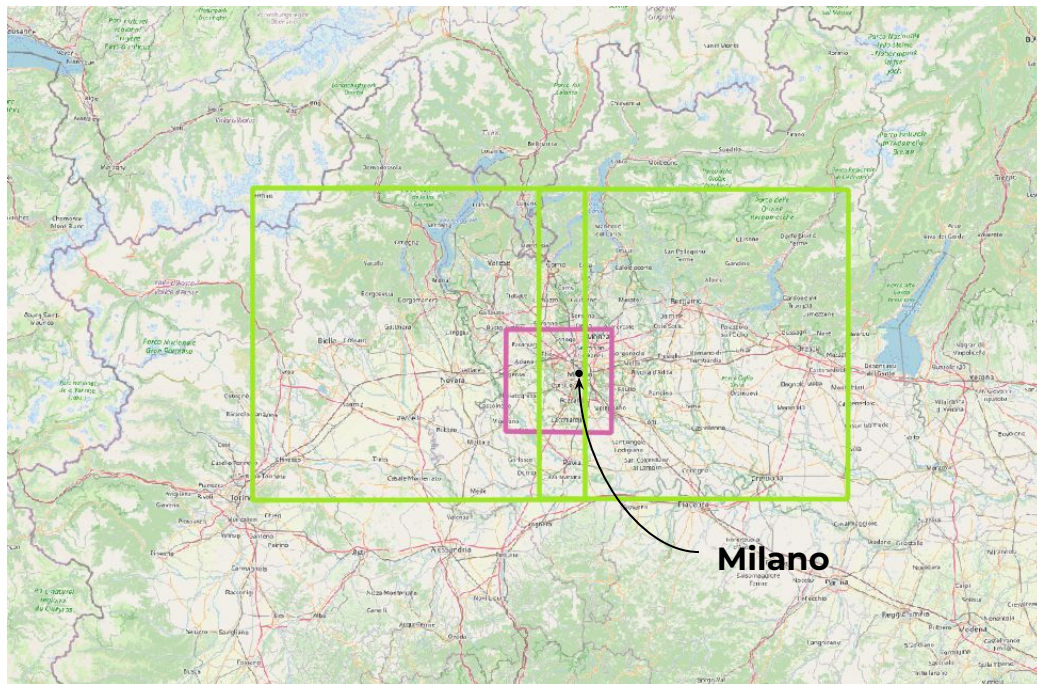
Metodo combinato RS/GIS-based che si basa sull'**integrazione** di:

- **immagini satellitari** iperspettrali della missione PRISMA e multispettrali della missione Sentinel-2
- **dati geospaziali** aperti, regionali e/o globali, usati per il calcolo degli Urban Canopy Parameters (UCPs)
- applicazione di un **algoritmo di classificazione supervisionato** (Random Forest)

Il metodo combinato *RS/GIS-based* del progetto LCZ-ODC

Sono necessarie due tile di Sentinel-2 per coprire l'area di studio

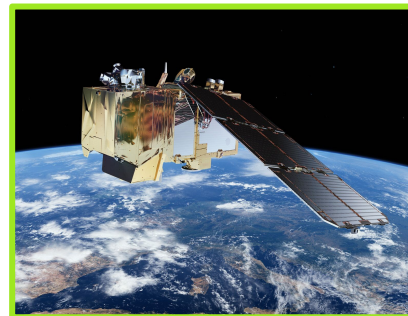
Le immagini PRISMA vengono invece acquisite ad hoc, oppure sono state prese dal catalogo quelle che coprono la zona di Milano



PRISMA



Sentinel-2



Il metodo combinato *RS/GIS-based* del progetto LCZ-ODC

Immagini satellitari PRISMA e Sentinel-2 utilizzate per:

- collezione dei campioni di addestramento/verifica
- classificazione e produzione di mappe LCZ

PRISMA (una <i>tile</i>)		Sentinel-2 (due <i>tile</i> , T32TMR-T32TNR)	
9 FEBBRAIO 2023		10 FEBBRAIO 2023	
22 MARZO 2023		22 MARZO 2023	
8 APRILE 2023		26 APRILE 2023	
17 GIUGNO 2023		25 GIUGNO 2023	
10 LUGLIO 2023		10 LUGLIO 2023	
8 AGOSTO 2023		19 AGOSTO 2023	

6 mappe LCZ prodotte da PRISMA (risoluzione 30m) e 6 mappe LCZ da Sentinel-2 (risoluzione 20m)

Il metodo combinato *RS/GIS-based* del progetto LCZ-ODC

Dati geospaziali utilizzati per:

- generazione degli UCPs (e, di conseguenza, per la classificazione)
- collezione dei campioni di addestramento/verifica

Dato	Fonte	Scala/risoluzione	UCPs calcolati dal dato
Database geotopografico (layer dell'edificato)	Geoportale Regione Lombardia	1:2.000	Building Heights, Building Surface Fraction, Sky View Factor
Copernicus Imperviousness Density	Copernicus Land Monitoring Service	10m	Impervious Surface Fraction
ETH Global Sentinel-2 Canopy Height	Google Earth Engine Catalog	10m	Tree Canopy Height
ALOS DSM: Global v3.2	Google Earth Engine Catalog	30m	Sky View Factor

A parte il dato sull'edificato (locale), gli altri dati sono a copertura Europea o globale → **riproducibilità del calcolo**

Per il dato sull'edificato, è possibile utilizzare alternativamente l' "Urban Atlas" di Copernicus disponibile per l'Europa

Il metodo combinato *RS/GIS-based* del progetto LCZ-ODC

1. Pre-processamento
delle immagini
satellitari



2. Calcolo degli UCPs
in ambiente GIS



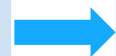
3. Collezione dei
campioni di
addestramento e di
verifica



4. Classificazione
tramite algoritmo di
machine learning
(Random Forest)



5. Post-processamento
dell'immagine
classificata



6. Valutazione
dell'accuratezza di
classificazione

Il metodo combinato *RS/GIS-based* del progetto LCZ-ODC

1. Pre-processamento
delle immagini
satellitari

2. Calcolo degli UCPs
in ambiente GIS

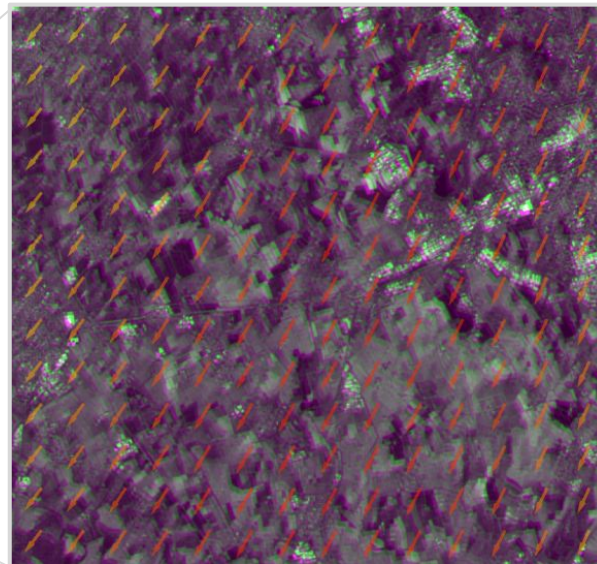
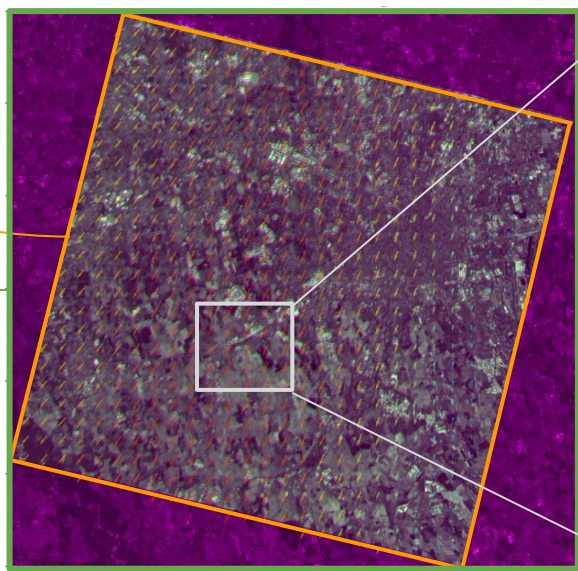
3. Collezione dei campioni
di addestramento e di
verifica



Coregistrazione (ovvero, "allineamento") delle immagini PRISMA con le immagini Sentinel-2

"Impronta"
dell'immagine PRISMA

"Impronta"
dell'immagine Sentinel-2



Le frecce indicano lo
spostamento dei pixel
dell'immagine PRISMA
per farli coincidere con
quelli dell'immagine
Sentinel-2

5. Classificazione tramite
algoritmo di *machine
learning* (Random Forest)

6. Post-processamento
dell'immagine
classificata

7. Valutazione
dell'accuratezza di
classificazione

PC

Il metodo combinato *RS/GIS-based* del progetto LCZ-ODC

1. Pre-processamento
delle immagini
satellitari

2. Calcolo degli UCPs
in ambiente GIS

3. Collezione dei campioni
di addestramento e di
verifica



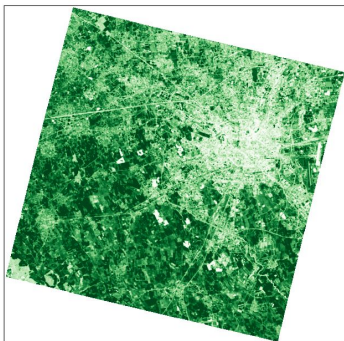
Analisi delle Componenti Principali (PCA) delle immagini PRISMA → procedura matematica che permette di ridurre la dimensione del dato PRISMA mantenendo l'informazione iniziale

- Ogni PC è una combinazione lineare delle bande satellitari iniziali (quindi, si perde il significato fisico di riflettanza)
- Le prime PC spiegano quasi totalmente la variabilità presente nelle 239 bande iniziali (vedi figure)

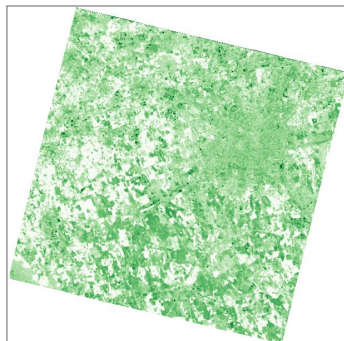
Variazioni spiegate [0-1]

Componenti Principali

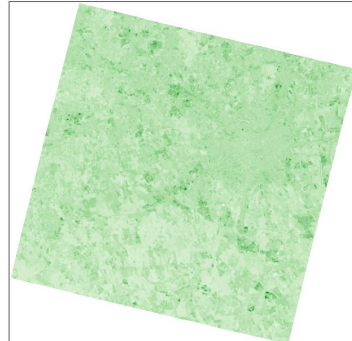
Componente Principale 1



Componente Principale 2



Componente Principale 3



5. Classificazione tramite
algoritmo di *machine
learning* (Random Forest)

6. Post-processamento
dell'immagine
classificata

7. Valutazione
dell'accuratezza di
classificazione

Il metodo combinato *RS/GIS-based* del progetto LCZ-ODC

QGIS

1. Pre-processamento
delle immagini
satellitari

2. Calcolo degli UCPs
in ambiente GIS

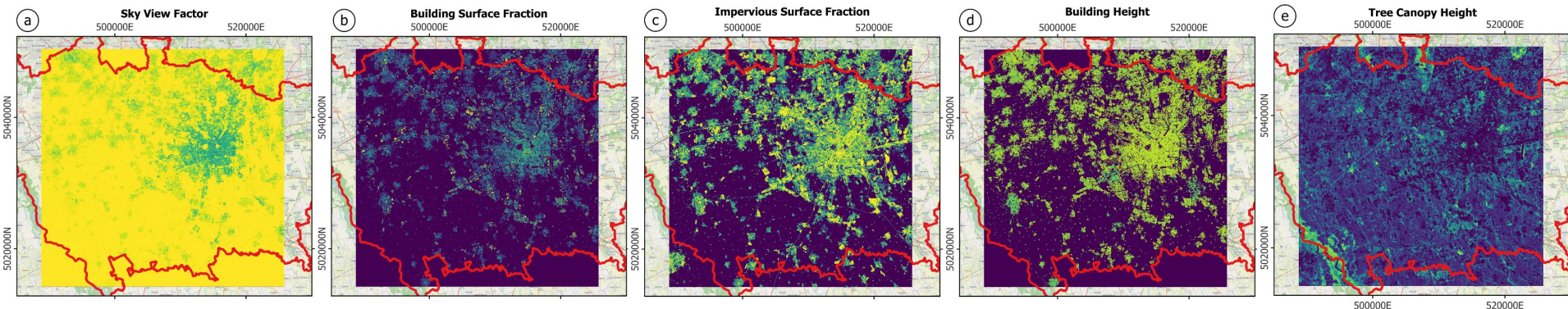
3. Collezione dei campioni
di addestramento e di
verifica

UCPs calcolati in ambiente GIS:

- Sky View Factor
- Building Surface Fraction
- Impervious Surface Fraction
- Building Height
- Tree Canopy Height

Riscalati al range [0-1] in modo che
siano confrontabili con i valori di
riflettanza delle immagini satellitari

Aggiunti alle PCs delle immagini
PRISMA / alle bande di Sentinel-2,
andando a costituire il “feature set”
da dare in input al classificatore



5. Classificazione tramite
algoritmo di *machine
learning* (Random Forest)

6. Post-processamento
dell'immagine
classificata

7. Valutazione
dell'accuratezza di
classificazione

Il metodo combinato *RS/GIS-based* del progetto LCZ-ODC

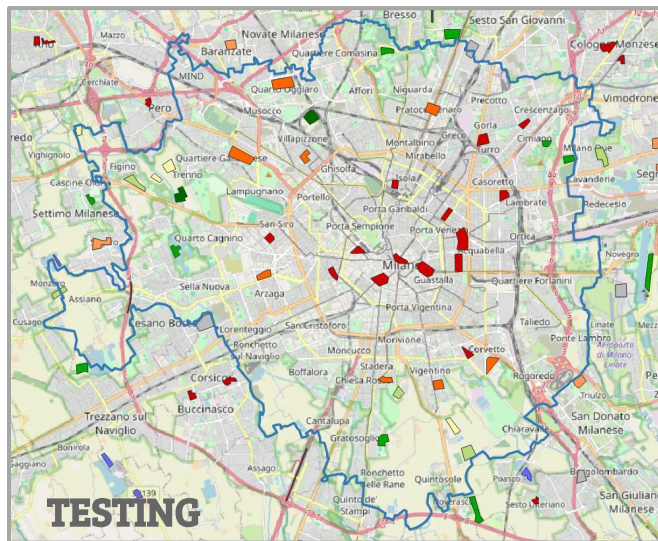
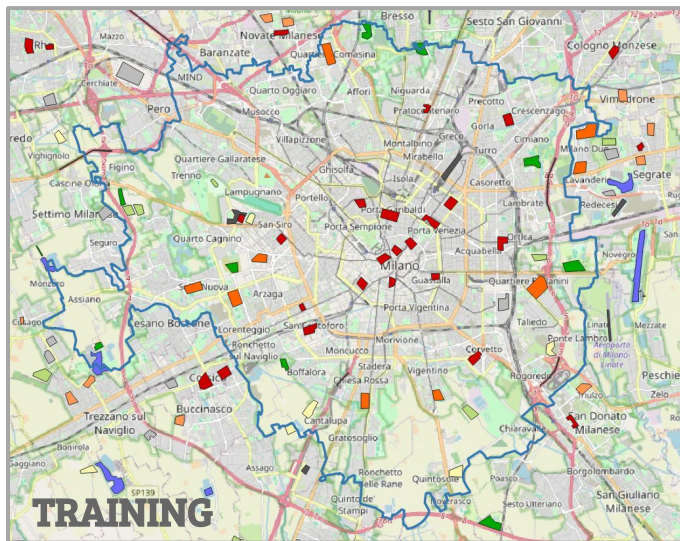
1. Pre-processamento
delle immagini
satellitari

2. Calcolo degli UCPs
in ambiente GIS

3. Collezione dei campioni
di addestramento e di
verifica

I campioni di addestramento e di verifica sono raccolti tramite fotointerpretazione dell'immagine satellitare RGB e degli UCP (principalmente il Building Height layer), in modo che siano omogeneamente distribuiti nell'area di interesse e tra le classi

Esempio di campioni di addestramento e verifica raccolti sull'immagine PRISMA del 9 FEBBRAIO 2023 (focus Città di Milano)



- 2 - Compact midrise
- 3 - Compact low-rise
- 5 - Open midrise
- 6 - Open low-rise
- 8 - Large low-rise
- 101 - Dense trees
- 102 - Scattered trees
- 104 - Low plants
- 105 - Bare rock or paved
- 106 - Bare soil or sand
- 107 - Water

python™

QGIS

5. Classificazione tramite
algoritmo di *machine
learning* (Random Forest)

6. Post-processamento
dell'immagine
classificata

7. Valutazione
dell'accuratezza di
classificazione

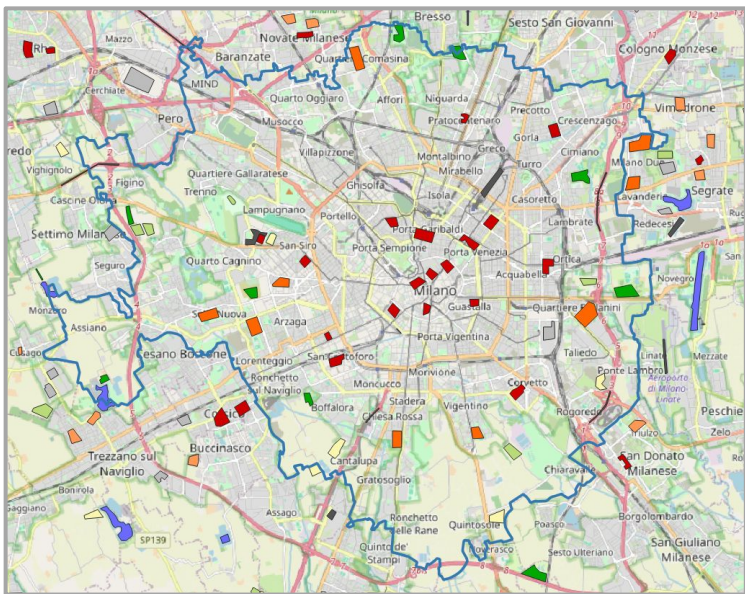
Il metodo combinato *RS/GIS-based* del progetto LCZ-ODC

1. Pre-processamento
delle immagini
satellitari

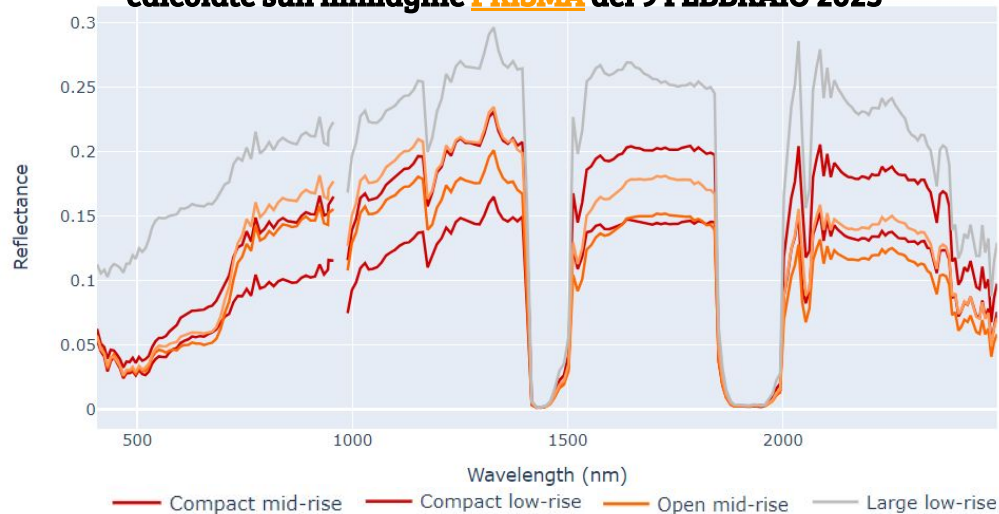
2. Calcolo degli UCPs
in ambiente GIS

3. Collezione dei campioni
di addestramento e di
verifica

Esempi di firme spettrali di campioni di addestramento, calcolate sulle immagini PRISMA e Sentinel-2



Firme spettrali medie dei campioni di addestramento: classi “built-up”
calcolate sull’immagine **PRISMA** del 9 FEBBRAIO 2023



5. Classificazione tramite
algoritmo di *machine
learning* (Random Forest)

6. Post-processamento
dell’immagine
classificata

7. Valutazione
dell’accuratezza di
classificazione

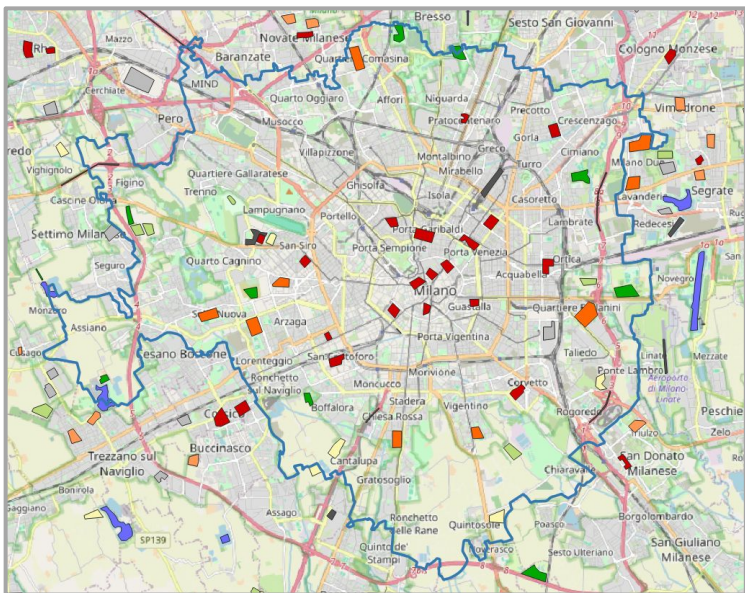
Il metodo combinato *RS/GIS-based* del progetto LCZ-ODC

1. Pre-processamento
delle immagini
satellitari

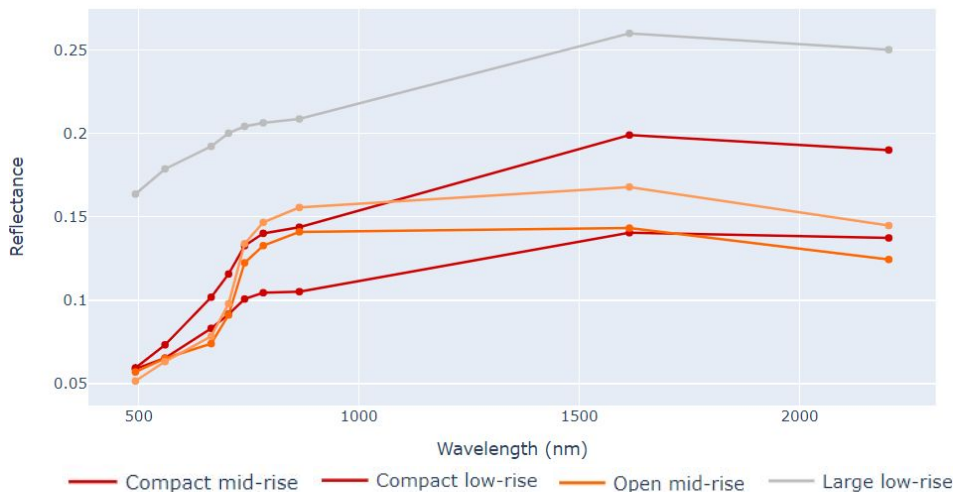
2. Calcolo degli UCPs
in ambiente GIS

3. Collezione dei campioni
di addestramento e di
verifica

Esempi di firme spettrali di campioni di addestramento, calcolate sulle immagini PRISMA e Sentinel-2



Firme spettrali medie dei campioni di addestramento: classi “built-up”
calcolate sull'immagine **Sentinel-2** del 9 FEBBRAIO 2023



5. Classificazione tramite
algoritmo di *machine
learning* (Random Forest)

6. Post-processamento
dell'immagine
classificata

7. Valutazione
dell'accuratezza di
classificazione

Il metodo combinato *RS/GIS-based* del progetto LCZ-ODC

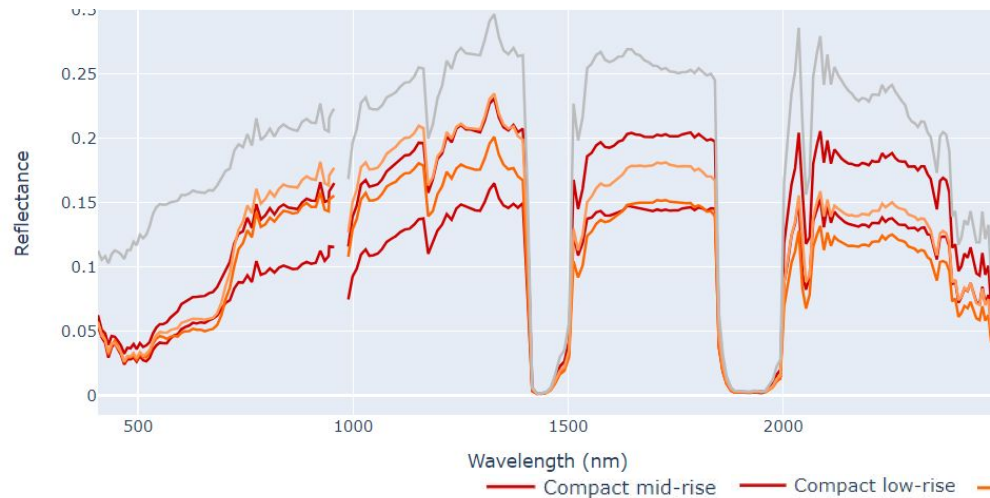
1. Pre-processamento
delle immagini
satellitari

2. Calcolo degli UCPs
in ambiente GIS

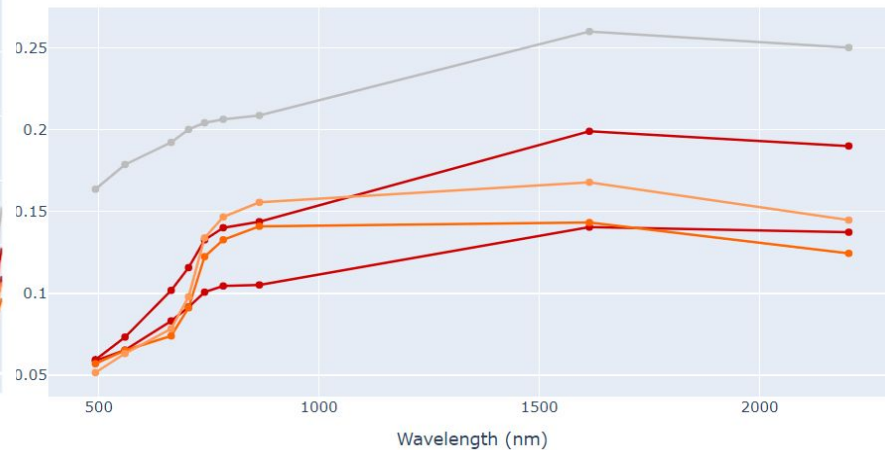
3. Collezione dei campioni
di addestramento e di
verifica

Firme spettrali medie dei campioni di addestramento: classi “built-up”

calcolate sull'immagine **PRISMA** del 9 FEBBRAIO 2023



calcolate sull'immagine **Sentinel-2** del 10 FEBBRAIO 2023



5. Classificazione tramite
algoritmo di *machine
learning* (Random Forest)

6. Post-processamento
dell'immagine
classificata

7. Valutazione
dell'accuratezza di
classificazione

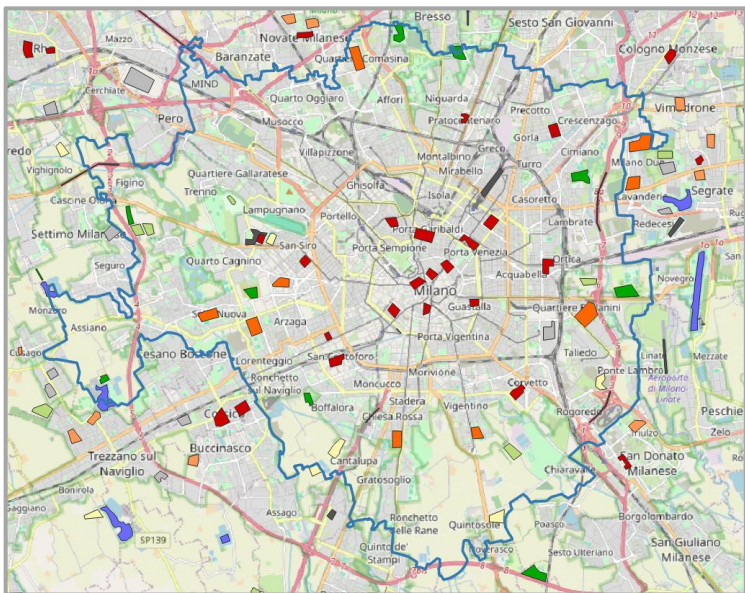
Il metodo combinato *RS/GIS-based* del progetto LCZ-ODC

1. Pre-processamento
delle immagini
satellitari

2. Calcolo degli UCPs
in ambiente GIS

3. Collezione dei campioni
di addestramento e di
verifica

Esempi di firme spettrali di campioni di addestramento, calcolate sulle immagini PRISMA e Sentinel-2



Firme spettrali medie dei campioni di addestramento: classi "land cover"
calcolate sull'immagine **PRISMA** del 9 FEBBRAIO 2023



5. Classificazione tramite
algoritmo di *machine
learning* (Random Forest)

6. Post-processamento
dell'immagine
classificata

7. Valutazione
dell'accuratezza di
classificazione

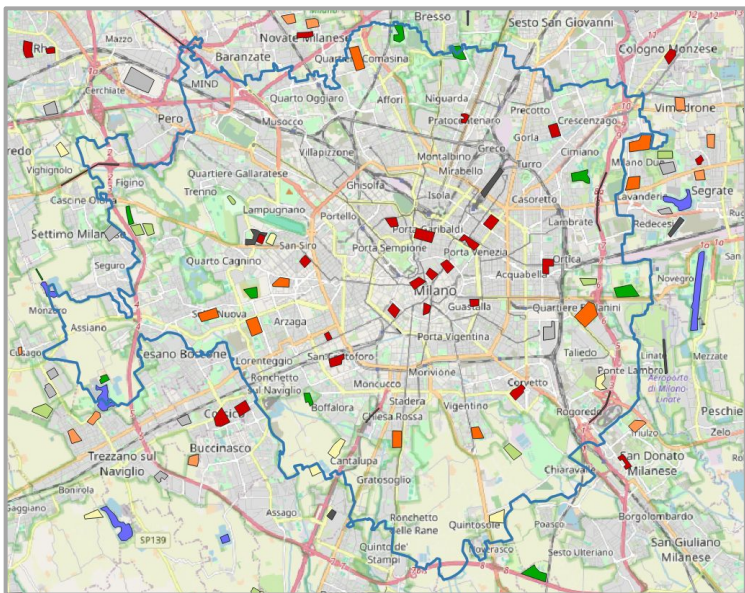
Il metodo combinato *RS/GIS-based* del progetto LCZ-ODC

1. Pre-processamento
delle immagini
satellitari

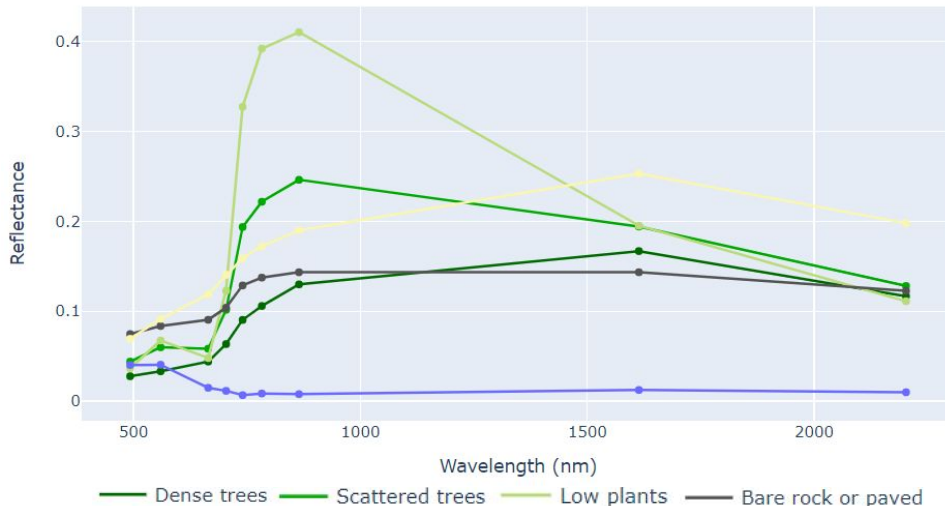
2. Calcolo degli UCPs
in ambiente GIS

3. Collezione dei campioni
di addestramento e di
verifica

Esempi di firme spettrali di campioni di addestramento, calcolate sulle immagini PRISMA e Sentinel-2



Firme spettrali medie dei campioni di addestramento: classi "land cover"
calcolate sull'immagine **Sentinel-2** del 10 FEBBRAIO 2023



5. Classificazione tramite
algoritmo di *machine
learning* (Random Forest)

6. Post-processamento
dell'immagine
classificata

7. Valutazione
dell'accuratezza di
classificazione

Il metodo combinato *RS/GIS-based* del progetto LCZ-ODC

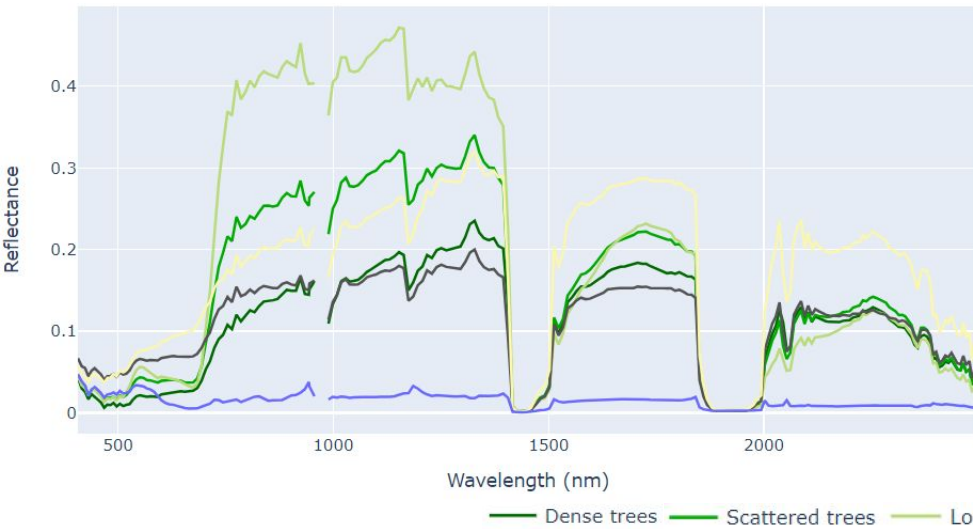
1. Pre-processamento
delle immagini
satellitari

2. Calcolo degli UCPs
in ambiente GIS

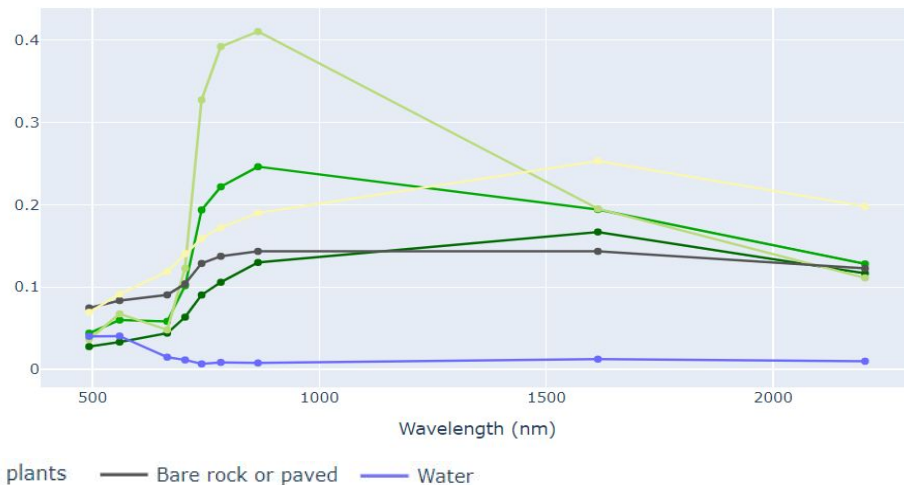
3. Collezione dei campioni
di addestramento e di
verifica

Firme spettrali medie dei campioni di addestramento: classi "land cover"

calcolate sull'immagine **PRISMA** del 9 FEBBRAIO 2023



calcolate sull'immagine **Sentinel-2** del 10 FEBBRAIO 2023



5. Classificazione tramite
algoritmo di *machine
learning* (Random Forest)

6. Post-processamento
dell'immagine
classificata

7. Valutazione
dell'accuratezza di
classificazione

Il metodo combinato *RS/GIS-based* del progetto LCZ-ODC

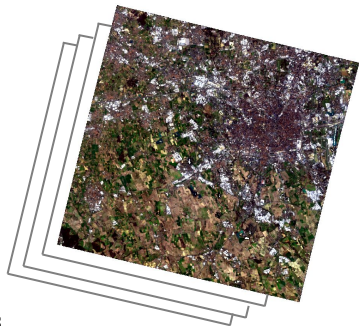
1. Pre-processamento
delle immagini
satellitari

2. Calcolo degli UCPs
in ambiente GIS

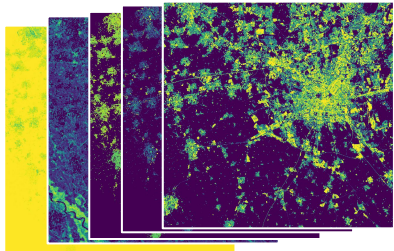
3. Collezione dei campioni
di addestramento e di
verifica

Feature set di input

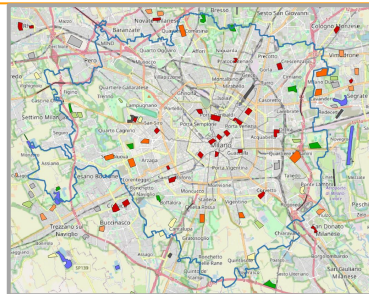
Bande satellitari / PCs



UCPs



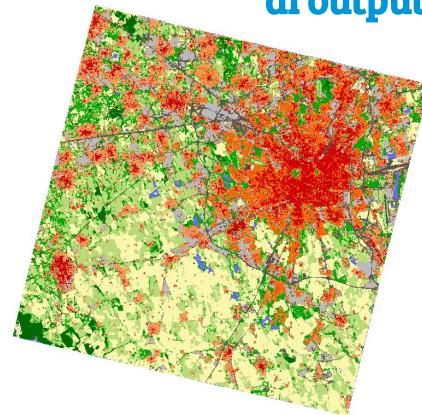
Campioni di addestramento



Classificatore
Random Forest



Immagine classificata di output



5. Classificazione tramite
algoritmo di *machine
learning* (Random Forest)

6. Post-processamento
dell'immagine
classificata

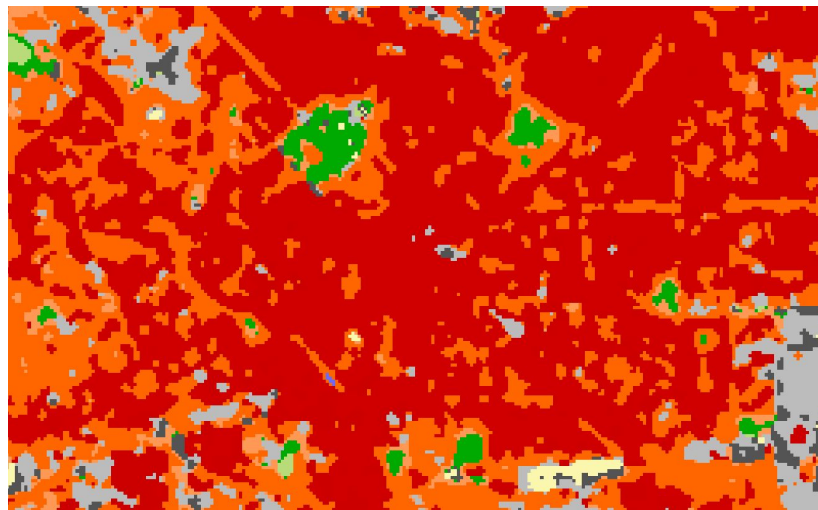
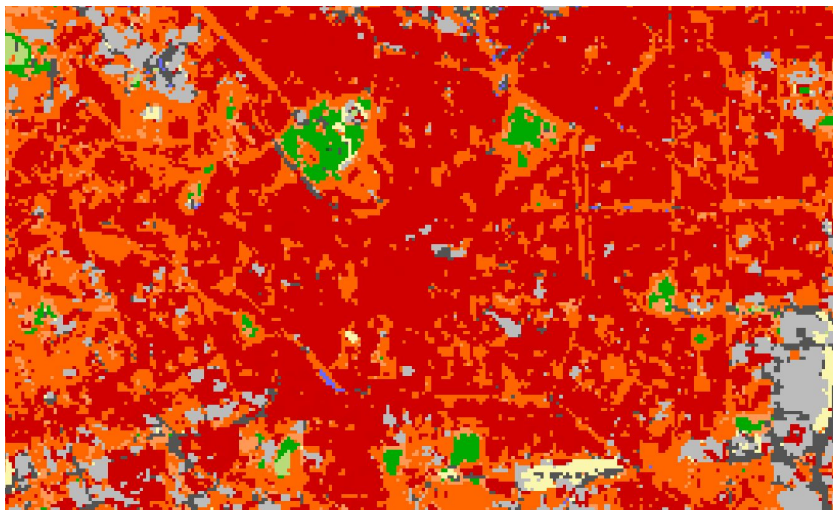
7. Valutazione
dell'accuratezza di
classificazione

Il metodo combinato *RS/GIS-based* del progetto LCZ-ODC



Applicazione di un filtro a mediana mobile: pixel isolati appartenenti a una classe LCZ vengono aggregati alle classi LCZ adiacenti

Focus Milano centro



Il metodo combinato *RS/GIS-based* del progetto LCZ-ODC

1. Pre-processamento
delle immagini
delle immagini satellitari

↓PRISMA ↓Sentinel-2

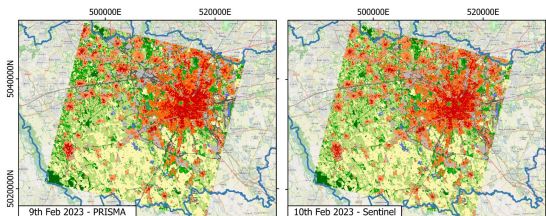
2. Calcolo degli UCPs
in ambiente GIS

↓PRISMA

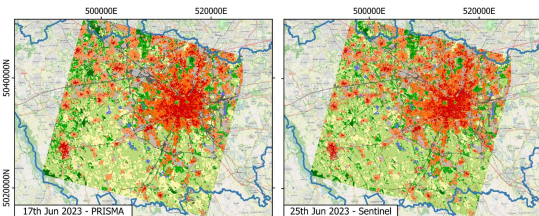
3. Collezione dei campioni
di addestramento e di
verifica

↓Sentinel-2

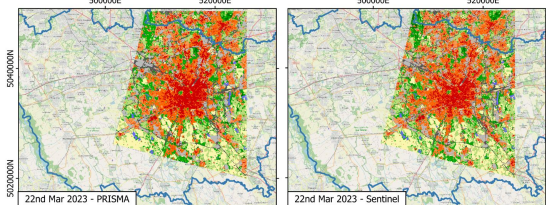
Febbraio



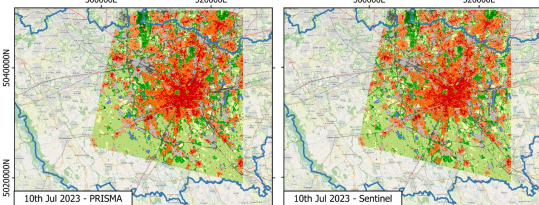
Giugno



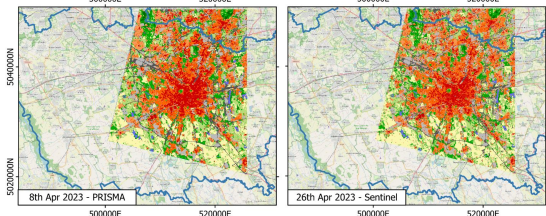
Marzo



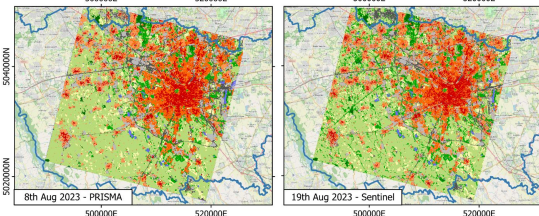
Luglio



Aprile



Agosto



Complessivamente:
6 mappe ottenute da **PRISMA**
(risoluzione **30 m**)
6 mappe ottenute da **Sentinel-2**
(risoluzione **20 m**)

Cadenza mensile (eccetto
maggio) da Febbraio ad Agosto
2023

Local Climate Zone
built-up classes

- 2 - Compact midrise
- 3 - Compact low-rise
- 5 - Open midrise
- 6 - Open low-rise
- 8 - Large low-rise

land cover classes

- 101 - Dense trees
- 102 - Scattered trees
- 104 - Low Plants
- 105 - Bare rock or paved
- 106 - Bare Soil or sand
- 107 - Water

Metropolitan City of Milan

5. Classificazione tramite
algoritmo di *machine
learning* (Random Forest)

6. Post-processamento
dell'immagine
classificata

7. Valutazione
dell'accuratezza di
classificazione

Il metodo combinato *RS/GIS-based* del progetto LCZ-ODC

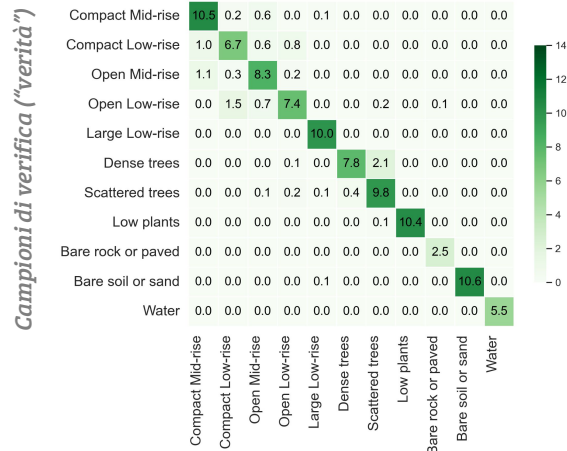
1. Pre-processamento
delle immagini
satellitari

2. Calcolo degli UCPs
in ambiente GIS

3. Collezione dei campioni
di addestramento e di
verifica

Accuratezza valutata su campioni di verifica, che rappresentano la “verità” con cui si costruisce la matrice di confusione.

Matrice di confusione per la mappa LCZ calcolata
dall'immagine PRISMA del 9 FEBBRAIO 2023



LCZ	Precision	Recall	F1	Support
Compact mid-rise	0.84	0.92	0.88	1333
Compact low-rise	0.77	0.73	0.75	1070
Open mid-rise	0.80	0.84	0.82	1155
Open low-rise	0.86	0.75	0.80	1155
Large low-rise	0.98	1.0	0.99	1170
Dense trees	0.95	0.78	0.86	1162
Scattered trees	0.81	0.93	0.86	1237
Low plants	1.0	0.99	1.0	1220
Bare rock or paved	0.94	0.98	0.96	302
Bare soil or sand	1.0	0.99	1.0	1240
Water	1.0	1.0	1.0	643
Overall Accuracy	0.895			

5. Classificazione tramite
algoritmo di *machine
learning* (Random Forest)

6. Post-processamento
dell'immagine
classificata

7. Valutazione
dell'accuratezza di
classificazione

Il metodo combinato *RS/GIS-based* del progetto LCZ-ODC

1. Pre-processamento
delle immagini
satellitari

2. Calcolo degli UCPs
in ambiente GIS

3. Collezione dei campioni
di addestramento e di
verifica

Sintesi dei valori di *Overall Accuracy* [%] ottenuti per le mappe prodotte a partire da PRISMA e Sentinel-2

Data	Febbraio	Marzo	Aprile	Giugno	Luglio	Agosto
PRISMA	89.5	85.2	84.7	88.1	86.0	86.8
Sentinel-2	85.9	83.2	81.4	81.4	82.8	82.0

Nota: a parità di campioni di verifica, l'accuratezza globale delle mappe calcolate da PRISMA è maggiore di quella delle mappe calcolate da Sentinel-2

5. Classificazione tramite
algoritmo di *machine
learning* (Random Forest)

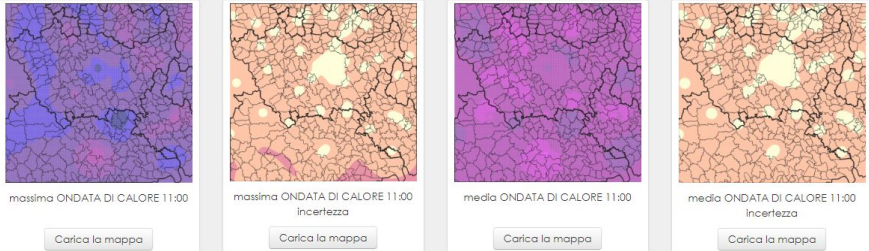
6. Post-processamento
dell'immagine
classificata

7. Valutazione
dell'accuratezza di
classificazione

Dati di temperatura usati nel progetto LCZ-ODC

Dati di temperatura dell'aria usati per:

- studiare la correlazione con LCZ
- validare le mappe LCZ

Fonte	Tipo di dato	Accessibilità
ARPA LOMBARDIA  Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente	Osservazioni orarie rilevate dalle centraline  	Sito web ARPA Lombardia (https://www.arpalombardia.it/temi-ambientali/meteo-e-clima/form-richiesta-dati/) / API / <u>Plugin di QGIS sviluppato nel progetto LCZ-ODC</u>
PROGETTO CLIMAMI (Osservatorio Meteorologico Milano Duomo) ATLANTE, CATALOGO & DATABASE CLIMAMI 	<u>Mappe aggregate Livello 1: medie ed estremi stagionali</u> 	Atlante del progetto CLIMAMI (https://www.progettoclima.mi.it/atlante)

1. Collezione di Jupyter notebook per la generazione di mappe

LCZ secondo il workflow del progetto LCZ-ODC



(solo per utenti esperti) [Funzionalità: pre-processamento immagini satellitari, analisi e plot delle firme spettrali, classificazione, post-processamento, valutazione dell'accuratezza di classificazione]

3. Plugin di QGIS

Strumento di interazione con i dati meteorologici delle centraline di ARPA Lombardia

[Funzionalità: filtraggio dati per provincia, sensore, intervallo temporale; calcolo statistiche e rimozione outlier; download serie temporali; visualizzazione dei dati georiferiti su QGIS]

2. Software per la consultazione delle mappe LCZ prodotte

nel progetto LCZ-ODC



- *Open Data Cube* (software di gestione delle immagini satellitari pre-processate e delle mappe)
- Due Jupyter notebook:
 - Notebook 1: selezione e visualizzazione immagini satellitari *analysis-ready*; calcolo firme spettrali dei campioni di addestramento; visualizzazione mappe LCZ generate, validate e indicizzate nell'ODC
 - Notebook 2: selezione e visualizzazione delle mappe di temperatura del progetto CLIMAMI indicizzate nell'ODC; calcolo di statistiche zonali di temperatura sulle classi LCZ

Demo funzionalità di visualizzazione, interazione, e analisi dei dati nell'ODC

Relatore: Rodrigo Cedeno

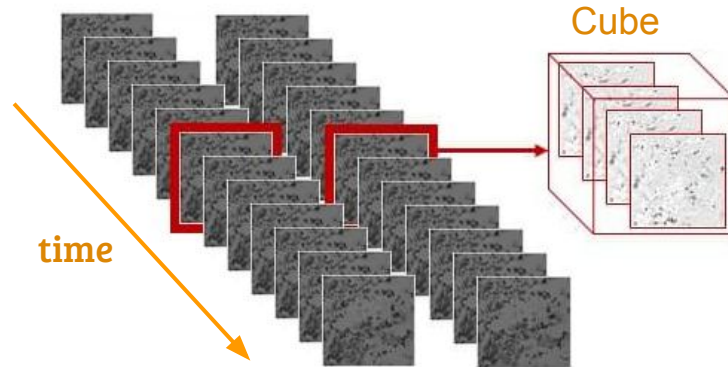
Dottorando in Ingegneria Ambientale e delle Infrastrutture

Politecnico di Milano - DICA

Cos'è un Data Cube?

È un strumento software che permette di raggruppare, indicizzare e pubblicare grandi moli di dati multidimensionali (X, Y e tempo)

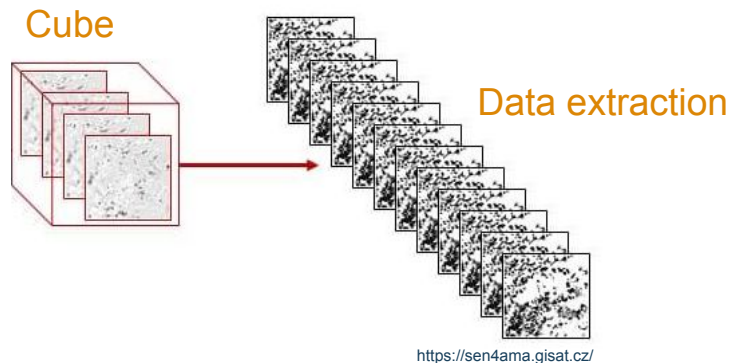
Multiple layers



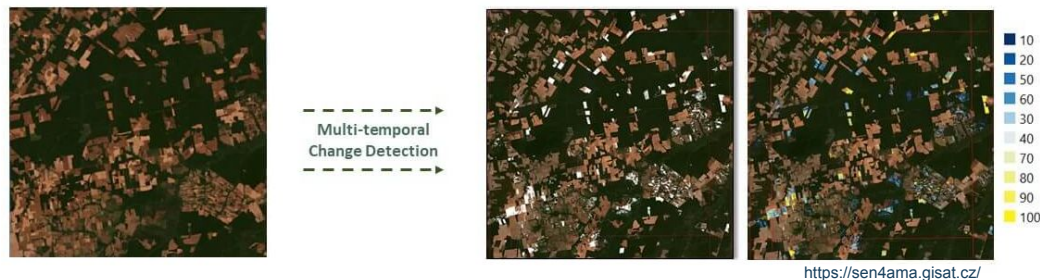
<https://sen4ama.gisat.cz/>

Open Data Cube è una struttura dati che consente di organizzare i dati geospaziali per poterli elaborare in modo sistematico

- Estrazione/interrogazione dei dati semplificata



- Dati pronti per l'analisi: non è necessaria alcuna pre-elaborazione sui dati presenti nell'ODC
- Analisi dei dati multitemporale semplificata



I dataset nell' Open Data Cube (ODC) sono accessibili e interrogabili utilizzando script Python interattivi

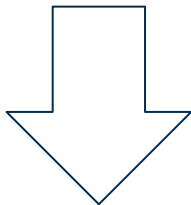
Lo strumento di interfaccia utilizzato è Jupyter Notebooks



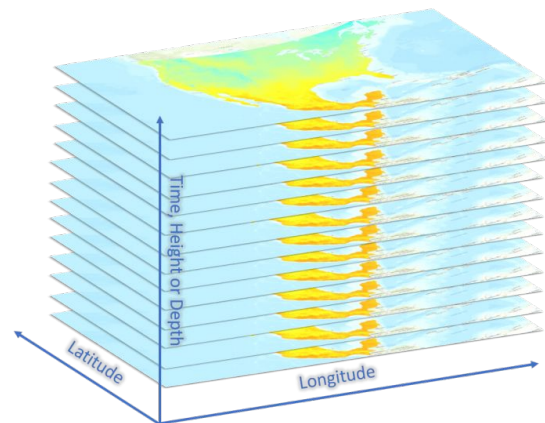
Vengono forniti notebook che contengono codice pronto all'uso. Ciò consente agli utenti di esplorare facilmente le immagini satellitari e i dati presenti nell'Open Data Cube, semplificando il processo di visualizzazione e analisi dei dati

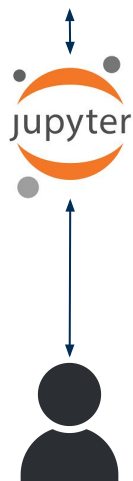
Principali dataset disponibili nell'applicativo sono:

- **immagini PRISMA**
- **immagini Sentinel-2**
- **immagini classificate LCZ (da PRISMA e Sentinel-2)**
- **mappe di temperatura (CLIMAMI)**



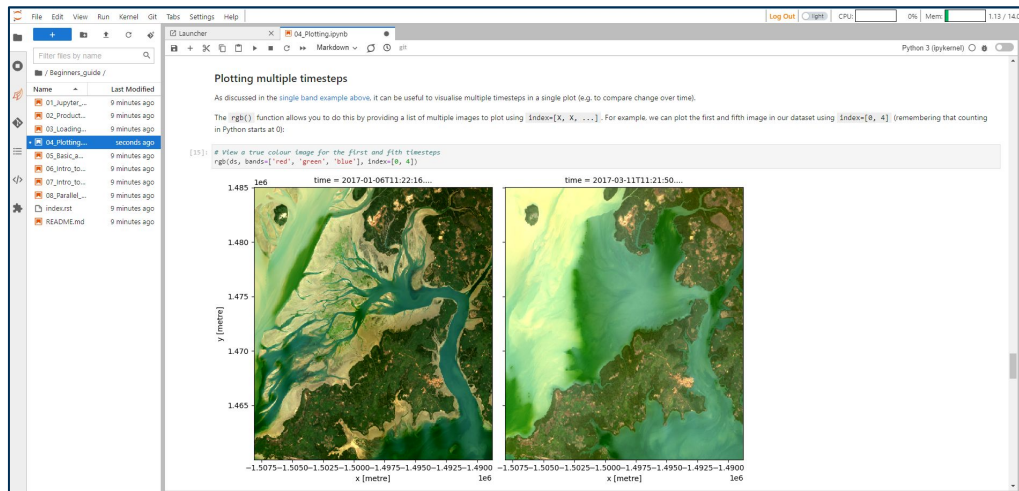
Questi set di dati sono dati pronti per l'analisi → possono essere utilizzati direttamente per elaborazioni successive senza necessità di pre-processamento





Jupyter Notebook fornisce un'interfaccia intuitiva per interagire con Open Data Cube.

Jupyter Notebook è uno strumento gratuito e open source che consente agli utenti di visualizzare e interagire con gli output generati dall'esecuzione di codice di calcolo senza necessariamente dover implementare tale codice



Login ->



The Jupyter login interface shows a header with the Jupyter logo. Below it, there is a label "Password or token:" followed by a text input field and a "Log in" button. A red rectangle highlights the input field and the button.

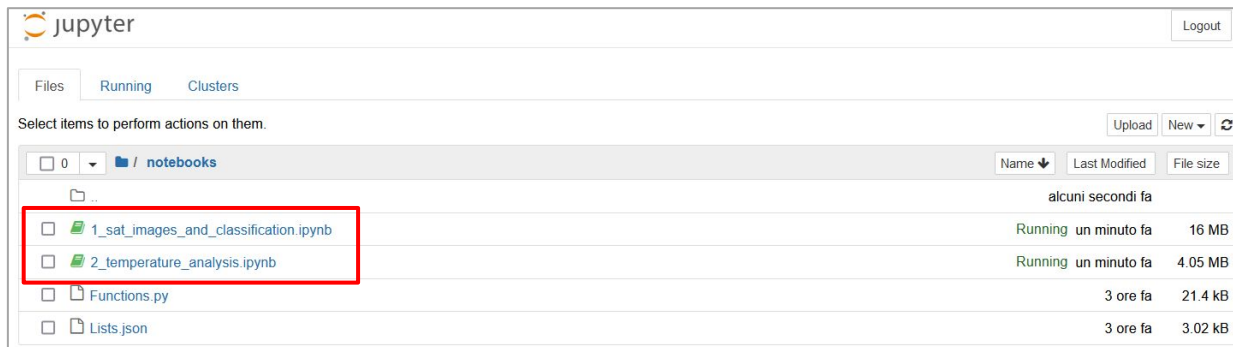
Accesso/gestione file ->



The Jupyter file management interface shows a header with the Jupyter logo and a "Logout" button. Below the header, there are tabs for "Files", "Running", and "Clusters". A section "Select items to perform actions on them." contains a table of files. The table has columns for "Name", "Last Modified", and "File size". A red rectangle highlights the "notebooks" folder in the table.

	Name	Last Modified	File size
☐	/		
☐	datacube_conf	2 giorni fa	
☐	notebooks	10 minuti fa	

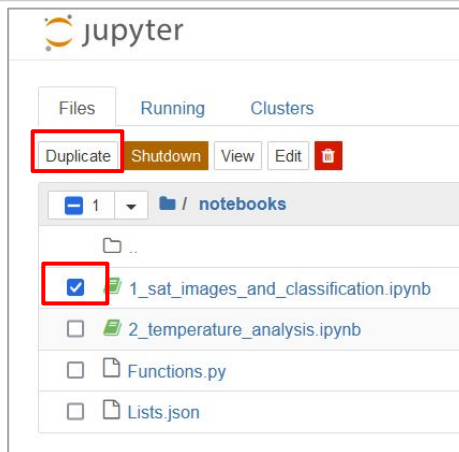
Accesso ai notebooks ->



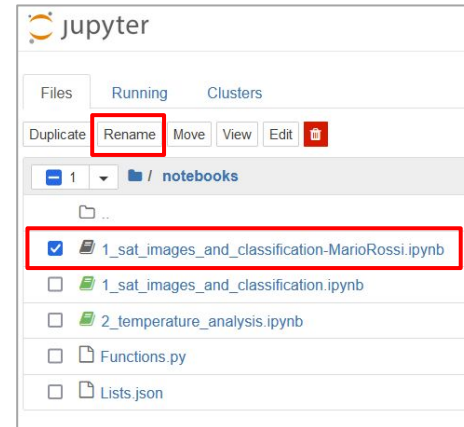
The Jupyter notebooks interface shows a header with the Jupyter logo and a "Logout" button. Below the header, there are tabs for "Files", "Running", and "Clusters". A section "Select items to perform actions on them." contains a table of notebooks. The table has columns for "Name", "Last Modified", and "File size". A red rectangle highlights the "1_sat_images_and_classification.ipynb" and "2_temperature_analysis.ipynb" notebooks in the table.

	Name	Last Modified	File size
☐	/ notebooks		
☐	1_sat_images_and_classification.ipynb	Running un minuto fa	16 MB
☐	2_temperature_analysis.ipynb	Running un minuto fa	4.05 MB
☐	Functions.py	3 ore fa	21.4 kB
☐	Lists.json	3 ore fa	3.02 kB

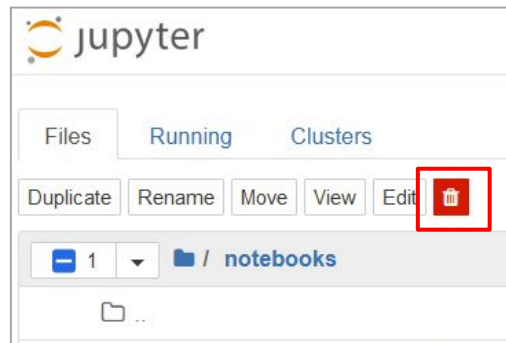
Per testare un notebook, crea una copia personale usando il tasto **Duplicate** ->



Rinomina la tua copia usando il tasto **Rename** e lancia il notebook tramite doppio click ->

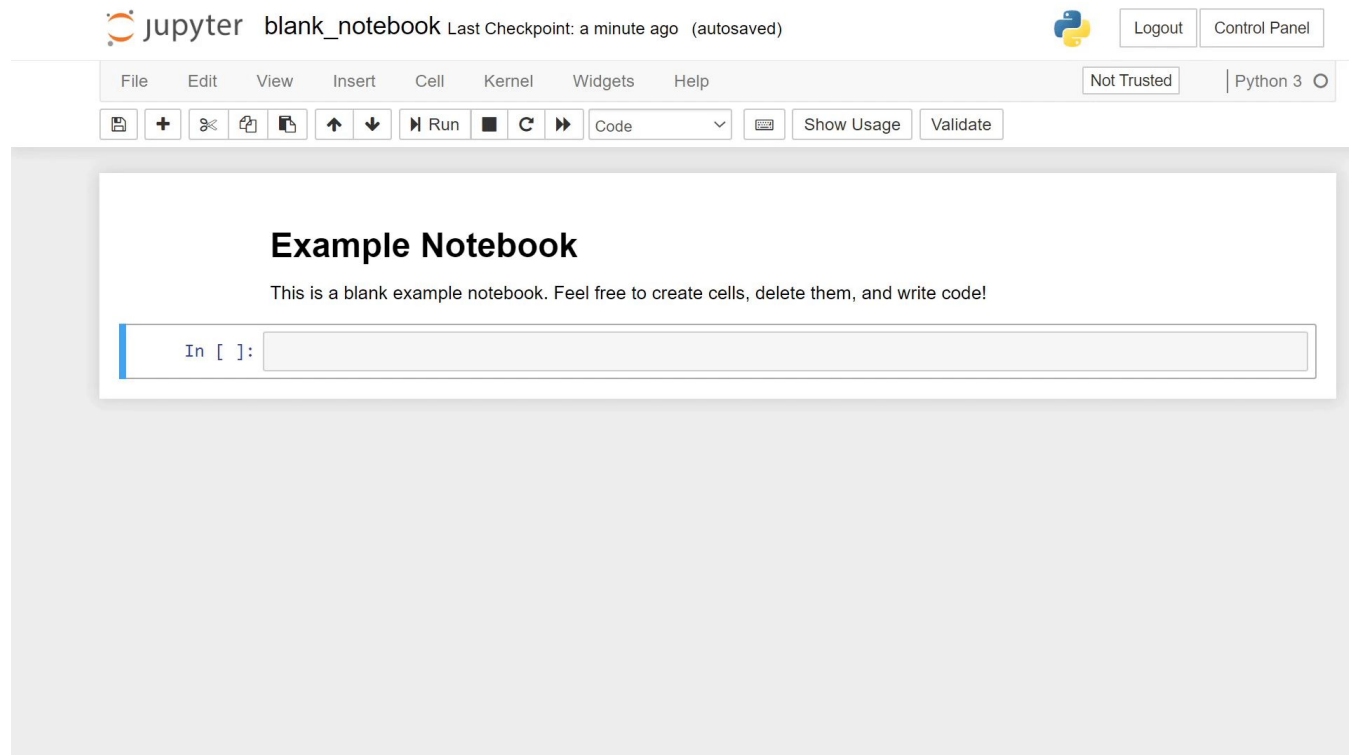


Utilizza solo le tue copie personali dei notebook e **non utilizzare mai il tasto Delete!** ->



Compilazione ed esecuzione di blocchi di codice ->

NB: il codice nei blocchi non deve essere modificato. Utilizzare solo il comando **Run per eseguire il codice!**



https://notes.dsc10.com/_images/notebook-first_cell.gif

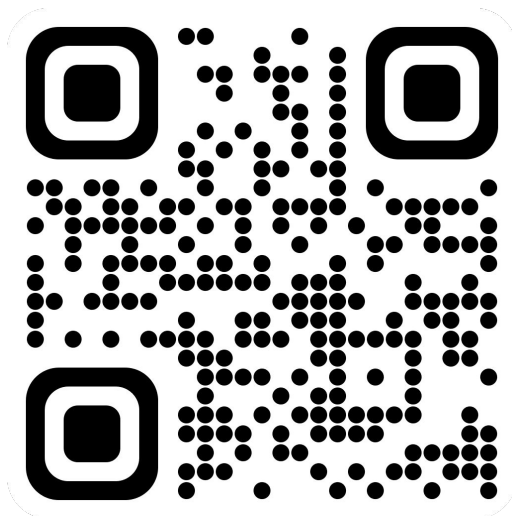
Le funzionalità principali fornite nella versione demo dell'applicazione LCZ-ODC sono:

Notebook 1 - *1_sat_images_and_classification.ipynb*

1. Selezione e visualizzazione immagini satellitari
2. Calcolo firme spettrali dei campioni di addestramento
3. Visualizzazione mappe LCZ

Notebook 2 - *2_temperature_analysis.ipynb*

1. Selezione e visualizzazione mappe temperatura del progetto CLIMAMI
2. Calcolo statistiche zonali di temperatura sulle classi LCZ



<https://tinyurl.com/lczodc-app>

password: LCZodc@2024

Demo funzionalità del plugin QGIS

Relatore: Daniele Oxoli

Ricercatore

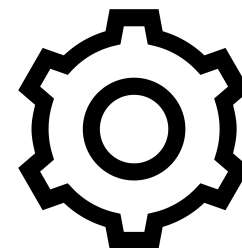
Politecnico di Milano - DICA

Plugin QGIS per l'estrazione dei dati meteorologici di ARPA Lombardia



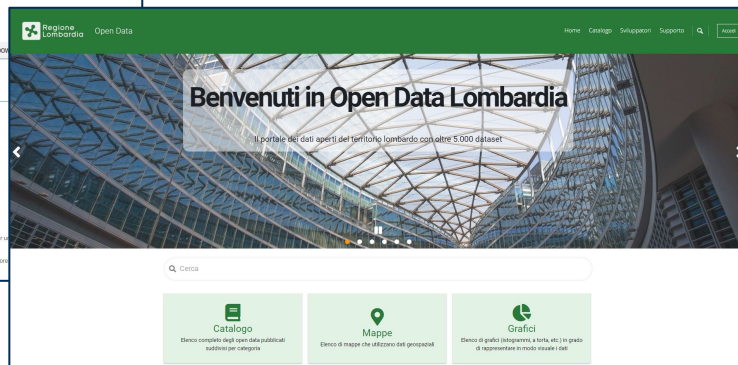
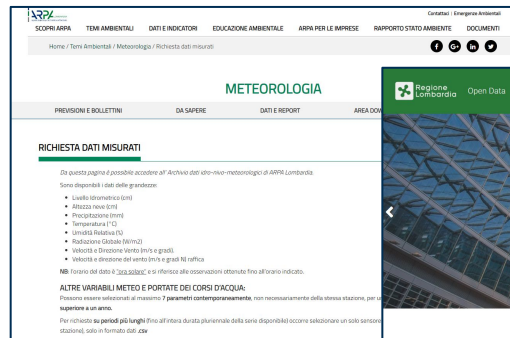
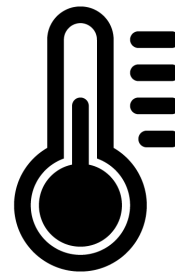
Obiettivo: fornire un accesso semplice ai dati meteorologici da sensore tramite software QGIS

Il plugin consente agli utenti di estrarre dati delle stazioni meteo di ARPA Lombardia, utilizzarli direttamente all'interno di QGIS e scaricare le serie temporali complete (in formato CSV), riducendo la complessità delle operazioni manuali di download e manipolazione dei dati grezzi



La rete ARPA Lombardia fornisce le seguenti variabili meteorologiche rilevate dalle stazioni di misura (come misurazioni sub-orarie, medie orarie o giornaliere in base alla variabile scelta):

- Temperatura (°C)
- Umidità relativa (%)
- Precipitazioni (mm)
- Velocità e direzione del vento (m/s e °Nord)
- Radiazione globale (W/m²)
- Altezza neve (cm)
- Livello idrometrico (cm)



I dati ufficiali sono pubblicati online dal sito di ARPA Lombardia e dal portale Open Data Lombardia

File **CSV** per i dati storici

QGIS Plugin - ARPA Weather

Outputs (Example):

- **Serie temporali originali**
- **Serie temporali pre elaborate**
- **Statistiche riassuntive per sensore**
- **Mappa GIS di sensori e misure**

Caratteristiche e interfaccia del plugin



Gli utenti possono selezionare il tipo di variabile, specificare il periodo temporale e la provincia di interesse (oltre ad altri parametri utili alla fase di pre elaborazione)



Il plugin scarica le serie di osservazioni filtrando nello spazio, nel tempo e per tipologia di sensore. Infine converte le serie pre processate in formati importabili in QGIS. Altri output opzionali (serie temporali complete, etc.) possono essere scaricati in CSV per utilizzo in software esterni (per esempio MS Excel)

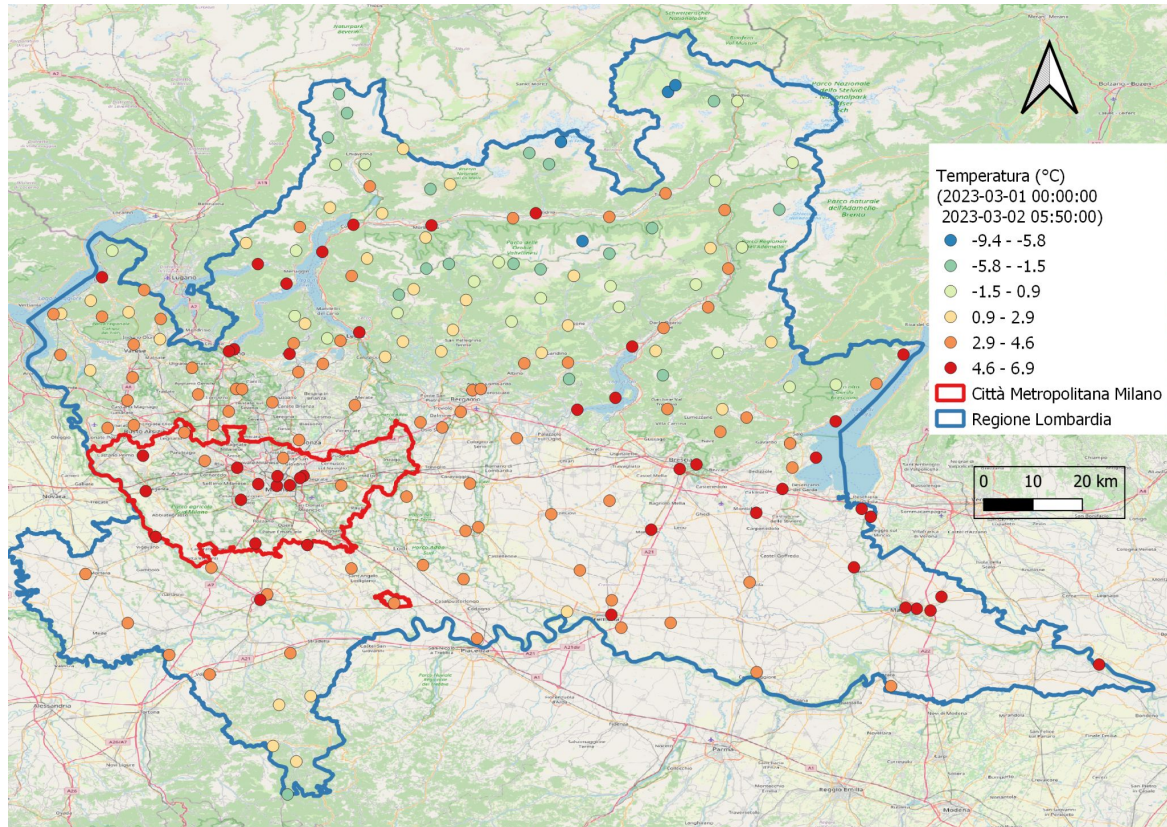
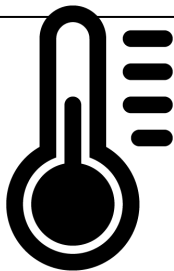


Il plugin crea una mappa delle stazioni di misura e associa ad ognuna statistiche riassuntive per la variabile considerata

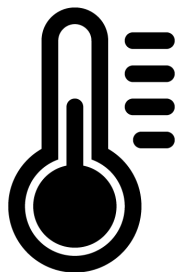


La mappa (vettoriale) viene importata direttamente nel progetto QGIS

Esempio - Mappa dei sensori
di temperatura di ARPA
Lombardia (misurazione
media nel periodo 3/1/2023 -
3/2/2023)



Esempio - Attributi della mappa dei sensori di temperatura di ARPA Lombardia



idsensore	mean	max	min	std	count	tipologia	unit_dimisura	idstazione	nomestazione	quota	provincia	datastart	storico	cgb_nord	cgb_est	lng	lat
53	-2.548...	3.900...	-6.300...	3.136...	180	Temperatura	*C	28	Chiesa in Valmalenco Alpe Entova	1905	SO	1989-10-28	N	5130098	564213	9.834123382219671	46.32141528836431
115	-2.813...	1.799...	-5.199...	1.971...	180	Temperatura	*C	58	Carona Lago Fregaboldia	1955	BG	2001-12-01	N	5097125	566799	9.863057198828766	46.02443987306136
121	2.7871...	9.300...	-1.100...	2.839...	179	Temperatura	*C	60	Villa di Chiavenna	665	SO	2002-11-20	N	5131062	539410	9.512031889439431	46.33198716063755
2001	5.0500...	10.30...	0.1000...	2.607...	180	Temperatura	*C	100	Milano Lambrate	120	MI	2001-06-29	N	5038171	520120	9.257515399681068	45.49677982403948
2039	4.3822...	8.800...	1.2999...	2.073...	180	Temperatura	*C	102	San Colombano al Lambro	140	MI	2001-06-27	N	5002165	538425	9.488996837896474	45.1719189590096...
2082	2.6072...	6.400...	1.1000...	1.239...	180	Temperatura	*C	106	Varzi Nivione	500	PV	2001-05-15	N	4961571	514194	9.179491628449293	44.8073998926287...
2096	4.9538...	11.80...	-1.299...	4.069...	180	Temperatura	*C	107	Sondrio Fond.Fojanini	307	SO	2001-01-29	N	5113016	565691	9.850940145467526	46.167553376526
2110	4.5109...	11.80...	-3.599...	5.217...	173	Temperatura	*C	108	Samolaco v.Vignola	206	SO	1994-07-27	N	5120369	532896	9.426654061947305	46.23610160988358
2122	4.4522...	8.800...	-0.100...	2.466...	180	Temperatura	*C	109	Sant'Angelo Lodigiano	60	LO	1993-03-11	N	5011978	529787	9.37965968313856	45.26066731979222
2134	4.5234...	6.800...	1.1000...	1.190...	179	Temperatura	*C	110	Gonzaga Palidano	22	MN	1998-01-01	N	4980052	638675	10.75828107180869	44.96037167591876
2146	0.2144...	6.599...	-2.700...	2.267...	180	Temperatura	*C	111	Cassina Valsassina Moggio	1234	LC	2002-01-01	N	5084512	538583	9.497502220579186	45.9130936935323
2187	5.4000...	9.899...	0.5	2.646...	179	Temperatura	*C	114	Landriano Cascina Marianna	88	PV	2005-09-29	N	5018600	520938	9.26715311477454	45.32059361110084
2245	3.1737...	10	-2	3.398...	179	Temperatura	*C	117	Edolo Ist.Meneghini	699	BS	1998-01-01	N	5114436	602920	10.333392938696...	46.17572375017687
2270	2.2772...	9	-2.599...	3.261...	180	Temperatura	*C	119	San Giovanni Bianco Cornalita	622	BG	2001-09-07	N	5079768	549604	9.639112837494569	45.86969089938538
2327	3.8533...	8.699...	-2.099...	3.037...	180	Temperatura	*C	123	Cavenago d'Adda	67	LO	2002-08-08	N	5013018	544138	9.562659972530115	45.2692739605286...
2361	4.4933...	9	-0.699...	2.442...	180	Temperatura	*C	125	Castello d'Agogna	106	PV	1993-01-01	N	5010411	476502	8.700571652227913	45.2468004469622...
2400	3.6222...	10.10...	-3.5	4.045...	180	Temperatura	*C	129	Capo di Ponte v.Briscoli	362	BS	2002-10-30	N	5097875	603903	10.34250260860311	46.0265635424728...
2414	4.8800...	10.60...	-0.5	2.966...	180	Temperatura	*C	130	Brescia ITAS Pastori	149	BS	1995-01-01	N	5042175	598502	10.261382196949...	45.5261457863528...
2433	4.5581...	10.89...	-1	3.180...	179	Temperatura	*C	132	Bergamo v.Stezzano	211	BG	1993-01-01	N	5056541	551321	9.658768470289832	45.66051928748766
2447	1.9724...	7.199...	-0.800...	2.361...	178	Temperatura	*C	133	Bema	958	SO	1993-01-01	N	5105929	544001	9.569334700408506	46.10551877576103
2459	4.5872...	10.10...	-1.100...	3.056...	180	Temperatura	*C	134	Corzano Bargnano	93	BS	1998-05-03	N	5031659	581271	10.039027376964...	45.43372847020967



https://github.com/gisgeolab/ARPA_Weather_plugin
(documentazione per installazione e codice)

Grazie per l'attenzione!

Contatti

Giovanna Venuti: giovanna.venuti@polimi.it

Alberto Vavassori: alberto.vavassori@polimi.it

Rodrigo Cedenro: jesusrodrigo.cedeno@polimi.it

Daniele Oxoli: daniele.oxoli@polimi.it

