

UN MODELLO ALLA MICROSCALA PER LA SIMULAZIONE DELLA TEMPERATURA IN AMBIENTE URBANO

ELENA CONIGLIARO, PAOLO MONTI, GIOVANNI LEUZZI & ANTONIO CANTELLI*

FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CIVILE E INDUSTRIALE



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

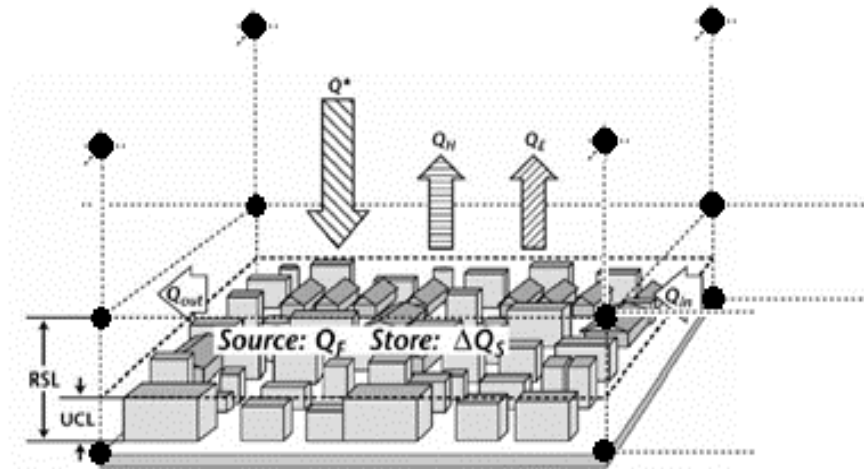
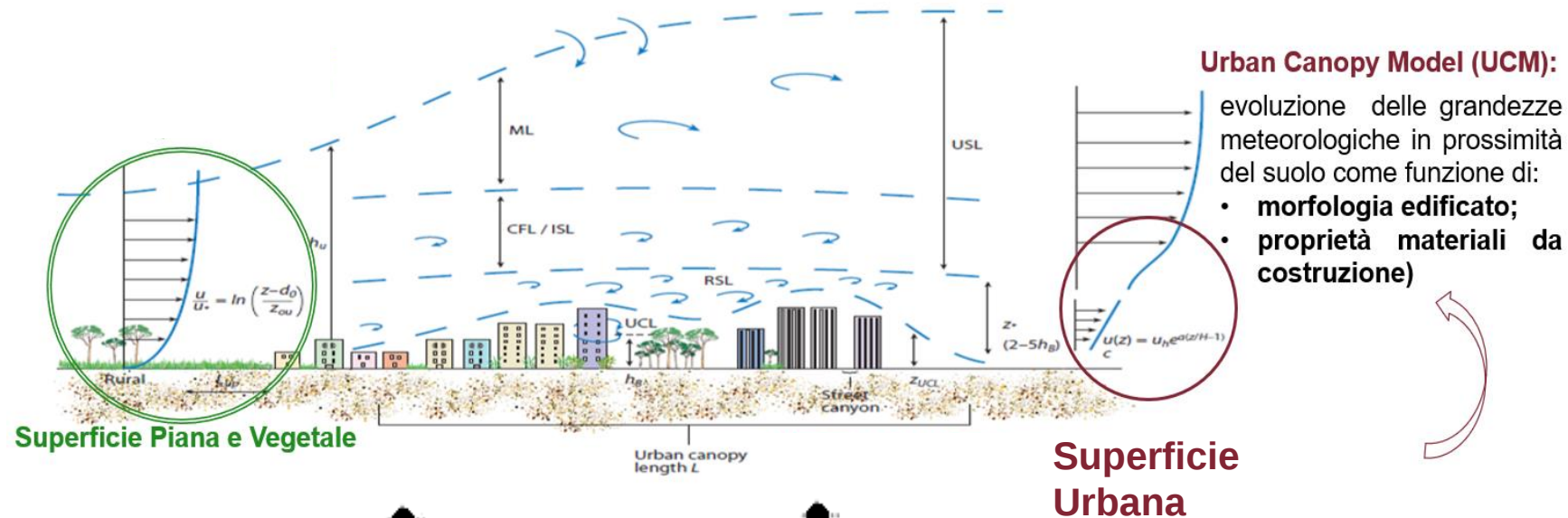
* Now at CENTRO EURO-MEDITERRANEO SUI CAMBIAMENTI CLIMATICI, Bologna, Italy

OBIETTIVO DELLA RICERCA

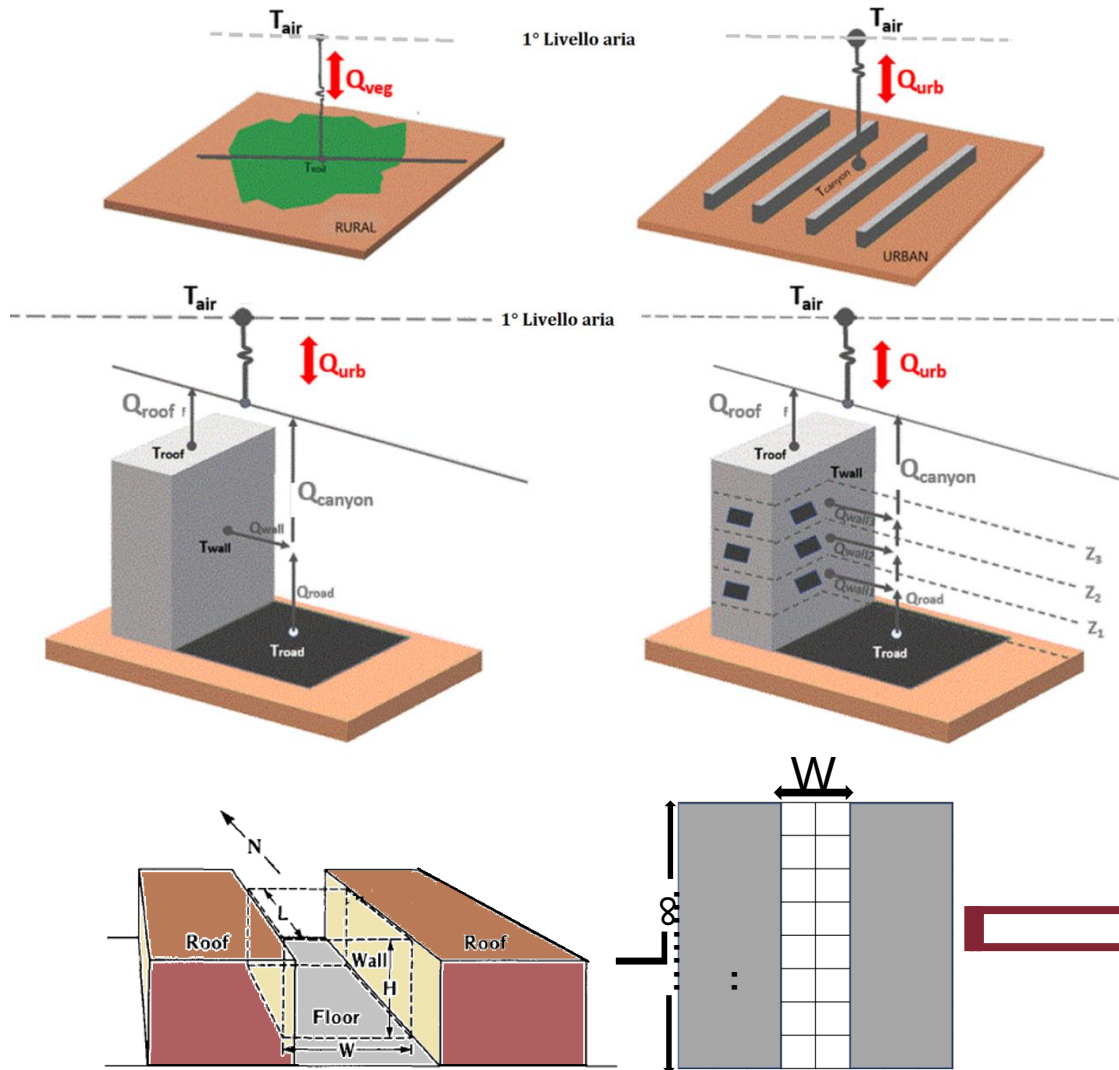


Sviluppo di un Modello **Tridimensionale** di **Canopia Urbana** e sua Integrazione con un **Modello Meteorologico alla Mesoscala**

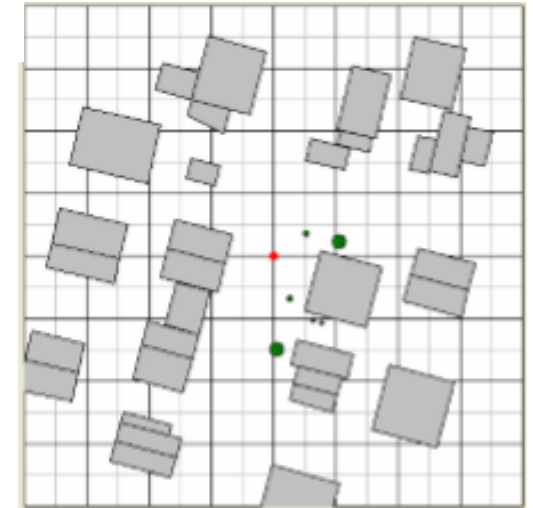
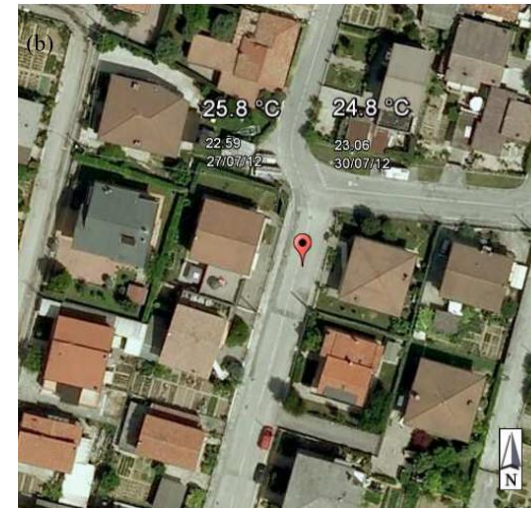
SVILUPPO DI UN MODELLO TRIDIMENSIONALE DI CANOPIA URBANA ED INTEGRAZIONE ALL'INTERNO DI UN MODELLO METEOROLOGICO ALLA MESOSCALA



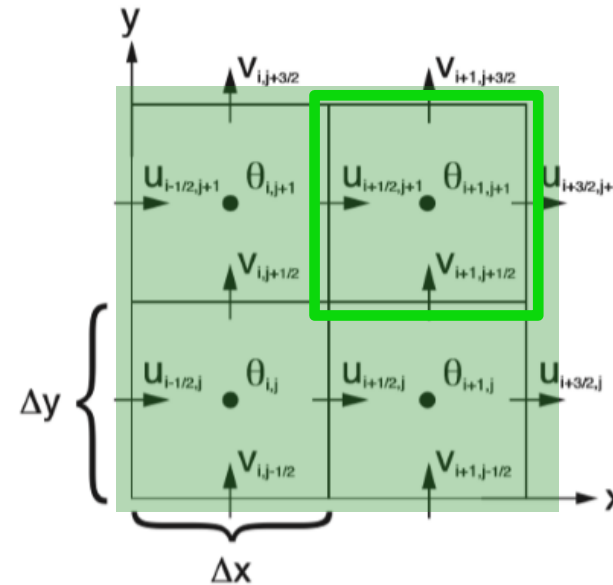
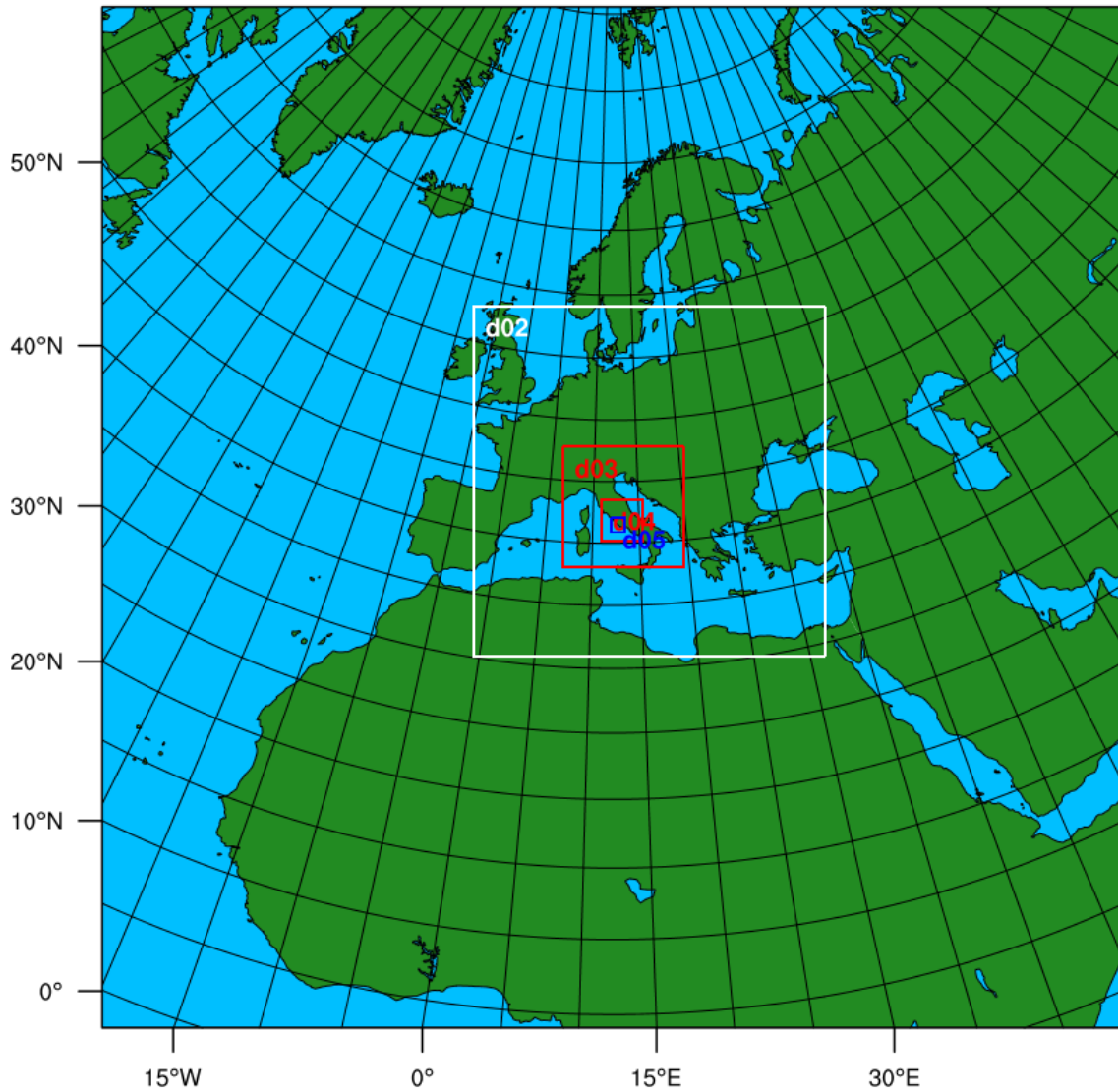
SVILUPPO DI UN MODELLO TRIDIMENSIONALE DI CANOPIA URBANA ED INTEGRAZIONE ALL'INTERNO DI UN MODELLO METEOROLOGICO ALLA MESOSCALA



Modello di Canopia Urbana 3D



MODELLI METEOROLOGICI ALLA MESOSCALA

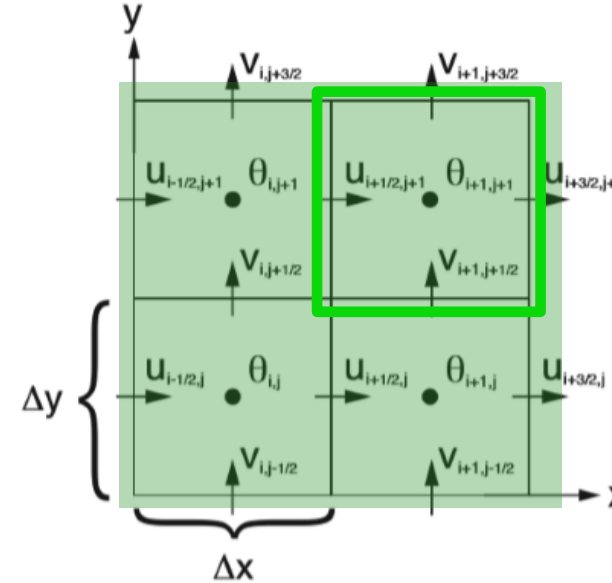


Evoluzione nel tempo e
nello spazio delle
variabili meteorologiche
($\theta, u, v, w, p, \dots$)

Sistema di equazioni di governo della Meccanica dei Fluidi

- Equazione di bilancio della massa: $\vec{\nabla} \cdot \vec{V} = 0$;
- Equazione di bilancio della quantità di moto: $\frac{D\vec{V}}{Dt} = \frac{\rho}{\rho_0} \vec{g} - \frac{1}{\rho_0} \vec{\nabla} p - 2\vec{\Omega}^A \vec{V} + \nu \nabla^2 \vec{V}$;
- Equazione di bilancio dell'energia termica: $\frac{DT}{Dt} = k_t \nabla^2 T$;
- Equazione di stato: $\rho = \rho_0 [1 - \alpha(T - T_0)]$;
- Equazione di bilancio della TKE: $\frac{D}{Dt} \left(\frac{u'^2}{2} \right) = \pm G + TR' - \varepsilon + P$;
- Equazione di bilancio dell'umidità: $\frac{D\rho q}{Dt} = \rho q \vec{\nabla} \cdot \vec{V} + K_q \rho \nabla^2 q$
- Equazioni Parametriche per i processi di «Microfisica»

MODELLI METEOROLOGICI ALLA MESOSCALA



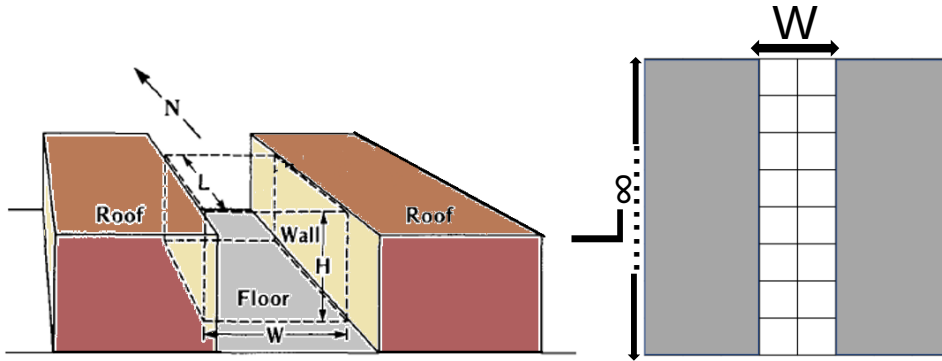
Evoluzione nel tempo e nello spazio delle variabili meteorologiche (θ, u, v)

Processi fisici con scala spaziale inferiore al passo di griglia $(\Delta x, \Delta y)$ risolti mediante **scemi parametrici**.

Le variabili meteorologiche (θ, u, v) risolte per ciascun nodo del dominio vengono usate come condizioni iniziali e al contorno

- Equazione di bilancio della massa: $\vec{\nabla} \cdot \vec{V} = 0$;
- Equazione di bilancio della quantità di moto: $\frac{D\vec{V}}{Dt} = \frac{\rho}{\rho_0} \vec{g} - \frac{1}{\rho_0} \vec{\nabla} p - 2\vec{\Omega}^A \vec{V} + \nu \nabla^2 \vec{V}$;
- Equazione di bilancio dell'energia termica: $\frac{DT}{Dt} = k_t \nabla^2 T$;
- Equazione di stato: $\rho = \rho_0 [1 - \alpha(T - T_0)]$;
- Equazione di bilancio della TKE: $\frac{D}{Dt} \left(\frac{u'^2_2}{2} \right) = \pm G + TR' - \varepsilon + P$;
- Equazione di bilancio dell'umidità: $\frac{D\rho q}{Dt} = \rho q \vec{\nabla} \cdot \vec{V} + K_q \rho \nabla^2 q$
- **Equazioni Parametriche per i processi di «Microfisica»**

MODELLI METEOROLOGICI ALLA MESOSCALA

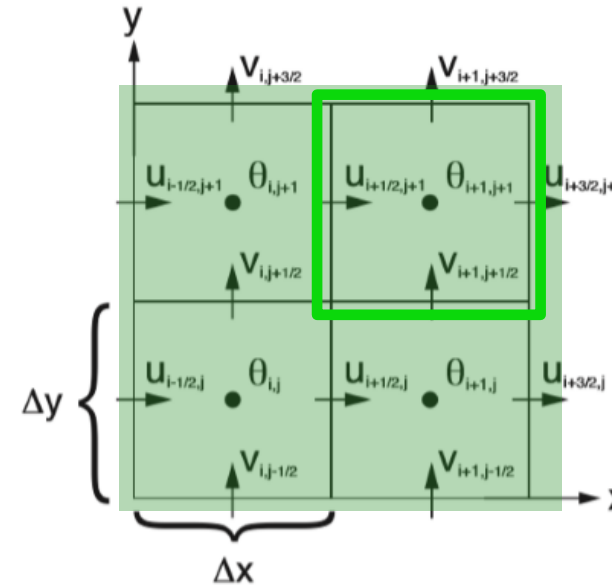


Urban Canopy Model (UCM)



Processi fisici con scala spaziale inferiore al passo di griglia (Δx , Δy) risolti mediante **scemi parametrici**.

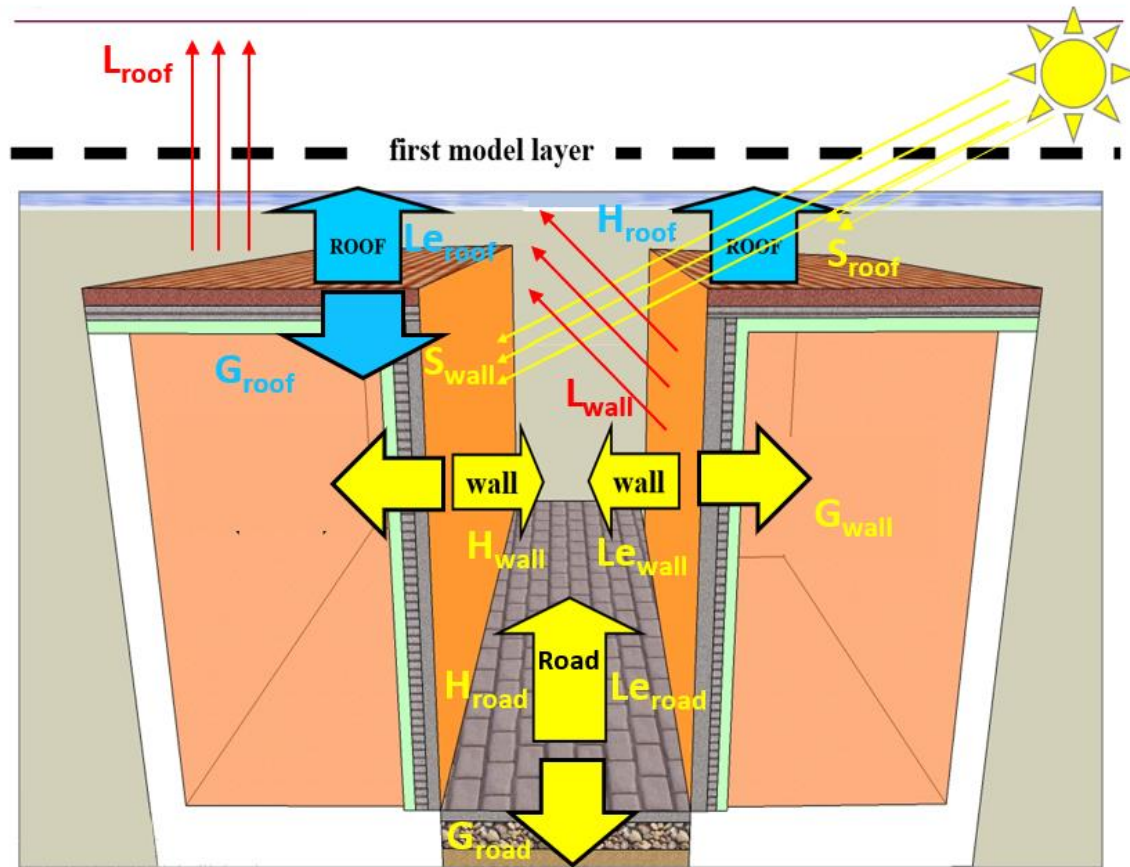
Le variabili meteorologiche (θ , u , v) risolte per ciascun nodo del dominio vengono usate come condizioni iniziali e al contorno



Evoluzione nel tempo e nello spazio delle variabili meteorologiche (θ , u , v)

- Equazione di bilancio della massa: $\vec{\nabla} \cdot \vec{V} = 0$;
- Equazione di bilancio della quantità di moto: $\frac{D\vec{V}}{Dt} = \frac{\rho}{\rho_0} \vec{g} - \frac{1}{\rho_0} \vec{\nabla} p - 2\vec{\Omega}^A \vec{V} + \nu \nabla^2 \vec{V}$;
- Equazione di bilancio dell'energia termica: $\frac{DT}{Dt} = k_t \nabla^2 T$;
- Equazione di stato: $\rho = \rho_0 [1 - \alpha(T - T_0)]$;
- Equazione di bilancio della TKE: $\frac{D}{Dt} \left(\frac{u'^2_2}{2} \right) = \pm G + TR' - \varepsilon + P$;
- Equazione di bilancio dell'umidità: $\frac{D\rho q}{Dt} = \rho q \vec{\nabla} \cdot \vec{V} + K_q \rho \nabla^2 q$
- **Equazioni Parametriche per i processi di «Microfisica»**

MODELLI DI CANOPIA URBANA – STATO DELL'ARTE



- Calcolo degli **scambi di energia** fra **canyon urbano** e **primo strato d'aria** sotto forma di radiazione incidente netta (Q_N):

$$Q_N = S + L - H - Le - G$$

- S = Radiazione Solare Netta (Entrante);
- L = Radiazione Infrarossa Netta (Uscente);
- H = Flusso Turbolento di Calore Sensibile;
- Le = Flusso Turbolento di Calore Latente;
- G = Flusso Termico fra superficie e strato interno

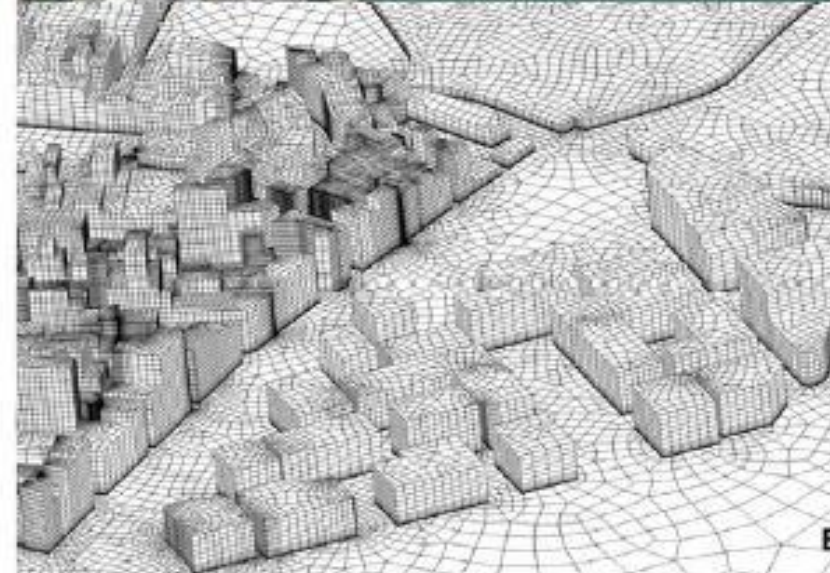
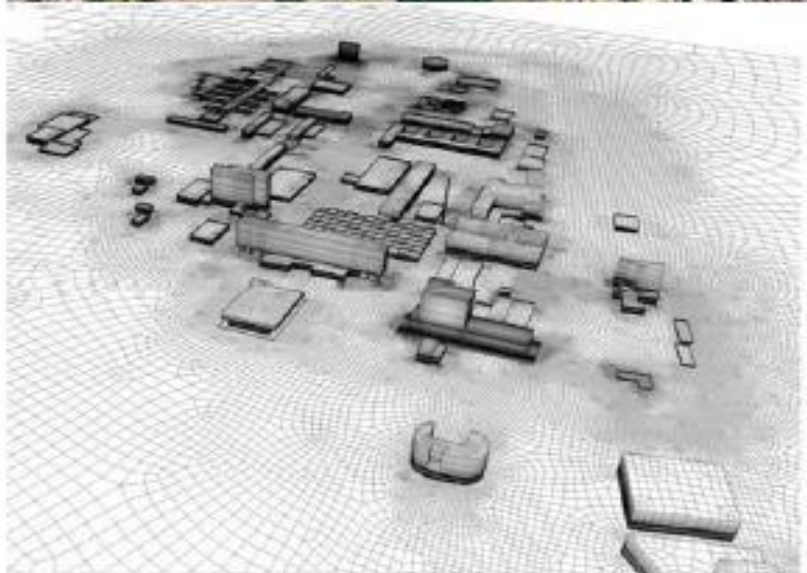
- Aggiornamento ad ogni intervallo temporale della **Temperatura delle Superfici del Canyon**:

$$T_i = \frac{1}{d_i C_i} (S_i + L_i + H_i + Le_i + G_i) dt + T_{i-1}; \quad i = roof, wall, road$$

C_i = Capacità termica della i-esima superficie;

d_i = Spessore della i-esima superficie

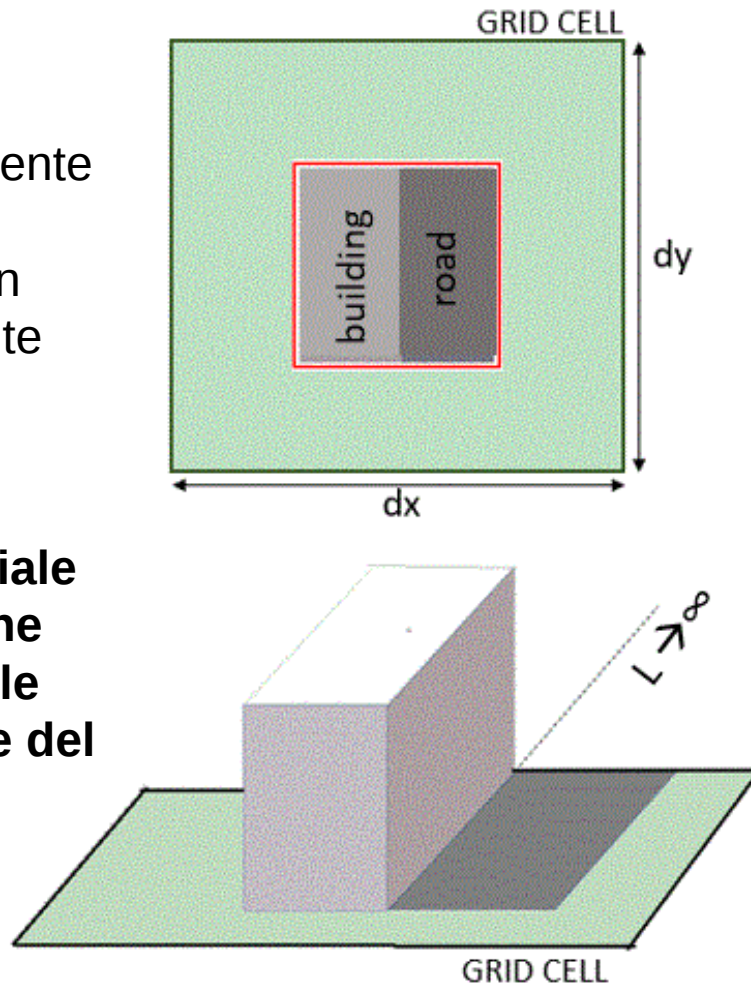
MODELLI DI CANOPIA URBANA – STATO DELL'ARTE



PASSAGGIO DA UN MODELLO **2D** DI CANOPIA URBANA AD UNO **3D**

Nei modelli attualmente in uso la città è rappresentata da un Canyon infinitamente lungo e omogeneo

~~eterogeneità spaziale
della caratteristiche
geometriche e delle
proprietà termiche del
tessuto urbano~~

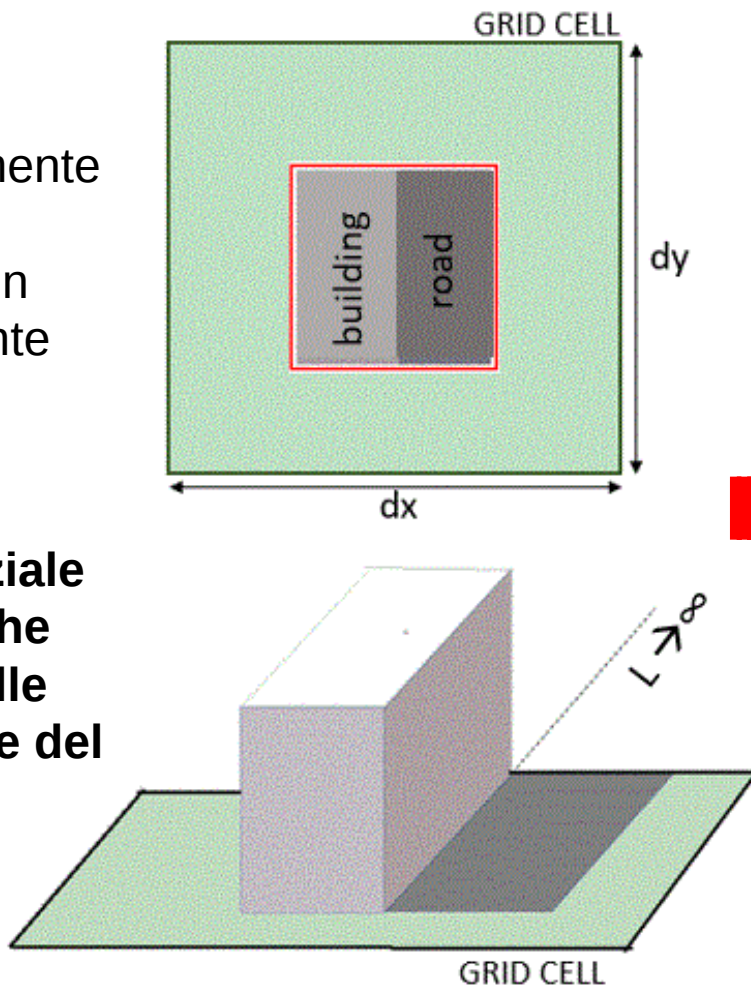


2D UCM

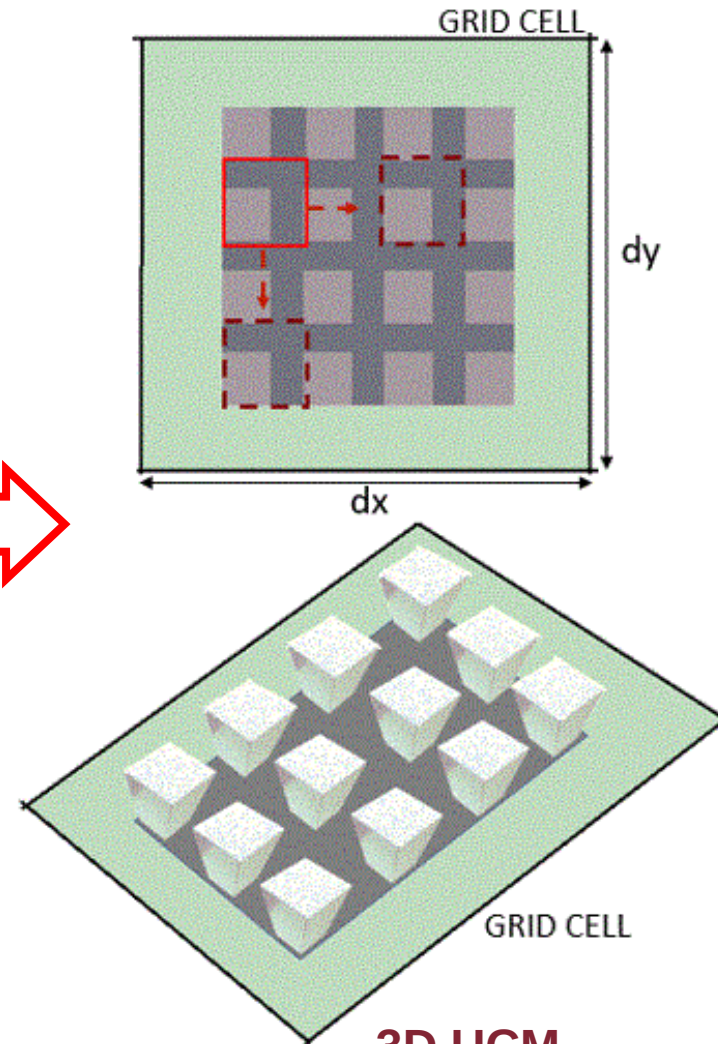
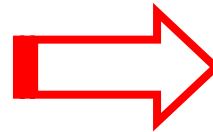
PASSAGGIO DA UN MODELLO 2D DI CANOPIA URBANA AD UNO 3D

Nei modelli attualmente in uso la città è rappresentata da un Canyon infinitamente lungo e omogeneo

~~eterogeneità spaziale
della caratteristiche
geometriche e delle
proprietà termiche del
tessuto urbano~~



2D UCM

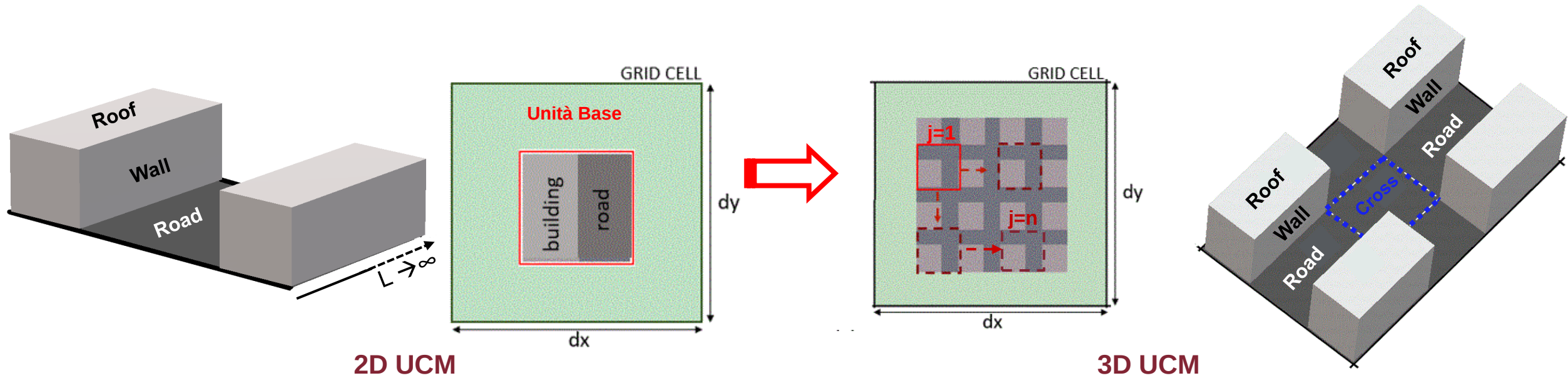


3D UCM

Città rappresentata alla scala di risoluzione del singolo edificio.

**eterogeneità spaziale
della caratteristiche
geometriche e delle
proprietà termiche
del tessuto urbano.**

PASSAGGIO DA UN MODELLO 2D DI CANOPIA URBANA AD UNO 3D



$$T_i = \frac{1}{d_i C_i} (S_i + L_i + H_i + Le_i + G_i) dt + T_{i-1};$$

$i = roof, wall, road$
 $(j = 1)$

$$T_{ij} = \frac{1}{d_{ij} C_{ij}} (S_{ij} + L_{ij} + H_{ij} + Le_{ij} + G_{ij}) dt + T_{ij-1};$$

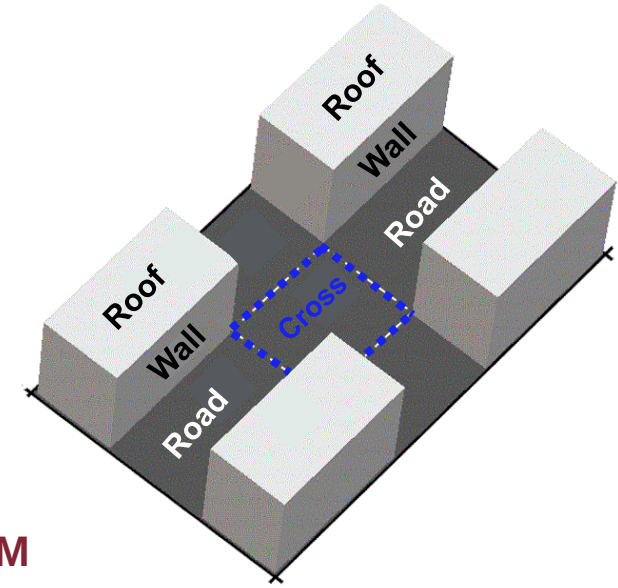
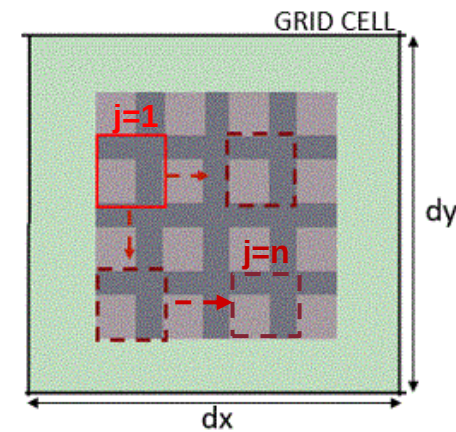
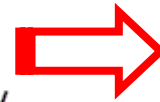
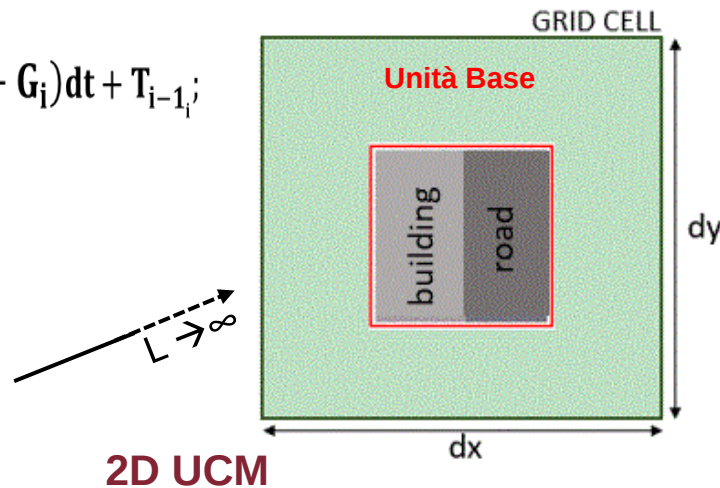
$i = roof, wall, road, Cross$
 $j = 1, 2, \dots, n$

$n = N^\circ$ Unità Base dentro la maglia

PASSAGGIO DA UN MODELLO 2D DI CANOPIA URBANA AD UNO 3D

$$T_i = \frac{1}{d_i C_i} (S_i + L_i + H_i + Le_i + G_i) dt + T_{i-1};$$

i = roof, wall, road
(j = 1)



$$T_i = \frac{1}{d_i C_i} (S_i + L_i + H_i + Le_i + G_i) dt + T_{i-1};$$

i = roof, wall, road
(j = 1)

$$T_{ij} = \frac{1}{d_{ij} C_{ij}} (S_{ij} + L_{ij} + H_{ij} + Le_{ij} + G_{ij}) dt + T_{ij-1};$$

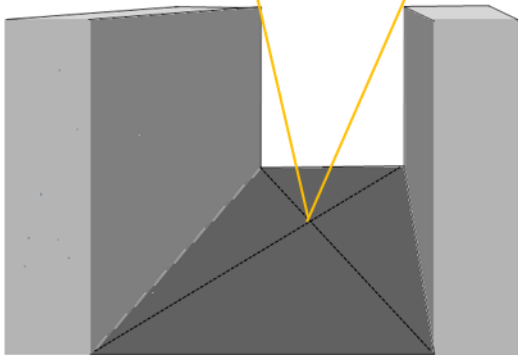
i = roof, wall, road, Cross
j = 1, 2, n

n = N° **Unità Base** dentro la maglia

EFFETTI DELLA MODELLAZIONE ESPLICITA DEGLI INCROCI

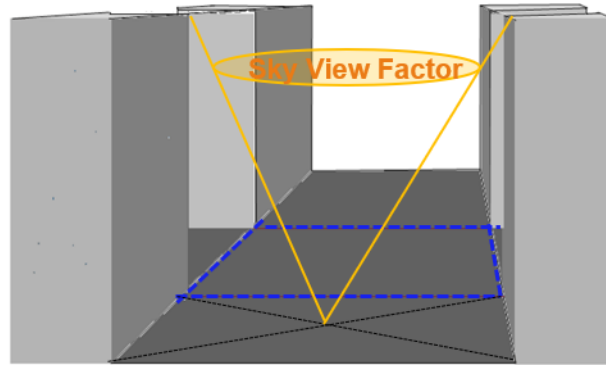
2D UCM

Sky View Factor



3D UCM

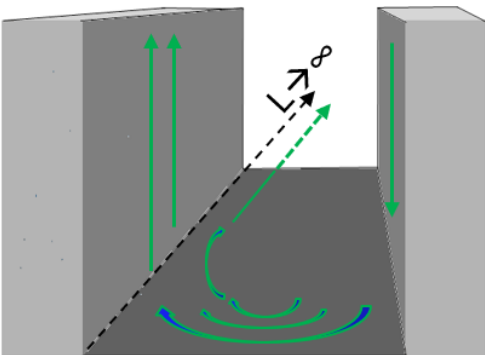
Sky View Factor



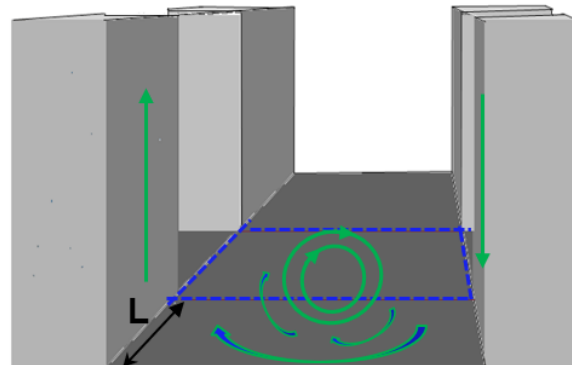
- L'incrocio è una superficie libera da ostacoli verticali
 - Aumento Sky View Factor
 - Riduzione Trapping Radiativo per S e L

- Influenza nel calcolo di L della Radiazione IR emessa dalle superfici poste oltre l'incrocio

2D UCM

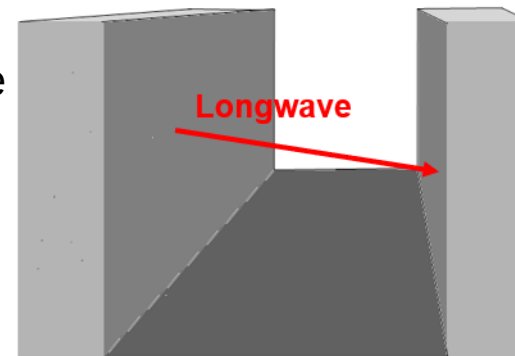


3D UCM



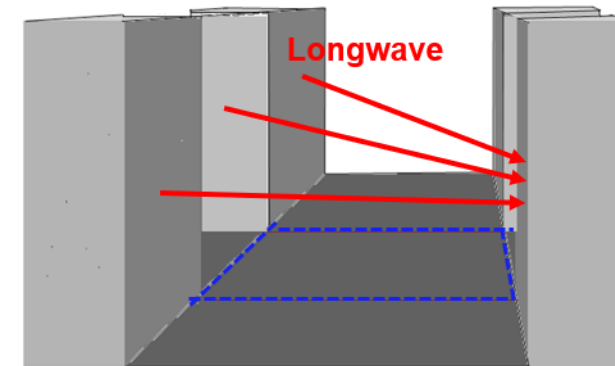
2D UCM

Longwave



3D UCM

Longwave



- Estensione al caso 3D delle leggi Parametriche per le variabili Turbolente
 - Modifica componenti velocità nel canyon e resistenze aerodinamiche
 - Modifica Flussi Turbolenti di H e Le

A three-dimensional urban canopy model for mesoscale atmospheric simulations and its comparison with a two-dimensional urban canopy model in an idealized case

Elena Conigliaro^a, Paolo Monti^{a,*,}, Giovanni Leuzzi^a, Antonio Cantelli^b

Show more

Add to Mendeley Share Cite

<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100831>

Get rights and content

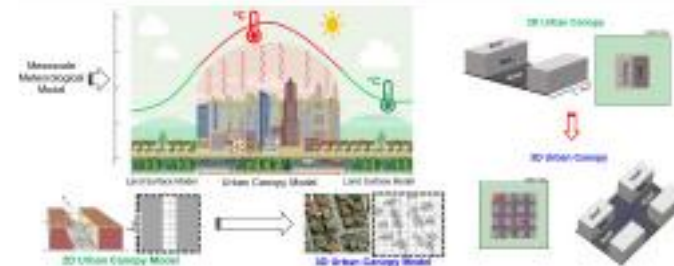
Highlights

- Influence of the urban canopy on the surface energy budget is investigated.
- A new Three-Dimensional Urban Canopy Model is introduced.
- Temperature, heat fluxes and radiative fluxes are simulated at the building scale.
- Significant differences with the two-dimensional approach are present.
- Model sensitivity to urban geometry and construction material is conducted.

Keywords

Building Numerical weather prediction models; Street canyon; Surface energy balance; Urban climate; Urban heat island

Graphical abstract



Abstract

Most urban canopy models adopt the two-dimensional (infinitely long) street canyon as the basic unit to represent the city texture. This paper presents a new urban canopy model, the 3DUCM (three-dimensional urban canopy model), which accounts for every single building of the city to determine the air temperature and heat fluxes involved in the surface energy budget. 3DUCM has been coupled with the Colorado State University Mesoscale Model, and an idealized city has been considered as case study. Among the main results, it is shown that the air temperature simulated by 3DUCM within the canopy is lower compared to that calculated using the two-dimensional approach, mainly because of crossroads modelling. The new model is suitable for predicting the temperature field down to the building scale and it is potentially easy to apply to realistic scenarios, for which the actual shape, orientation and constructing material properties of every single building constituting the canopy can be taken into account.

- Integrazione nel Modello Meteorologico CSUMM (Colorado State University Mesoscale Model) di un modello 2D e di uno 3D di canopia urbana
- Confronto modello accoppiato CSUMM-3DUCM con un modello CSUMM-2DUCM equivalente
- Analisi di Sensibilità del 3DUCM alla parametrizzazione Geometrica, Termica e Radiativa dell'edificato

A three-dimensional urban canopy model for mesoscale atmospheric simulations and its comparison with a two-dimensional urban canopy model in an idealized case

Elisa Conigliaro^{a,*}, Paolo Monti^a, Giovanni Leuzzi^a, Antonio Cantelli^a

Show more

→ Add to Mendeley → Share → Cite

<https://doi.org/10.1016/j.uclm.2023.100831>

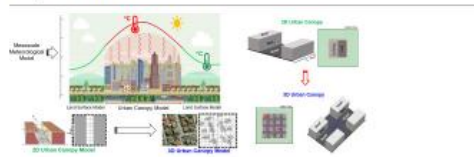
Get rights and content

Highlights

- Influence of the urban canopy on the surface energy budget is investigated.
- A new Three-Dimensional Urban Canopy Model is introduced.
- Temperature, heat fluxes and radiative fluxes are simulated at the building scale.
- Significant differences are found between the two models.
- Model results are compared with experimental data.

Keywords
Building
balance

Graphical abstract



Abstract

Most urban canopy models adopt the two-dimensional (infinitely long) street canyon as the basic unit to represent the city texture. This paper presents a new urban canopy model, the 3DUCM (three-dimensional urban canopy model), which accounts for every single building of the city to determine the air temperature and heat fluxes involved in the surface energy budget. 3DUCM has been coupled with the Colorado State University Mesoscale Model, and an idealized city has been considered as case study. Among the main results, it is shown that the air temperature simulated by 3DUCM within the canopy is lower compared to that

INTEGRAZIONE NEL MODELLO METEOROLOGICO CSUMM (COLORADO STATE UNIVERSITY MESOSCALE MODEL) DI UN MODELLO 2D E DI UNO 3D DI CANOPIA URBANA

- Accoppiamento all'interno di CSUMM di un 2DUCM e di un 3DUCM *equivalenti*
- Simulazione del Sistema Accoppiato CSUMM – 2DUCM e CSUMM – 3DUCM per una «città virtuale» costruita in corrispondenza delle coordinate di Roma



- UCM forzato con le variabili atmosferiche simulate da CSUMM per nodi del grigliato
- I Flussi di Energia calcolati dall'UCM alimentano a loro volta CSUMM e producono un aggiornamento delle variabili termodinamiche di superficie.

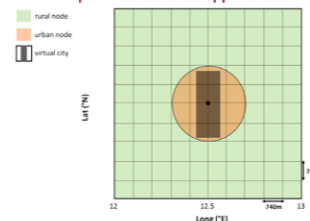
➤ Integrazione nel Modello Meteorologico CSUMM (Colorado State University Mesoscale Model) di un modello 2D e di uno 3D di canopia urbana

- Confronto modello accoppiato CSUMM-3DUCM con un modello CSUMM-2DUCM equivalente
- Analisi di Sensibilità del 3DUCM alla parametrizzazione Geometrica, Termica e Radiativa dell'edificio

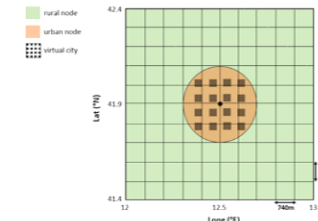
INTEGRAZIONE NEL MODELLO METEOROLOGICO CSUMM (COLORADO STATE UNIVERSITY MESOSCALE MODEL) DI UN MODELLO 2D E DI UNO 3D DI CANOPIA URBANA

- Accoppiamento all'interno di CSUMM di un 2DUCM e di un 3DUCM *equivalenti*
- Simulazione del Sistema Accoppiato CSUMM – 2DUCM e CSUMM – 3DUCM per una «città virtuale» costruita in corrispondenza delle coordinate di Roma
- Nei *Nodi Rurali* i Flussi di Energia sono simulati da CSUMM, nei *Nodi Urbani* rispettivamente dal Sistema Accoppiato CSUMM – 2DUCM e CSUMM – 3DUCM

Dominio di Calcolo per il Sistema Accoppiato CSUMM – 2DUCM



Dominio di Calcolo per il Sistema Accoppiato CSUMM – 3DUCM



A three-dimensional urban canopy model for mesoscale atmospheric simulations and its comparison with a two-dimensional urban canopy model in an idealized case

Elena Conigliaro^{a,*}, Paolo Monti^a, Giovanni Leuzzi^a, Antonio Cantelli^b

Show more

Add to Mendeley Share Cite

<https://doi.org/10.1016/j.uclm.2021.100811>

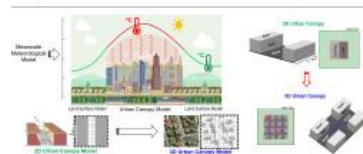
Get rights and content

Highlights

- Influence of the urban canopy on the surface energy budget is investigated.
- A new Three-Dimensional Urban Canopy Model is introduced.
- Temperature, heat fluxes and radiative fluxes are simulated at the building scale.
- Significant differences are found between the two models.
- Model sensitivity is conducted.

Keywords
Building Numerical
balance Urban

Graphical abstract



Abstract

Most urban canopy models adopt the two-dimensional (infinitely long) street canyon as the basic unit to represent the city texture. This paper presents a new urban canopy model, the 3DUCM (three-dimensional urban canopy model), which accounts for every single building of the city to determine the air temperature and heat fluxes involved in the surface energy budget. 3DUCM has been coupled with the Colorado State University Mesoscale Model, and an idealized city has been considered as case study. Among the main results, it is shown that the air temperature simulated by 3DUCM within the canopy is lower compared to that

➤ Integrazione nel Modello Meteorologico CSUMM (Colorado State University Mesoscale Model) di un modello 2D e di uno 3D di canopia urbana

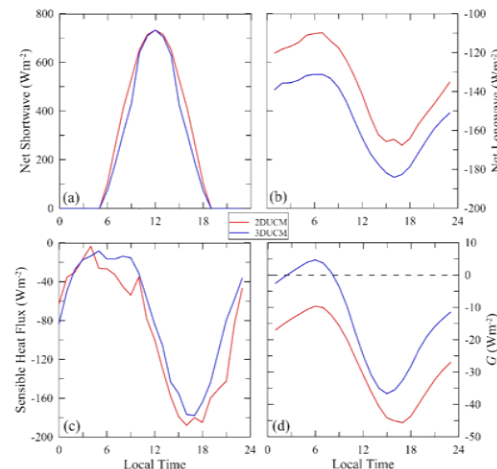
➤ **Confronto modello accoppiato CSUMM-3DUCM con un modello CSUMM-2DUCM equivalente**

➤ Analisi di Sensibilità del 3DUCM alla parametrizzazione Geometrica, Termica e Radiativa dell'edificio

CONFRONTO MODELLO ACCOPPIATO CSUMM-3DUCM CON UN MODELLO CSUMM-2DUCM EQUIVALENTE

Risultati

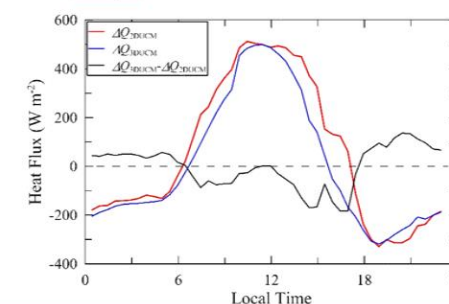
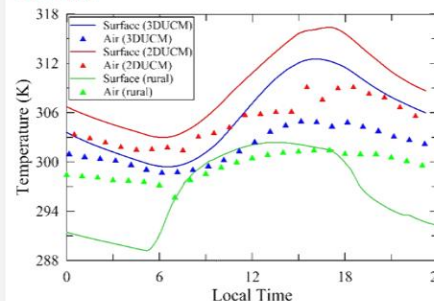
- Nel Sistema Accoppiato CSUMM – 3DUCM viene introdotta la Modellazione esplicita degli incroci
- Riduzione Fenomeni di Riflessione Multipla delle Radiazioni
- Riduzione Radiazione Solare Entrante nelle Superfici
- Aumento Radiazione Infrarossa Uscente dalle Superfici
- La Temperatura della Superficie Urbana simulata dal 3DUCM è più contenuta rispetto a quella simulata dal 2DUCM
- Riduzione dei Flussi Uscenti di Calore



CONFRONTO MODELLO ACCOPPIATO CSUMM-3DUCM CON UN MODELLO CSUMM-2DUCM EQUIVALENTE

Risultati

- La Temperatura del suolo Urbano simulata dal 3DUCM è inferiore a quella simulata dal 2DUCM;
- Di conseguenza risulta inferiore anche l'accumulo di calore all'interno della canopia



A three-dimensional urban canopy model for mesoscale atmospheric simulations and its comparison with a two-dimensional urban canopy model in an idealized case

Elisa Conigliaro^a, Paolo Monti^{a,*}, Giovanni Leuzzi^a, Antonio Cantelli^a

Show more

Add to Mendeley Share Cite

<https://doi.org/10.1016/j.urcl.2021.100811>

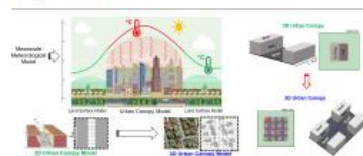
Get rights and content

Highlights

- Influence of the urban canopy on the surface energy budget is investigated.
- A new Three-Dimensional urban canopy model is proposed.
- Temperature, heat fluxes and radiation balance are compared between the two models.
- Model sensitivity to urban geometry is investigated.

Keywords
Building Numerical weather prediction Urban climate Urban canopy model

Graphical abstract



Abstract

Most urban canopy models adopt the two-dimensional (infinitely long) street canyon as the basic unit to represent the city texture. This paper presents a new urban canopy model, the 3DUCM (three-dimensional urban canopy model), which

➤ Integrazione nel Modello Meteorologico CSUMM (Colorado State University Mesoscale Model) di un modello 2D e di uno 3D di canopia urbana

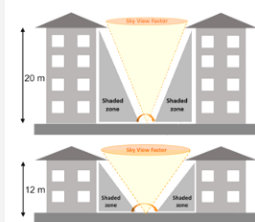
➤ Confronto modello accoppiato CSUMM-3DUCM con un modello CSUMM-2DUCM equivalente

➤ **Analisi di Sensibilità del 3DUCM alla parametrizzazione Geometrica, Termica e Radiativa dell'edificato**

ANALISI DI SENSIBILITÀ DEL 3DUCM ALLA PARAMETRIZZAZIONE GEOMETRICA, TERMICA E RADIATIVA DELL'EDIFICATO

Influenza Parametri Geometrici

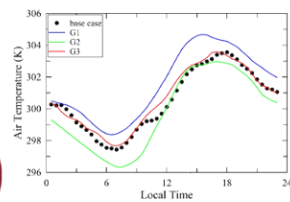
1. Influenza Altezza Edifici



Nel Canyon più basso:

- Minor Ombreggiamento
- Maggiore Sky View Factor
- Superfici più esposte alla Radiazione Solare
- Superficie urbana più calda

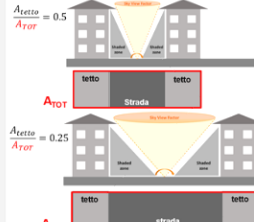
Progettare un edificio più alto mitiga il fenomeno dell'UHI



ANALISI DI SENSIBILITÀ DEL 3DUCM ALLA PARAMETRIZZAZIONE GEOMETRICA, TERMICA E RADIATIVA DELL'EDIFICATO

Influenza Parametri Geometrici

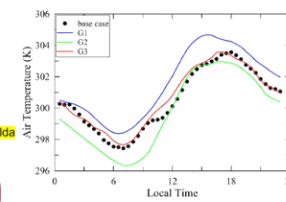
2. Influenza Indice di Copertura Orizzontale



Nel Canyon più ampio:

- Maggiore Sky View Factor
- Superfici verticali più esposte alla Radiazione Solare
- Ridotta influenza dei Tetti (Superfici più calde)
- Superficie urbana meno calda

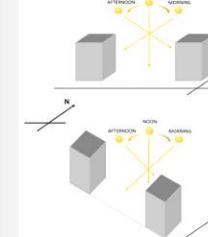
Progettare un edificio meno denso mitiga il fenomeno dell'UHI



ANALISI DI SENSIBILITÀ DEL 3DUCM ALLA PARAMETRIZZAZIONE GEOMETRICA, TERMICA E RADIATIVA DELL'EDIFICATO

Influenza Parametri Geometrici

3. Influenza Orientamento Strada



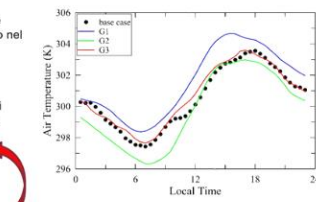
Orientamento=0°:

stesso fattore di esposizione delle pareti durante il giorno ma traslato nel tempo

Orientamento=45°:

parete destra molto più esposta di quella sinistra durante il corso del giorno

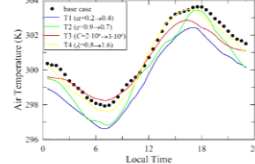
L'orientamento della strada è un fattore poco influente sul fenomeno dell'UHI



ANALISI DI SENSIBILITÀ DEL 3DUCM ALLA PARAMETRIZZAZIONE GEOMETRICA, TERMICA E RADIATIVA DELL'EDIFICATO

Influenza Parametri Termici e Radiativi

1. Influenza Albedo Materiali da Costruzione



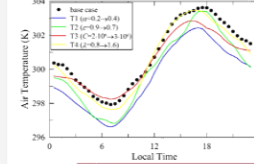
L'uso di materiali da costruzione chiari e più riflettenti mitiga il fenomeno dell'UHI



ANALISI DI SENSIBILITÀ DEL 3DUCM ALLA PARAMETRIZZAZIONE GEOMETRICA, TERMICA E RADIATIVA DELL'EDIFICATO

Influenza Parametri Termici e Radiativi

2. Influenza Emissività Materiali da Costruzione



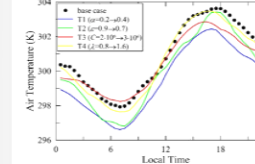
L'emissività dei materiali è un fattore poco influente sul fenomeno dell'UHI



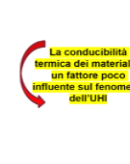
ANALISI DI SENSIBILITÀ DEL 3DUCM ALLA PARAMETRIZZAZIONE GEOMETRICA, TERMICA E RADIATIVA DELL'EDIFICATO

Influenza Parametri Termici e Radiativi

3. Influenza Conduttività Termica dei Materiali



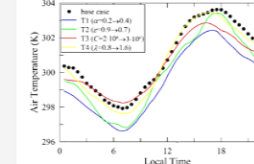
La conduttività termica dei materiali è un fattore poco influente sul fenomeno dell'UHI



ANALISI DI SENSIBILITÀ DEL 3DUCM ALLA PARAMETRIZZAZIONE GEOMETRICA, TERMICA E RADIATIVA DELL'EDIFICATO

Influenza Parametri Termici e Radiativi

3. Influenza Capacità Termica dei Materiali



L'uso di materiali con elevata capacità termica mitiga il fenomeno dell'UHI





Applicazione del **Modello Tridimensionale**
di **Canopia Urbana** per la simulazione del
campo termico di una **Città Reale**
Il caso di ROMA

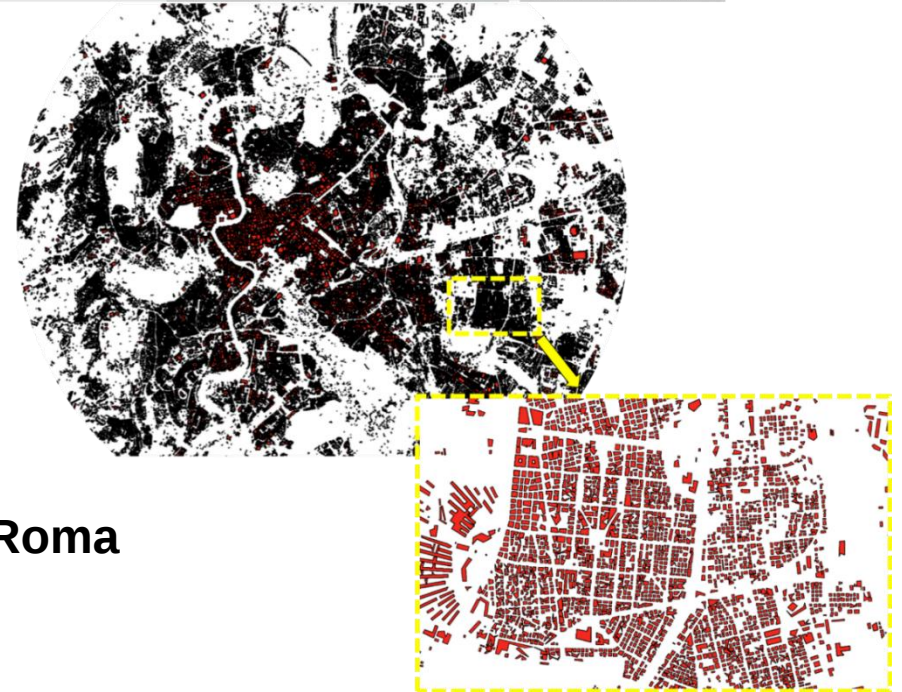
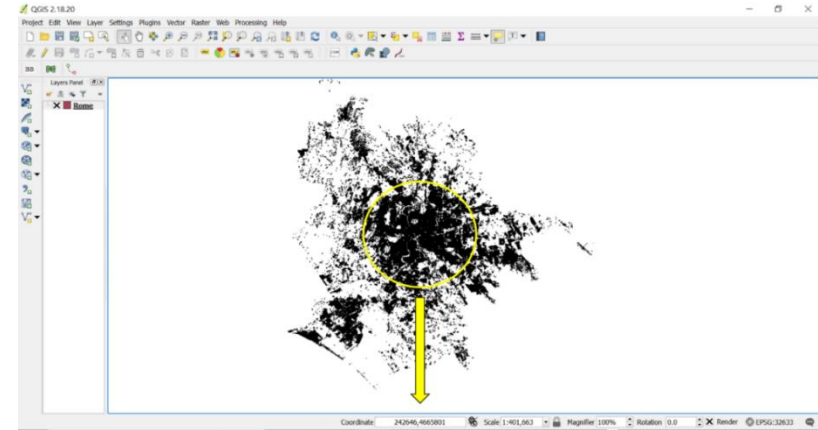
SIMULAZIONE DI UN CASO REALE MEDIANTE SISTEMA ACCOPPIATO CSUMM-3DUCM

Caso studio: Città di Roma

- **STEP PRELIMINARE**: Ricostruzione **Proprietà Geometriche, Termiche e Radiative** per l'edificio di Roma
 - Uso del Software **QGIS 2.18.20**
 - Importazione **CTRN 5K** Shape File

Source:

<http://dati.lazio.it/catalog/it/dataset/carta-tecnica-regionale-2002-2003-5k-roma/resource>.

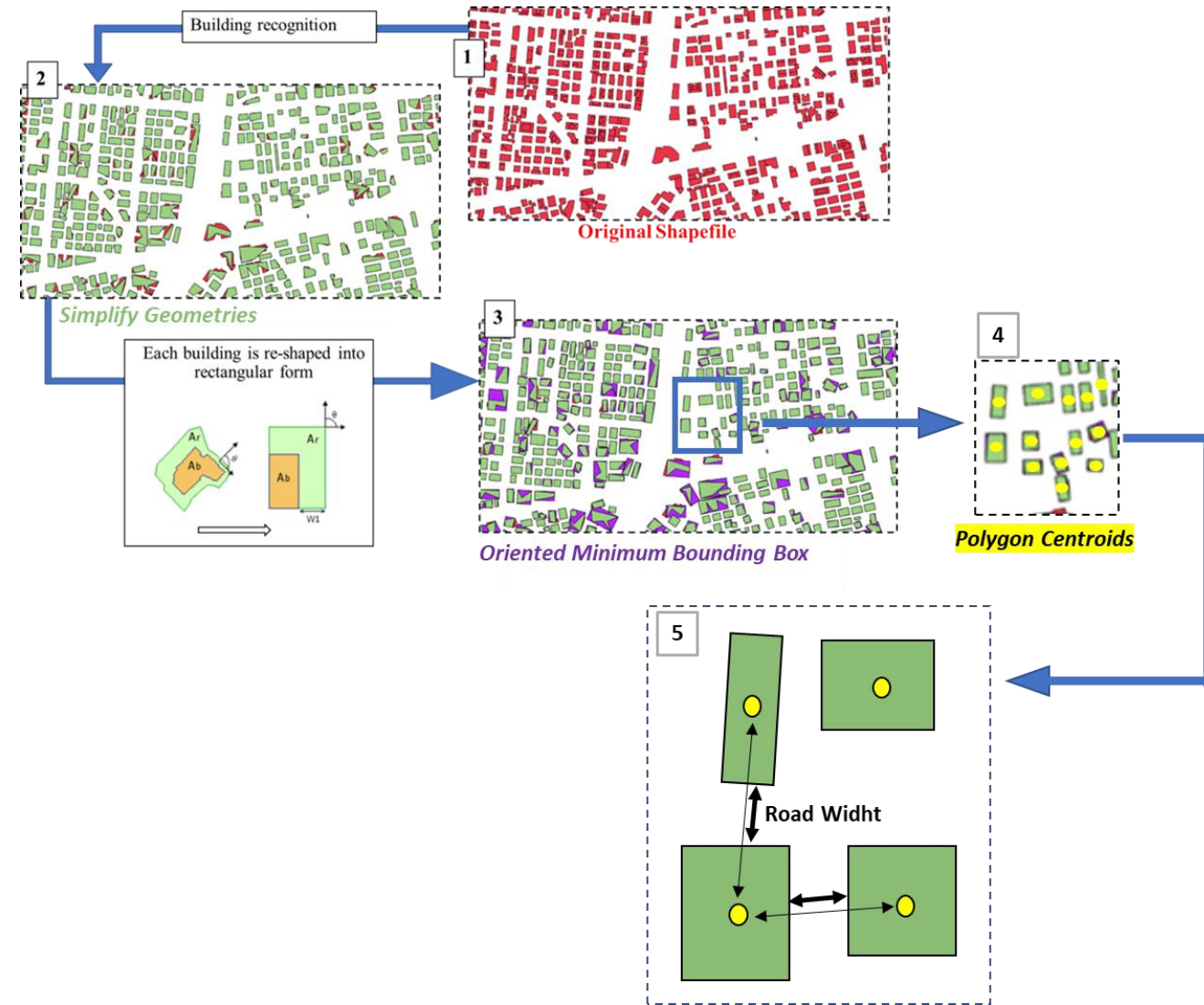


Mappa delle Unità Volumetriche di Roma

SIMULAZIONE DI UN CASO REALE MEDIANTE SISTEMA ACCOPPIATO CSUMM-3DUCM

Caso studio: Città di Roma

- Ricostruzione **Proprietà Geometriche Termiche e Radiative** per l'edificio di Roma
 - Uso del Software **QGIS 2.18.20**
 - Importazione **CTRN 5K Shape File**
 - Implementazione procedura per determinare i **Parametri Geometrici** degli edifici di Roma



Many thanks to Prof. Valerio Baiocchi

SIMULAZIONE DI UN CASO REALE MEDIANTE SISTEMA ACCOPPIATO CSUMM-3DUCM

Caso studio: Città di Roma

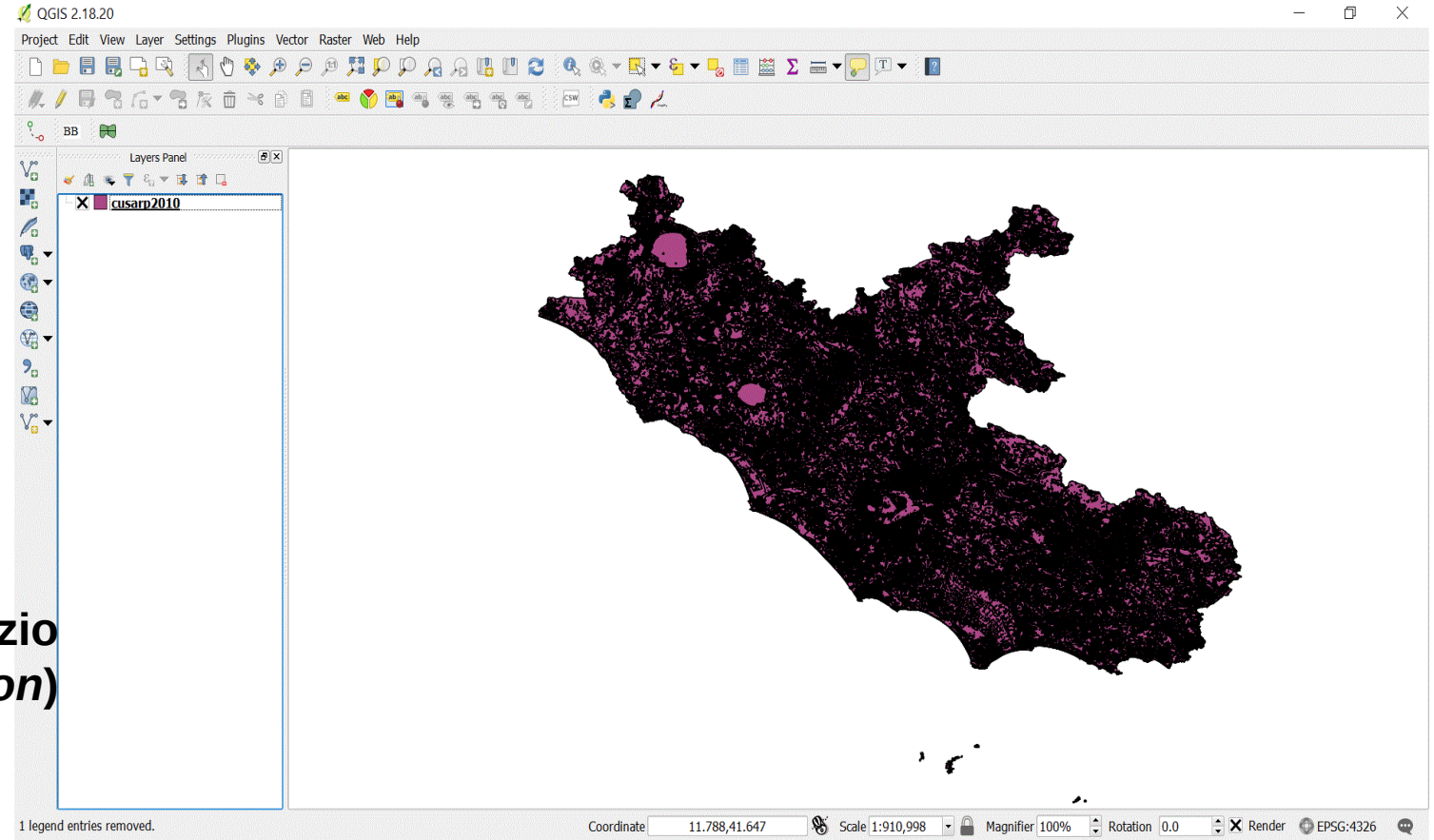
- Ricostruzione **Proprietà Geometriche, Termiche e Radiative** per l'edificio di Roma

- Uso del Software **QGIS 2.18.20**
- Importazione **CTRN 5K** Shape File
- Importazione **CUS** Shape File Format

Source:

<http://www.urbanisticaeca.sa.regione.lazio.it/cusweb>.

**Mappa Uso del Suolo Regione Lazio
(CORINE Land Cover Classification)**



SIMULAZIONE DI UN CASO REALE MEDIANTE SISTEMA ACCOPPIATO CSUMM-3DUCM

Caso studio: Città di Roma

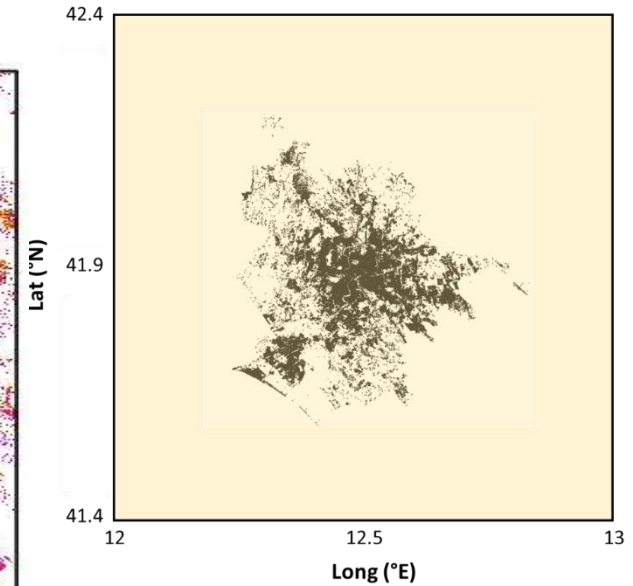
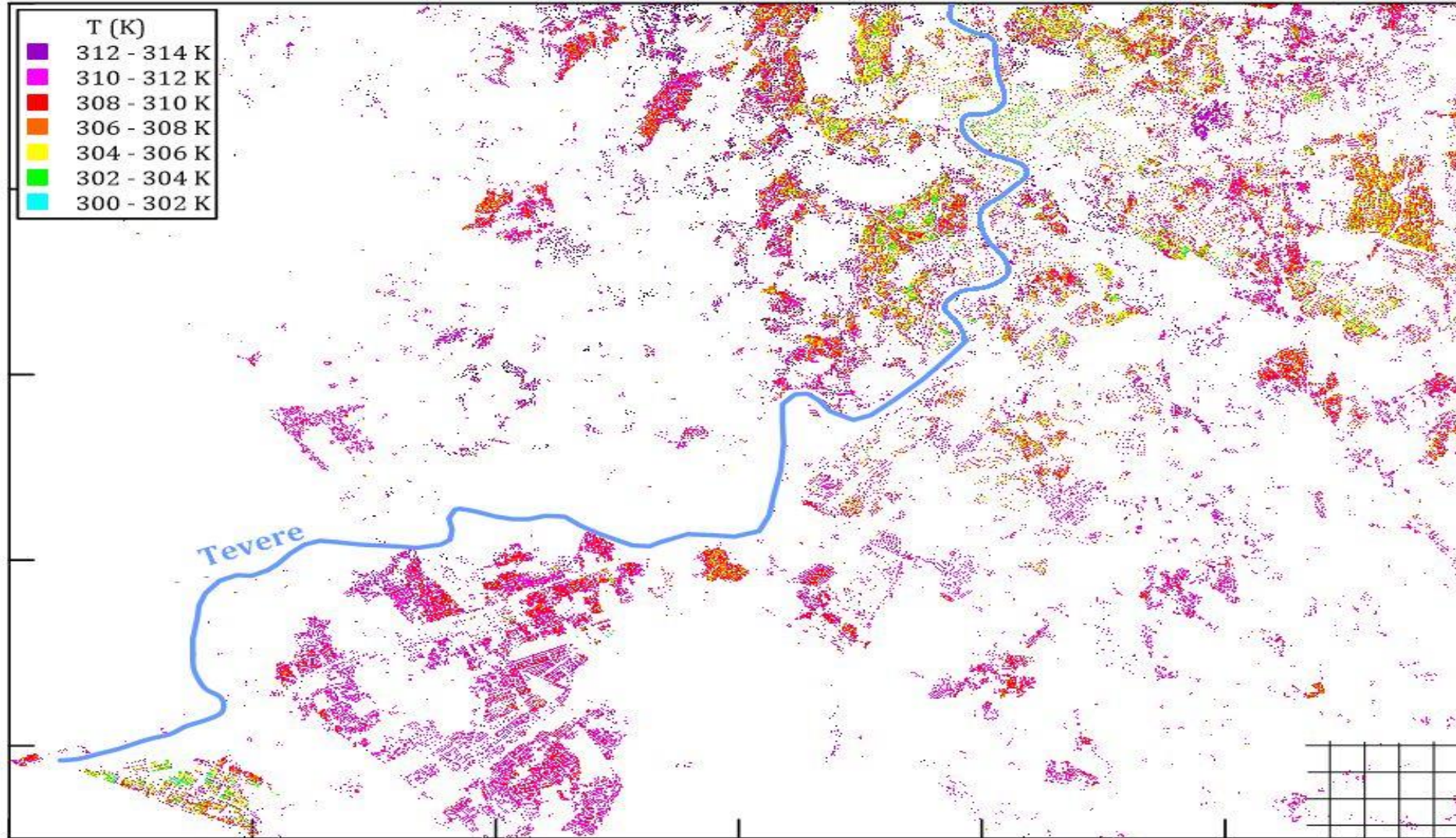
- Ricostruzione **Proprietà Geometriche, Termiche e Radiative** per l'edificio di Roma
 - Uso del Software *QGIS 2.18.20*
 - Importazione **CTRN 5K** Shape File
 - Importazione **CUS** Shape File Format
 - Sovrapposizione Mappe
 - L'attributo *CORINE Land Cover Class* è trasferito ad ogni edificio in CTRN 5K
 - Conversione per somiglianza delle *CORINE Land Cover Classes* in **Local Climate Zone (LCZ) Classes**
 - Attribuzione in funzione delle LCZ Classes dei **Parametri Termici** agli edifici di Roma

“LCZ formally define as regions of uniform surface cover, structure, material, and human activity, so that standardized values (nonspecific as to place or time) of geometric and surface cover, thermal, radiative and metabolic properties are assigned to each of them.” (I. D. Stewart, T. R. Oke; 2012)

Built types	Definition
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.
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.
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.
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.
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.
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.
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).
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.
9. Sparsely built	Sparse arrangement of small or medium-sized buildings in a natural setting. Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees).
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.

SIMULAZIONE DI UN CASO REALE MEDIANTE SISTEMA ACCOPPIATO CSUMM-3DUCM

Caso studio: Città di Roma



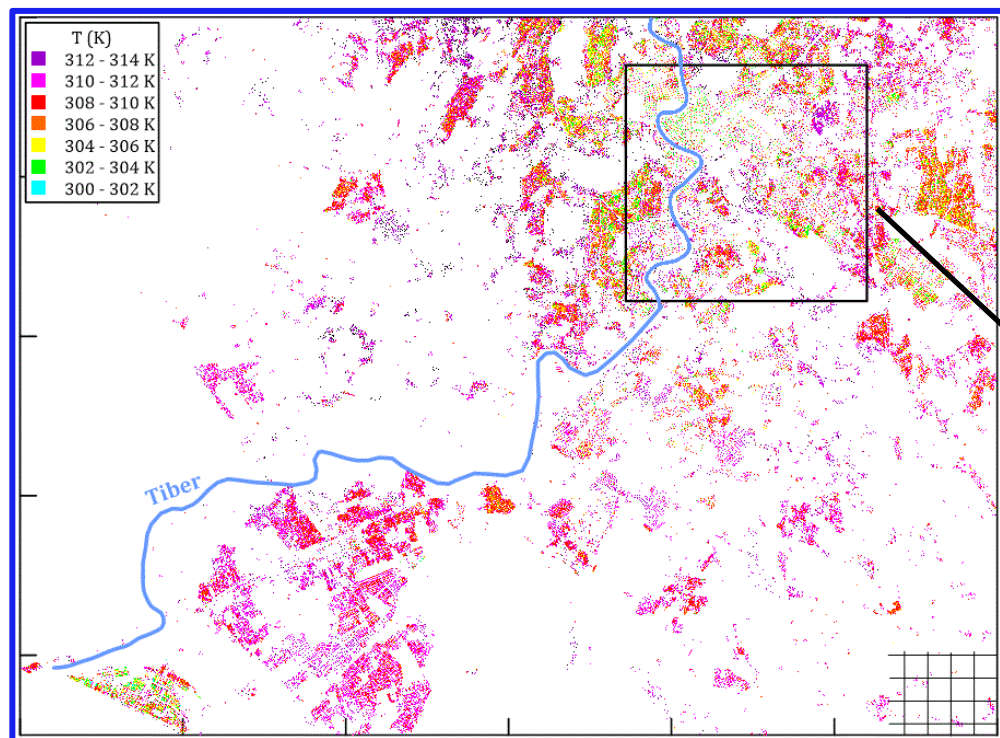
Conigliaro E, Monti P, Leuzzi G & Cantelli A



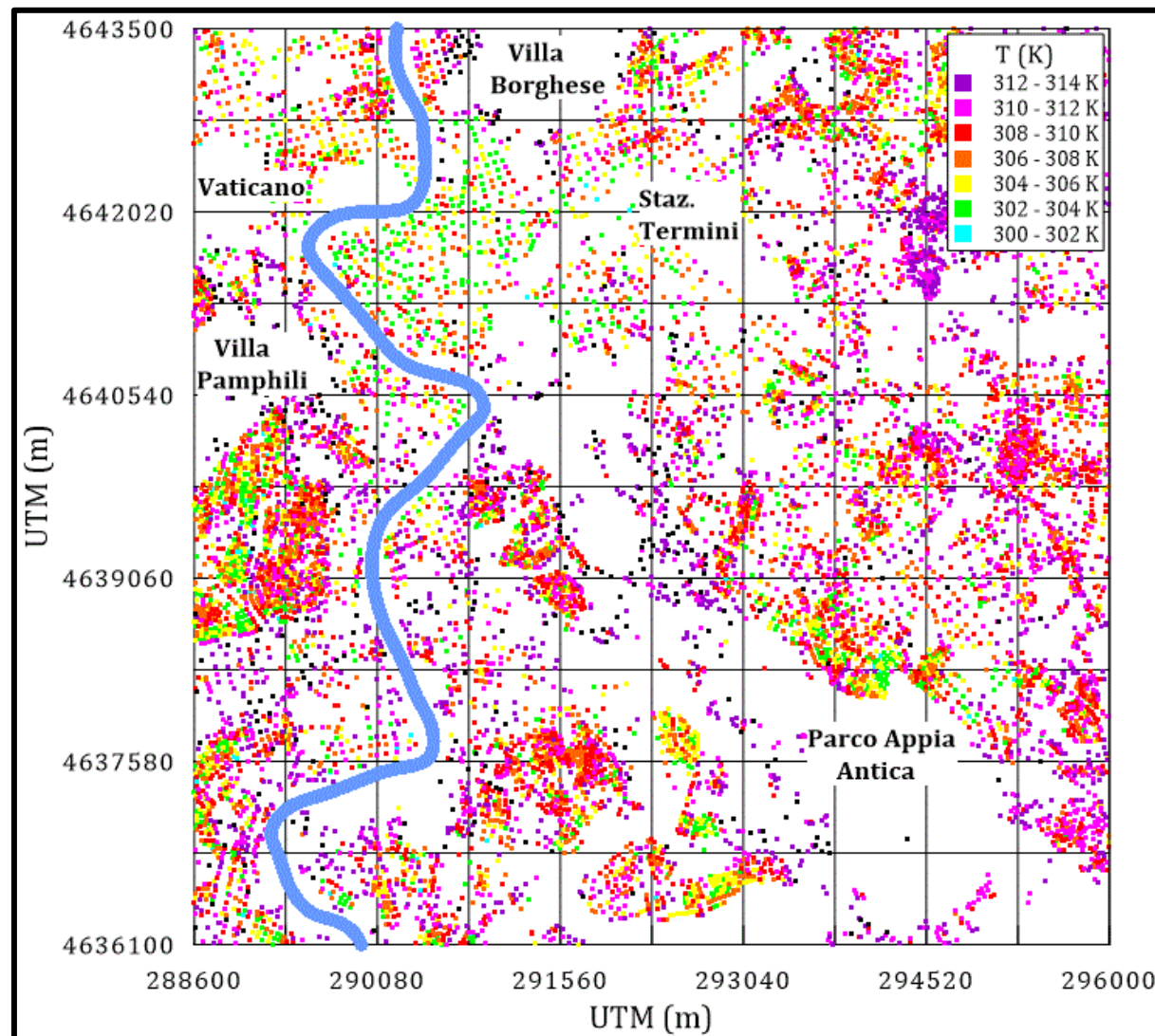
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

SIMULAZIONE DI UN CASO REALE MEDIANTE SISTEMA ACCOPPIATO CSUMM-3DUCM

Caso studio: Città di Roma



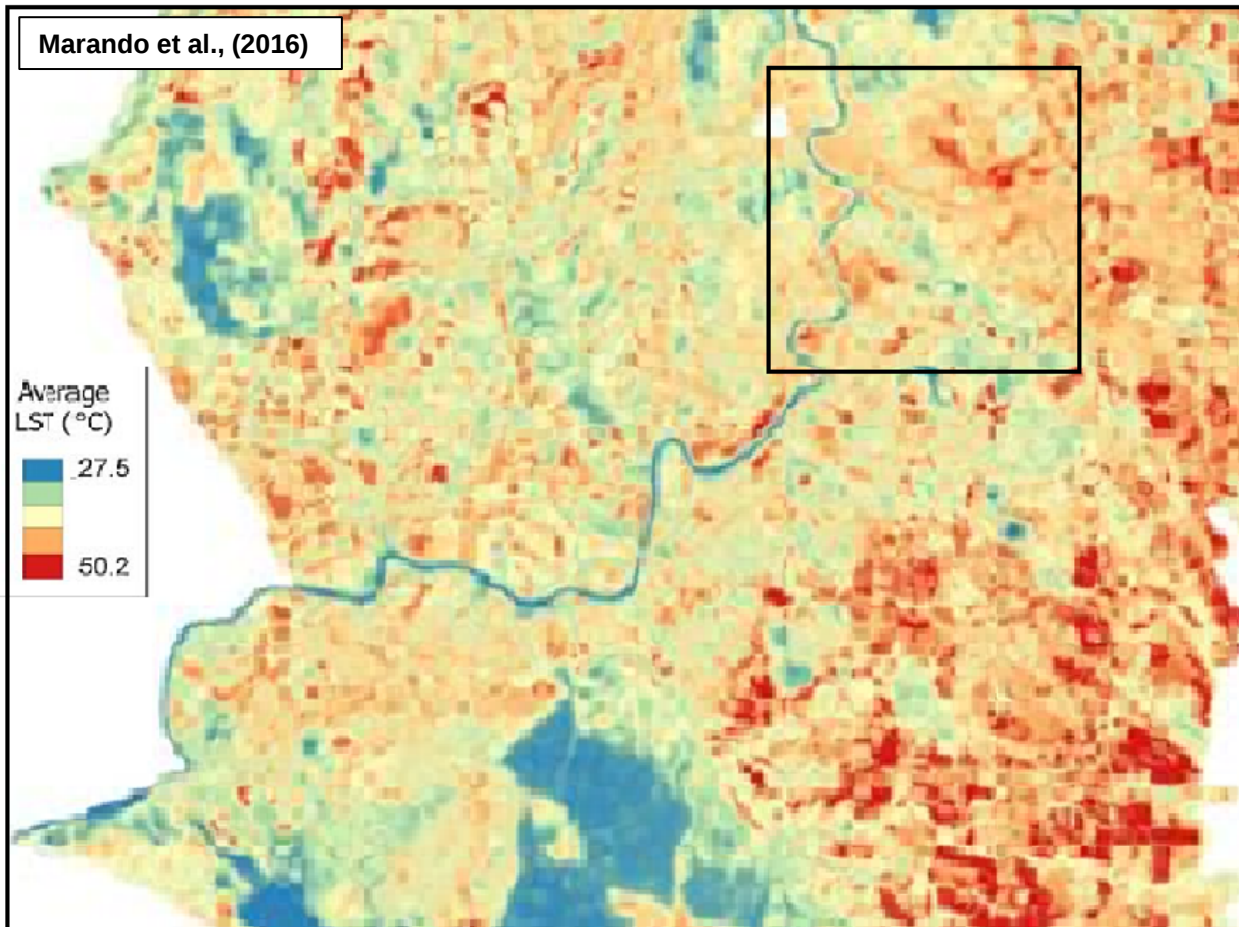
Temperatura superficiale – 16:00 (ora locale)



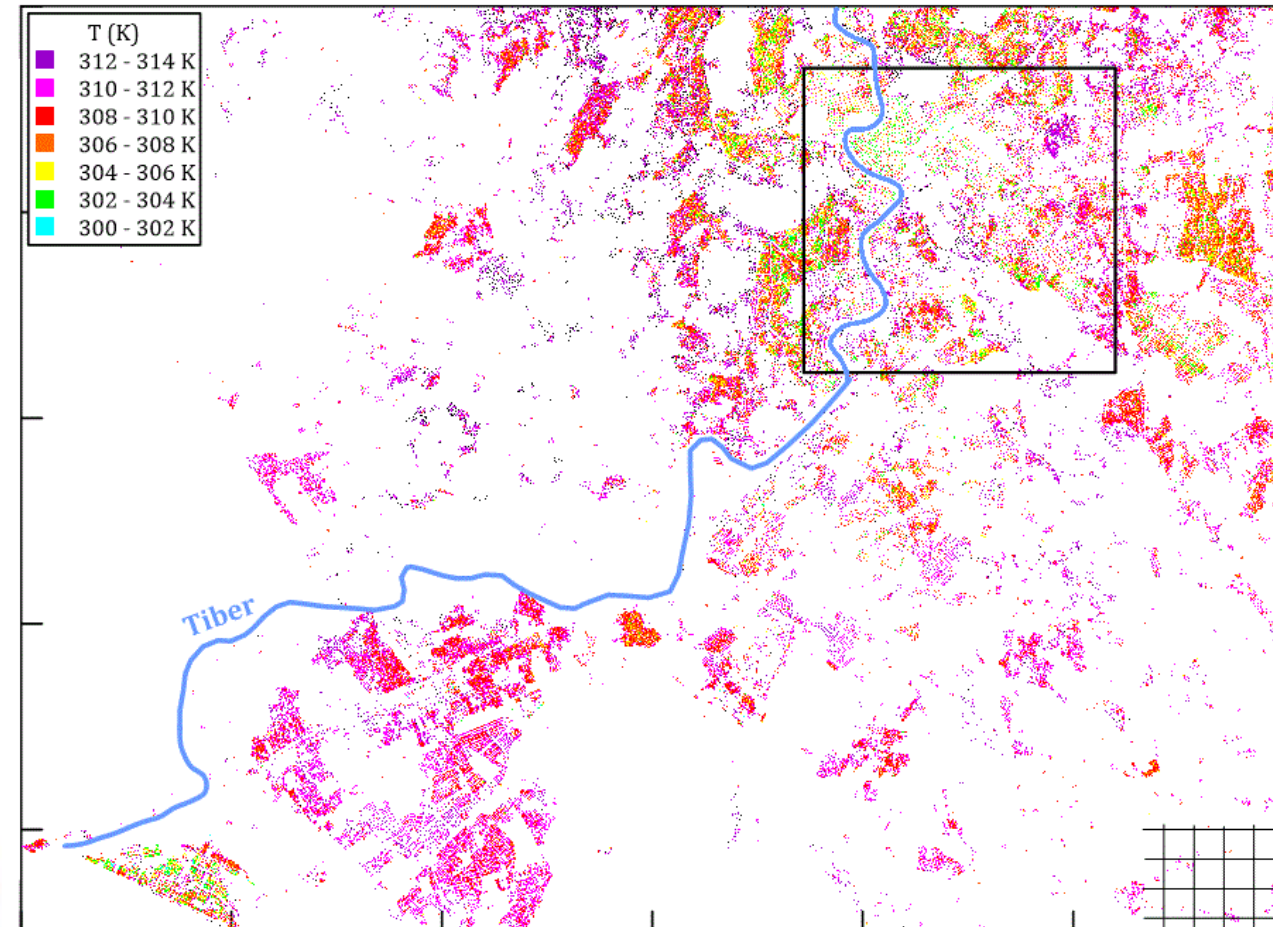
SIMULAZIONE DI UN CASO REALE MEDIANTE SISTEMA ACCOPPIATO CSUMM-3DUCM

Caso studio: Città di Roma

TEMPERATURA SUPERFICIALE OSSERVATA DA SATELLITE



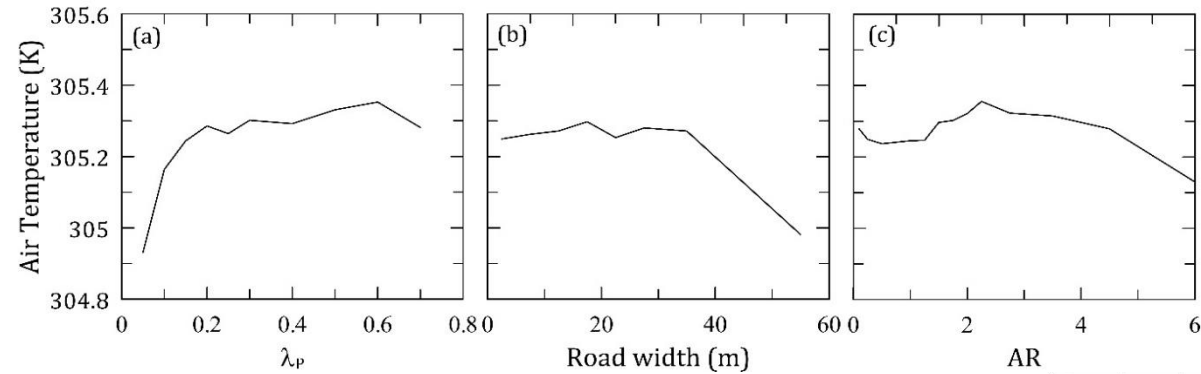
TEMPERATURA SUPERFICIALE SIMULATA



SIMULAZIONE DI UN CASO REALE MEDIANTE SISTEMA ACCOPPIATO CSUMM-3DUCM

Caso studio: Città di Roma

16:00 (ora locale)

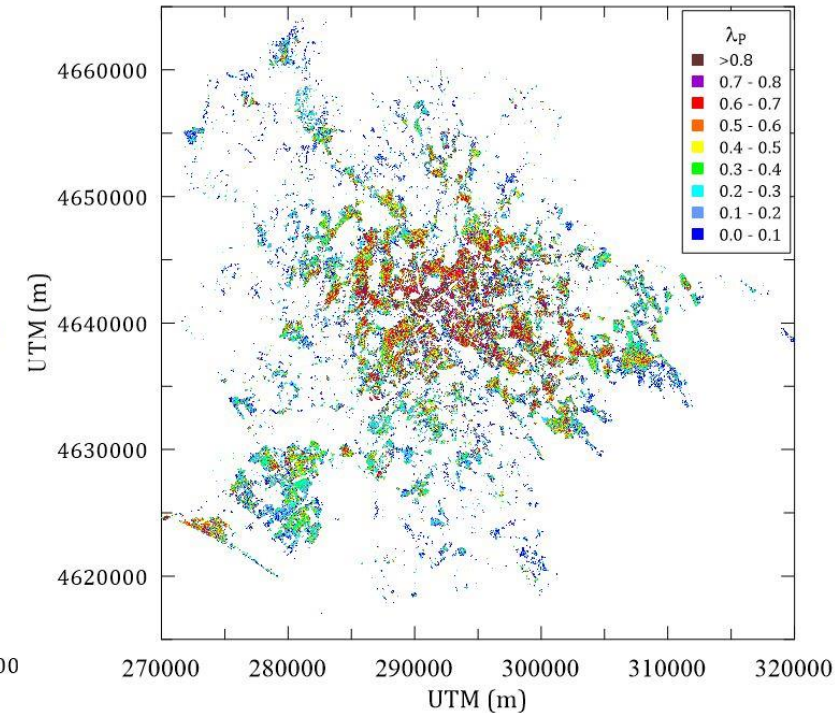
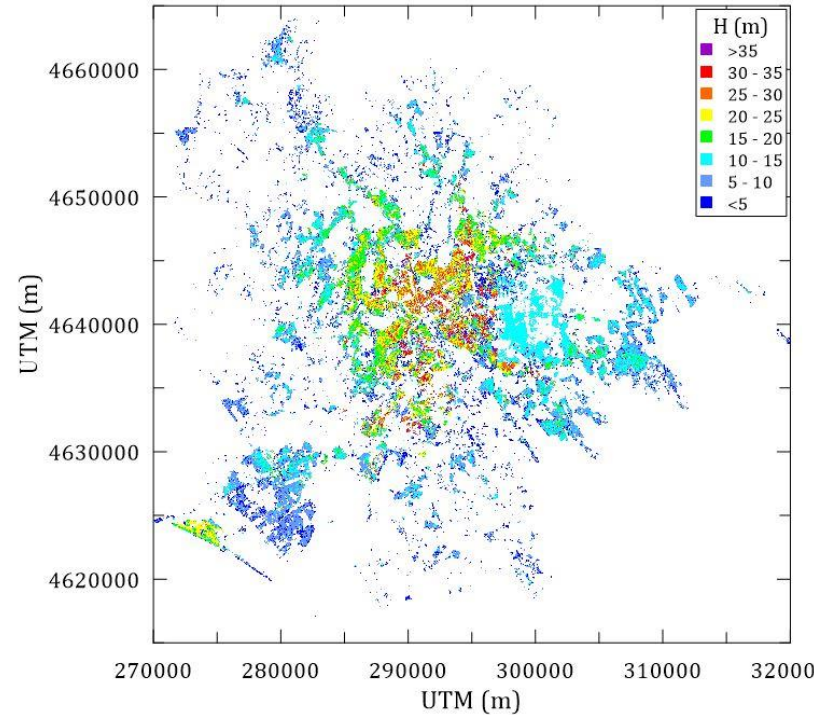


- L'aumento della larghezza della strada produce una diminuzione di λ_p ;
- Riduzione fenomeni di trapping radiativo;
- Raffreddamento dell'aria intrappolata all'interno dei canyon.

L'intensità dell'UHI diminuisce per un edificio meno denso

- L'aumento dell'altezza H dei canyon produce un aumento di AR ;
- Maggior ombreggiamento delle superfici all'interno dei canyon;
- Le superfici si scaldano meno ed a loro volta scaldano meno il volume d'aria con cui sono a contatto.

L'intensità dell'UHI diminuisce per un edificio più alto

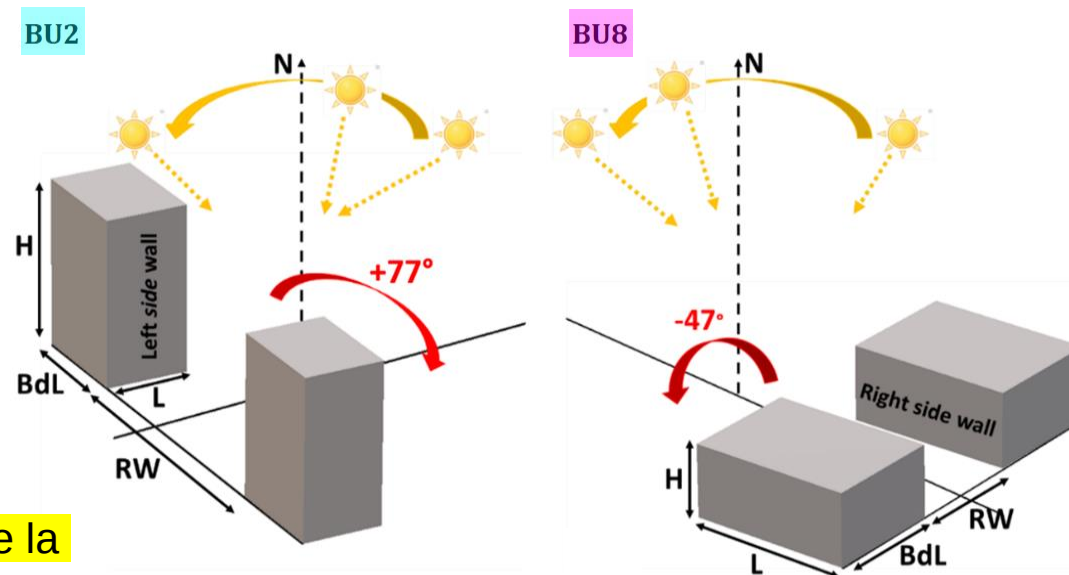


SIMULAZIONE DI UN CASO REALE MEDIANTE SISTEMA ACCOPPIATO CSUMM-3DUCM

Caso studio: Città di Roma

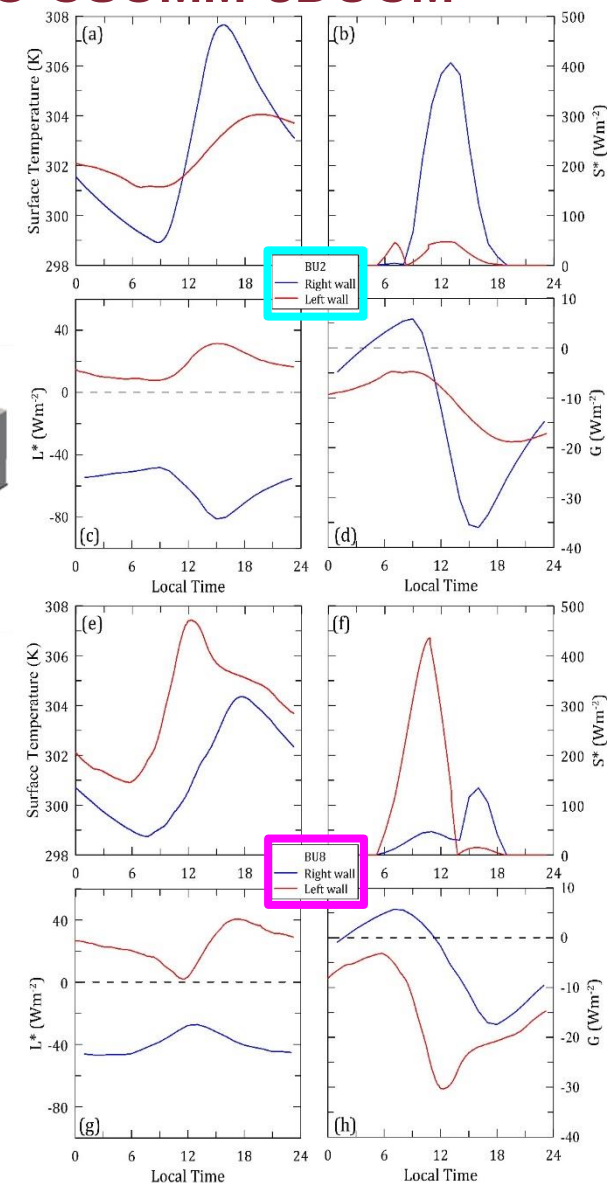
Confronto fra diverse Tipologie Edilizie

Il nuovo modello riesce a cogliere la diversa risposta termica di edifici/gruppi di edifici/quartieri presenti all'interno di Roma aventi diverse caratteristiche edilizie



LCZ	heat capacity			thermal conductivity			albedo			emissivity		
	Roof	Wall	Road	Roof	Wall	Road	Roof	Wall	Road	Roof	Wall	Road
2	1.8	2.0	1.5	1.25	1.45	0.62	0.2	0.2	0.15	0.9	0.9	0.95
5	1.8	2.0	1.5	1.25	1.45	0.62	0.2	0.2	0.15	0.9	0.9	0.95
6	1.44	2.05	1.47	1.0	1.25	0.6	0.2	0.2	0.15	0.9	0.9	0.95
8	1.8	1.8	1.8	1.25	1.25	0.8	0.2	0.2	0.15	0.9	0.9	0.95
9	1.44	2.56	1.37	1.0	1.0	0.55	0.2	0.2	0.15	0.9	0.9	0.95
10	1.8	1.8	1.8	1.25	1.25	0.8	0.2	0.2	0.15	0.9	0.9	0.95

	canyon angle (°N)	street length L (m)	building width BdL (m)	canyon height H (m)	road width RW (m)
BU2	+77	24	24	18	13
BU8	-47	35	26	5	3

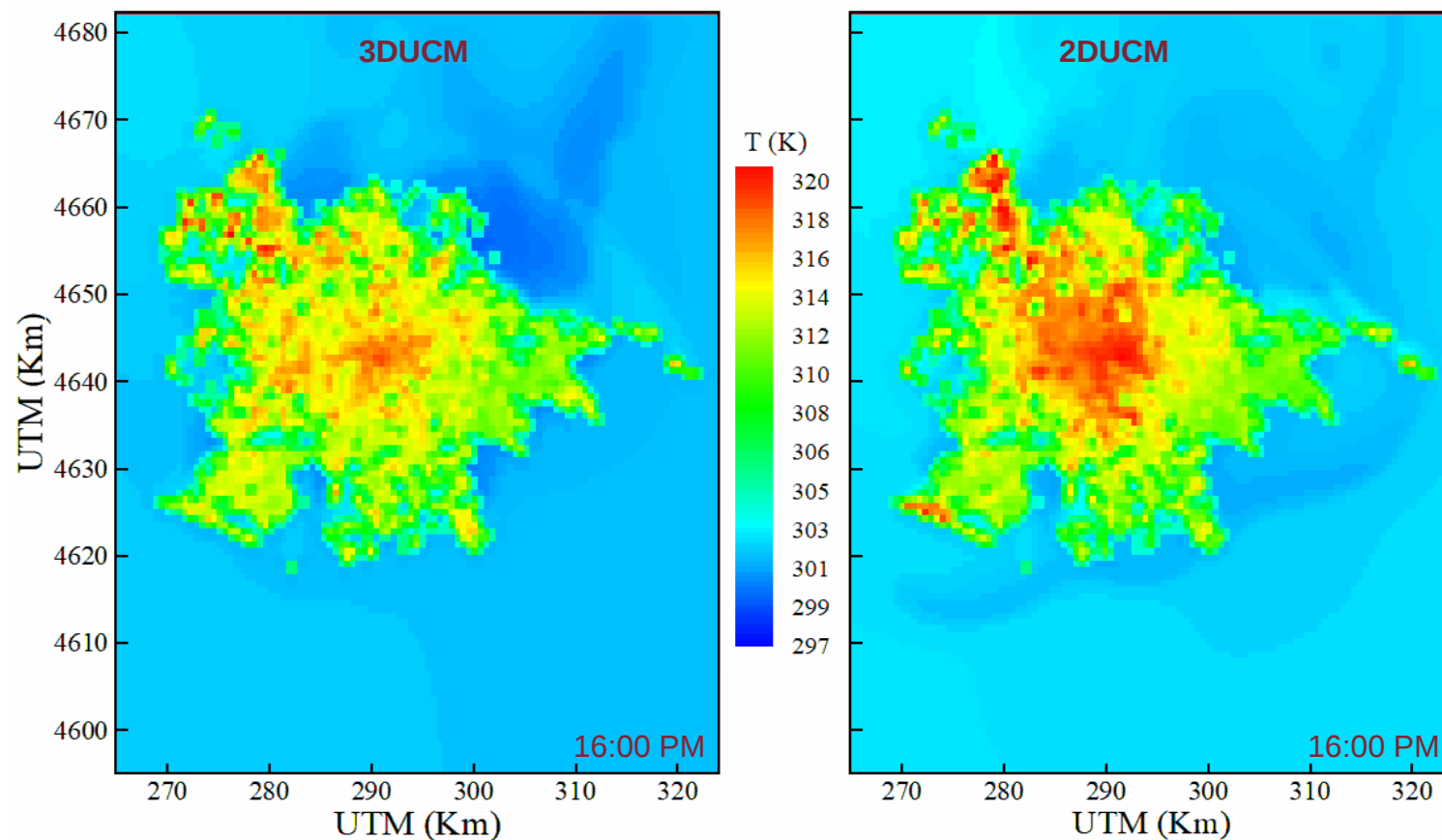


SIMULAZIONE DI UN CASO REALE MEDIANTE SISTEMA ACCOPPIATO CSUMM-3DUCM

Caso studio: Città di Roma

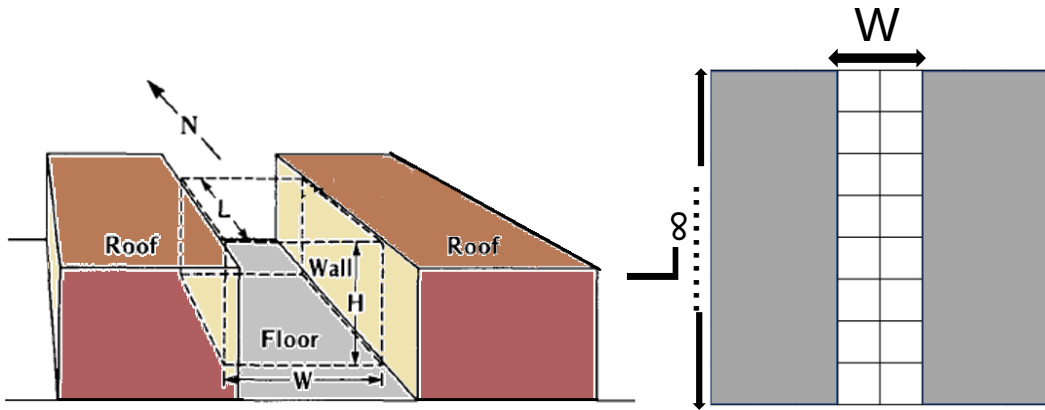
Confronto con il modello classico di canopia urbana bidimensionale (2DUCM)

Temperatura superficiale

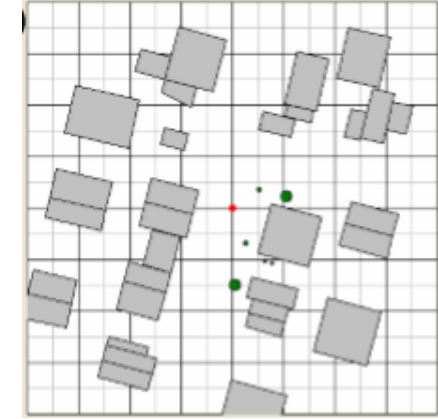
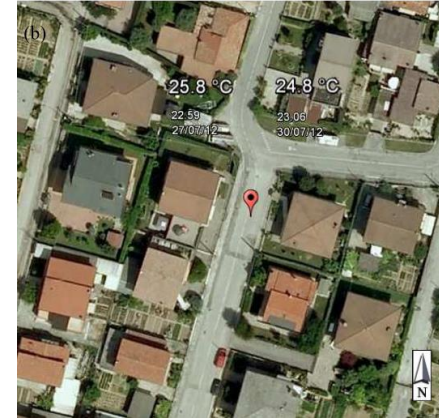


CONCLUSIONI

2D UCM



3D UCM



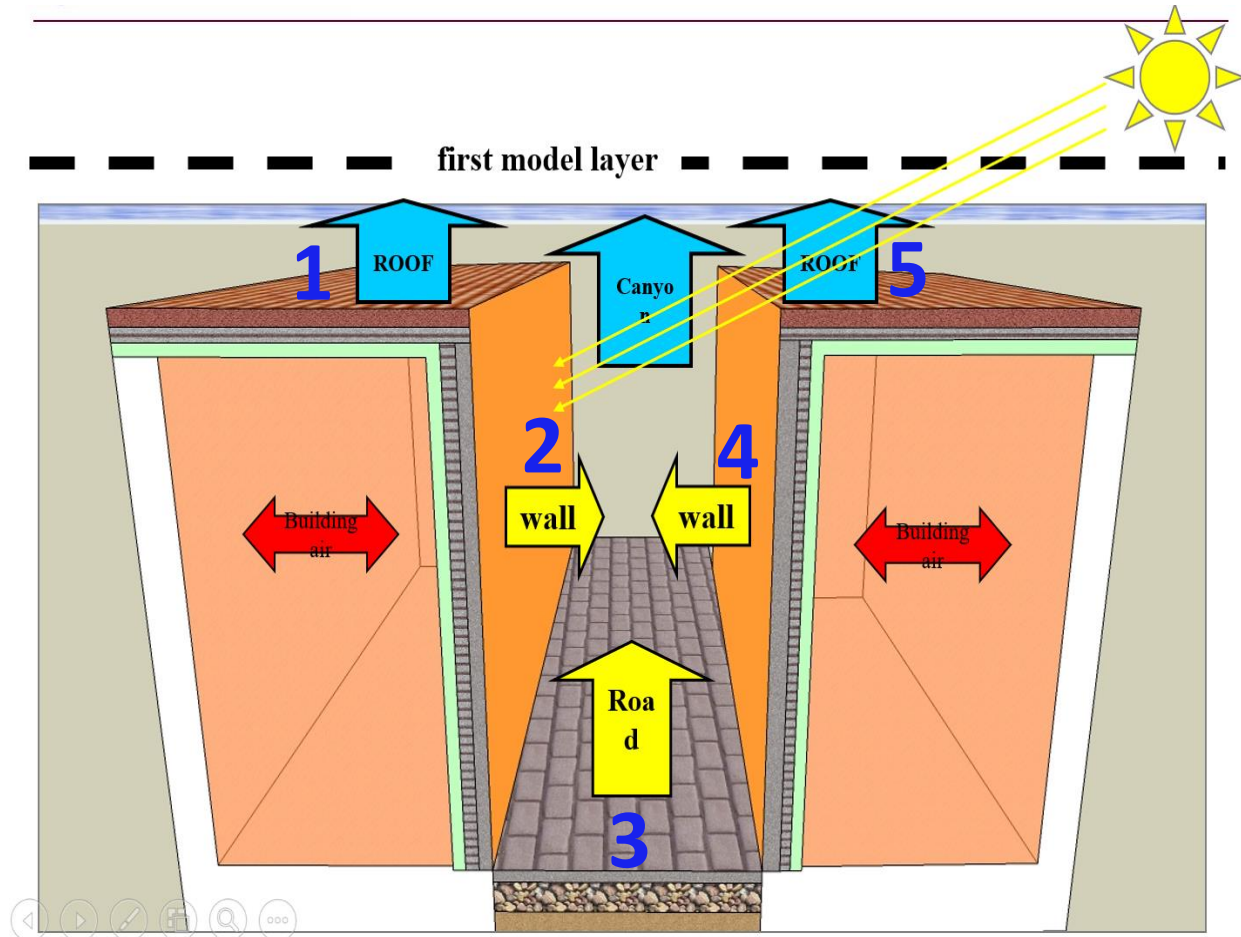
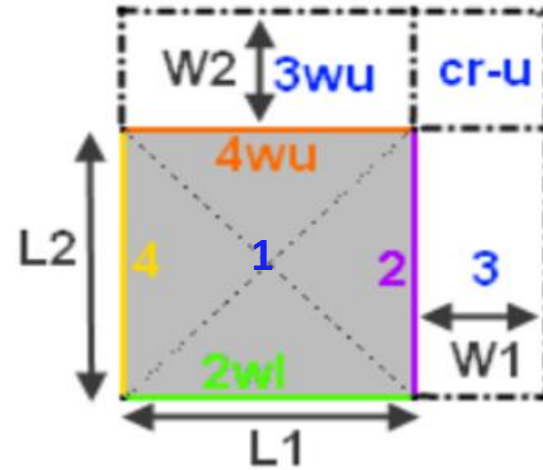
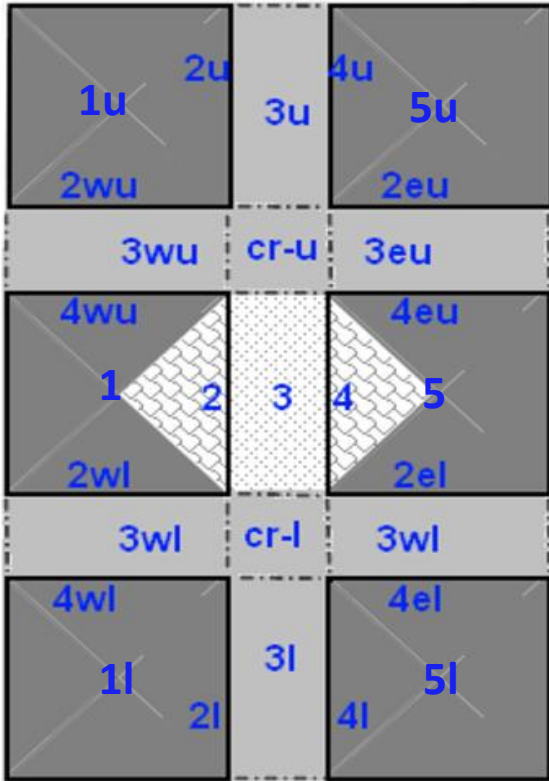
- Rappresentazione parziale dell'edificio
- Risposta termica omogenea per tutta la città

- Rappresentazione più realistica dell'edificio
- Eterogeneità della risposta termica in funzione delle diverse tipologie edilizie

3D UCM potenziale strumento di supporto per:

- **Human Confort Response Strategy** → l'approccio 3D permette di conoscere il campo fluidodinamico su scala di edificio → Strumento applicabile anche per la modellazione della dispersione degli inquinanti.
- **UHI Mitigation Strategy** → l'approccio 3D consente la simulazione della temperatura superficiale di tutti gli edifici presenti nel contesto oggetto di studio → Strumento più idoneo per valutare l'effetto della scelta dei materiali da costruzione e delle tipologie edilizie.

FORMULAZIONE ADOTTATA



Formulazione delle equazioni che descrivono gli **scambi di energia** fra canyon ed aria sovrastante per ogni singolo canyon presente sul dominio d'interesse

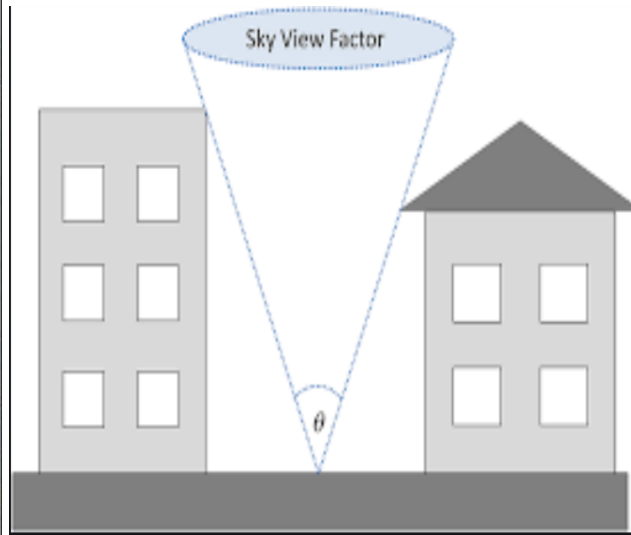
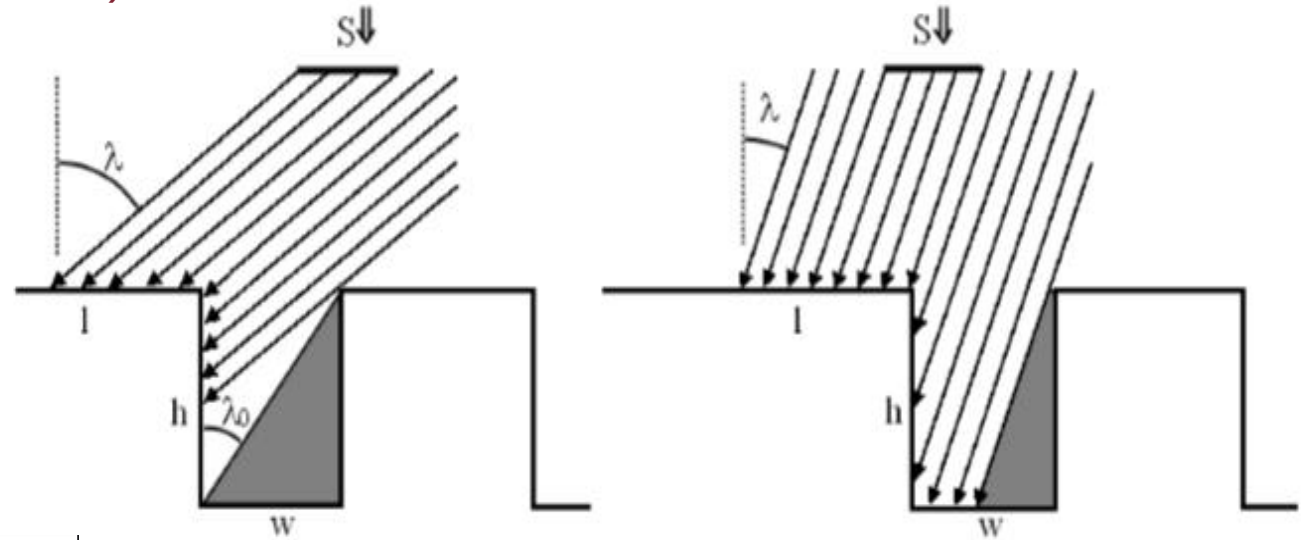
FORMULAZIONE ADOTTATA

RADIAZIONE SOLARE NETTA INCIDENTE (SHORTWAVE)

$$\dot{S} \downarrow_R = S \downarrow$$

$$S \downarrow_w (\theta) = \begin{cases} S \downarrow \tan \lambda |\sin \theta| & \lambda < \lambda_0 \\ S \downarrow \frac{w}{h} |\sin \theta| & \lambda \geq \lambda_0 \end{cases}$$

$$S \downarrow_r (\theta) = \begin{cases} S \downarrow (1 - \frac{h}{w |\sin \theta|} \tan \lambda) & \lambda < \lambda_0 \\ 0 & \lambda \geq \lambda_0 \end{cases}$$



$$S_{1,5}^* = (1 - \alpha_{1,5})(S_{1,5} \downarrow + S_{1,5} \downarrow)$$

$$S_2^* = (1 - \alpha_2)(S_2 \downarrow + S_2 \downarrow) + (1 - \alpha_2)(1 - 2\psi_2)M_4 + (1 - \alpha_2)\psi_2 M_3$$

$$S_3^* = (1 - \alpha_3)(S_3 \downarrow + S_3 \downarrow) + (1 - \alpha_3)(1 - \psi_3)(M_4 + M_3)0.5$$

$$S_4^* = (1 - \alpha_4)(S_4 \downarrow + S_4 \downarrow) + (1 - \alpha_4)(1 - 2\psi_4)M_2 + (1 - \alpha_4)\psi_4 M_3$$

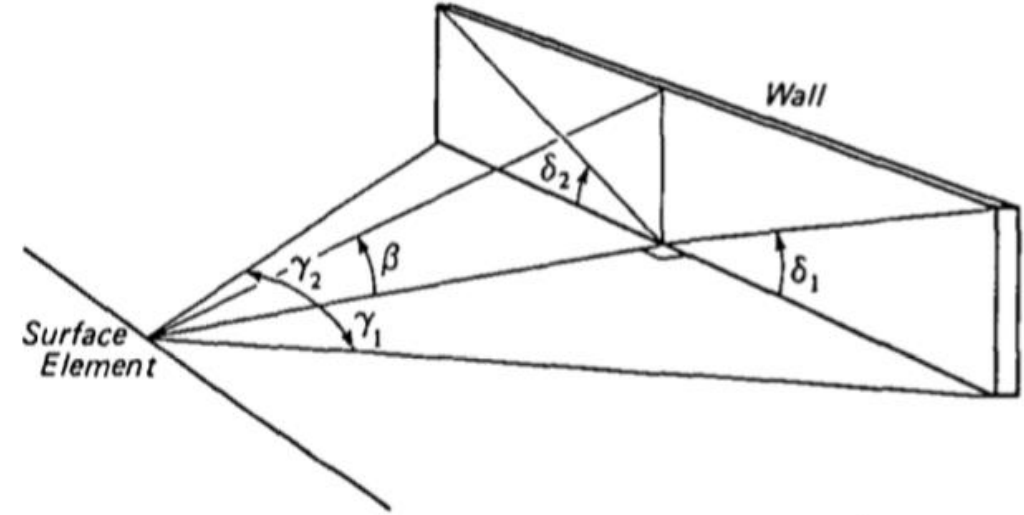
FORMULAZIONE ADOTTATA

RADIAZIONE INFRAROSSA (LONGWAVE)

$$L_2^* = \psi_{3,2}\epsilon_2\epsilon_3\sigma T_3^4 + (\psi_{2,4})\epsilon_2\epsilon_4\sigma T_4^4 + (\psi_{2,4})\epsilon_4\epsilon_2\sigma T_2^4 + \psi_2\epsilon_2L \downarrow - \epsilon_2\sigma T_2^4 \\ + \epsilon_2\sigma\psi_{3,2}(1 - \epsilon_3)(2\psi_{3,2})0.5(\epsilon_2T_2^4 + \epsilon_4T_4^4) \\ + \epsilon_2\sigma(2\psi_{2,4})(1 - \epsilon_4)(2(\psi_{4,2})\epsilon_2T_2^4 + \psi_{4,3}\epsilon_3T_3^4) \\ + \epsilon_2L \downarrow (\psi_3\psi_{2,3}(1 - \epsilon_3) + \psi_4(2\psi_{2,4})(1 - \epsilon_4)) + L_2^{cr}$$

$$L_3^* = (\psi_{3,2})\epsilon_3\sigma(\epsilon_2T_2^4) + (\psi_{3,2})\epsilon_3\sigma(\epsilon_4T_4^4) + \psi_3\epsilon_3L \downarrow - \epsilon_3\sigma T_3^4 \\ + \epsilon_3\sigma(2\psi_{3,2})(1 - \epsilon_2)0.5(\psi_{3,2}\epsilon_3T_3^4 + (\psi_{2,4})\epsilon_4T_4^4) \\ + \epsilon_3\sigma(2\psi_{3,2})(1 - \epsilon_4)0.5(\psi_{4,3}\epsilon_3T_3^4 + (\psi_{4,2})\epsilon_2T_2^4) \\ + \epsilon_3(2\psi_{3,2})L \downarrow 0.5(\psi_2(1 - \epsilon_2) + \psi_4(1 - \epsilon_4)) + L_3^{cr}$$

$$L_4^* = \psi_{4,3}\epsilon_4\epsilon_3\sigma T_3^4 + (\psi_{4,2})\epsilon_2\epsilon_4\sigma T_2^4 + (\psi_{2,4})\epsilon_2\epsilon_4\sigma T_4^4 + \psi_4\epsilon_4L \downarrow - \epsilon_4\sigma T_4^4 \\ + \epsilon_4\sigma\psi_{4,3}(1 - \epsilon_3)(2\psi_{3,2})0.5(\epsilon_2T_2^4 + \epsilon_4T_4^4) \\ + \epsilon_4\sigma(2\psi_{4,2})(1 - \epsilon_2)(2(\psi_{2,4})\epsilon_4T_4^4 + \psi_{2,3}\epsilon_3T_3^4) \\ + \epsilon_4L \downarrow (\psi_3\psi_{4,3}(1 - \epsilon_3) + \psi_2(2\psi_{4,2})(1 - \epsilon_2)) + L_4^{cr}$$



Sky View Factor

$$\psi_r = [(h/w)^2 + 1]^{1/2} - h/w$$

$$\psi_w = \frac{1}{2} \{ h/w + 1 - [(h/w)^2 + 1]^{1/2} \} / (h/w)$$

$$\psi_R = 1$$

FORMULAZIONE ADOTTATA

Profili di velocità sopra la quota dei tetti

Legge di **Kastner-Klein-Rotach** in condizioni neutre

$$u_{RS}(z) = \frac{u_*}{k} f^E \left(\frac{z - d_0}{z_0} \right)$$

Legge di **Dyer-De Ridder** in condizioni stabili e instabili

$$u(z) = \frac{u_*}{k} [\ln(z/z_{0m}) - \Psi_M(z/L) - \Psi_M(z_{0m}/L) + \Psi_M^*(z/L, z/z_{*m})]$$

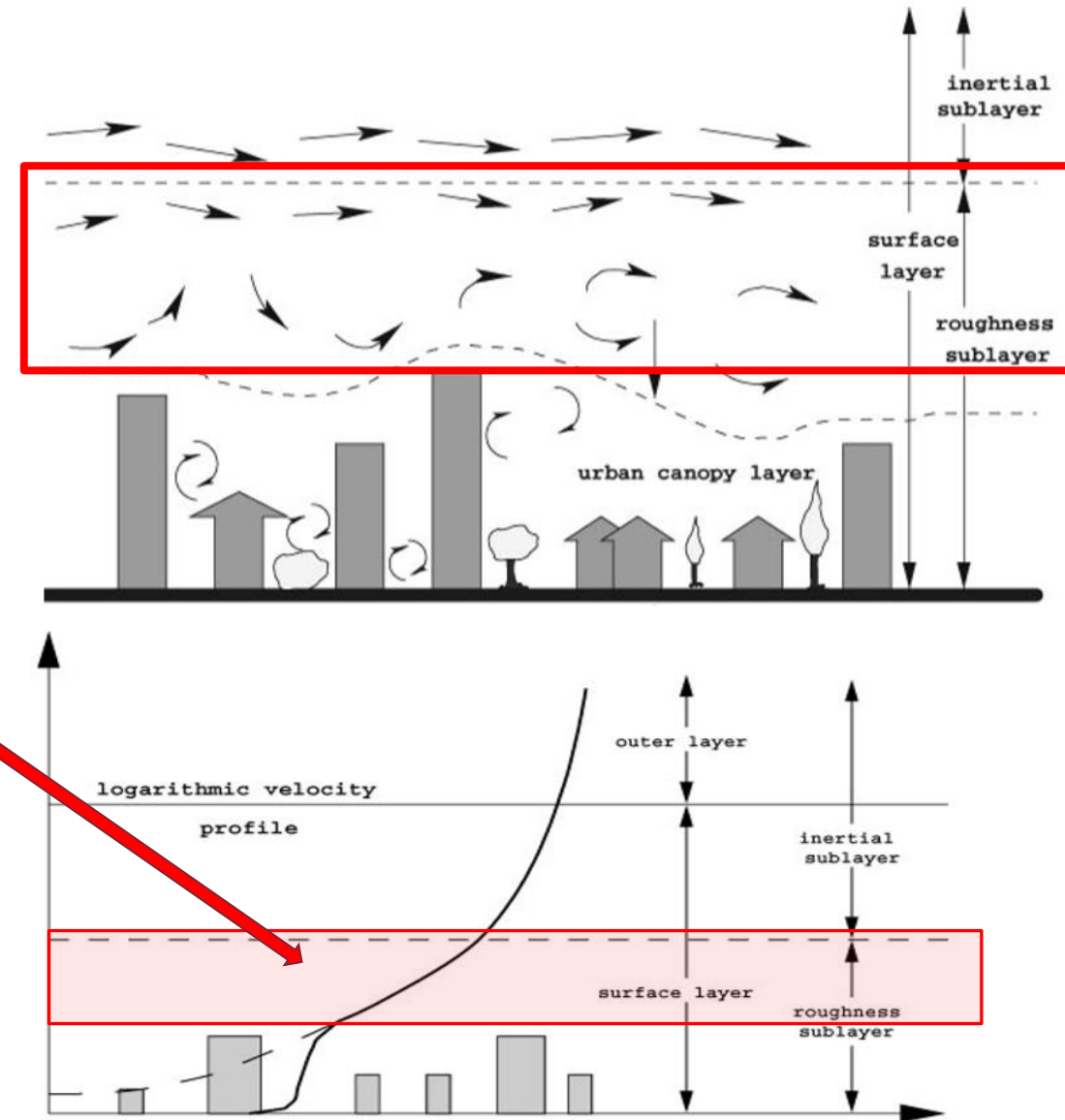
Legge **Logaritmica** della velocità

$$u_* = \frac{k u_{ref}}{\ln\left(\frac{z_{ref} - d_0}{z_0}\right)}$$

Dove: $z_0 \approx \bar{H} 0.072 \lambda_p [\exp\{-2.2(\lambda_p - 1)\} - 1]$ Roughness lenght

$d_0 \approx \bar{H} 0.4 \lambda_p \exp\{-2.2(\lambda_p - 1)\} + 0.6 \lambda_p$ Displacement height

Con: $\lambda_p = \frac{A_p}{A_T}$ Rapporto area edificata su area totale



FORMULAZIONE ADOTTATA

Profili di velocità all'interno del canyon

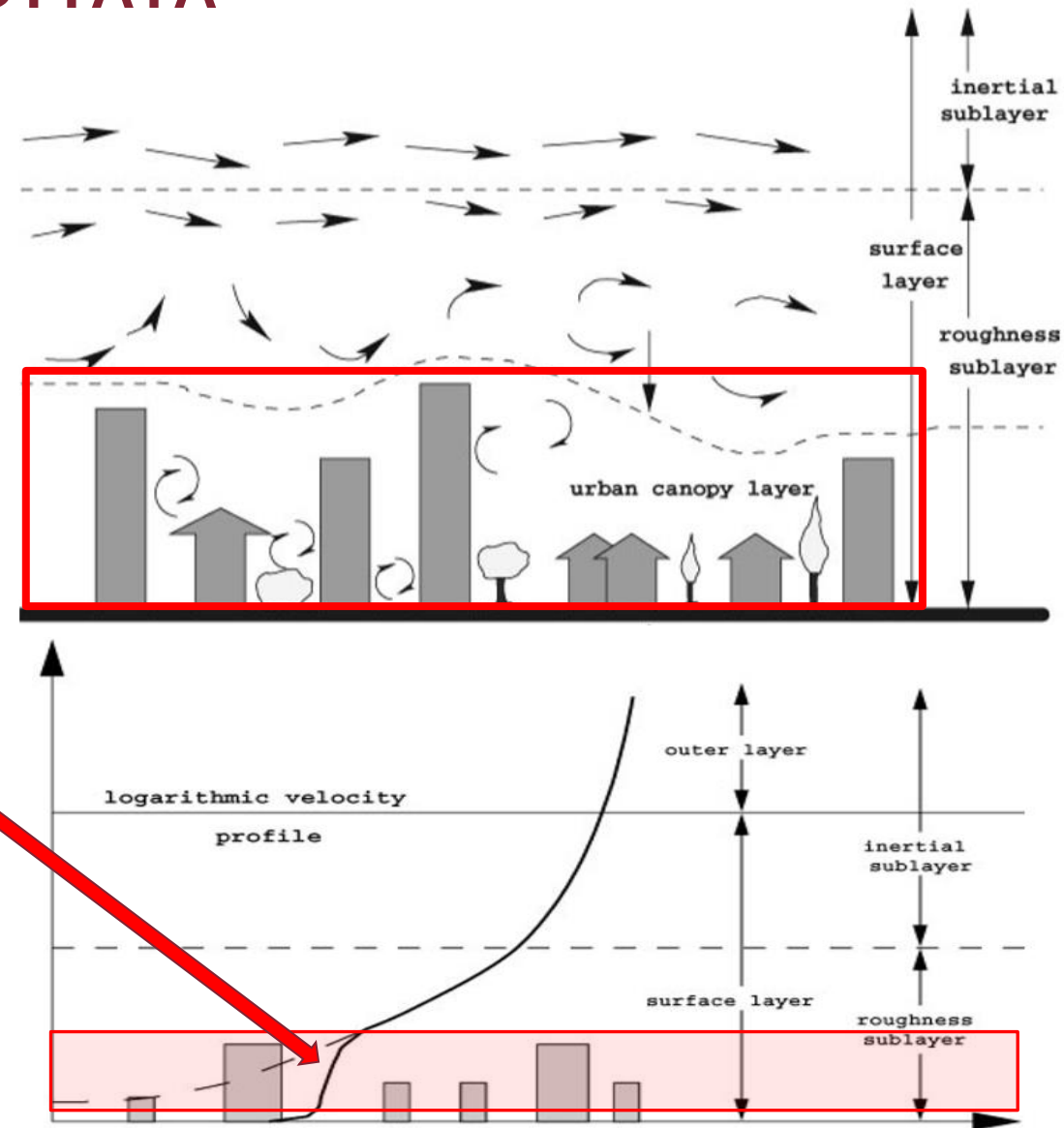
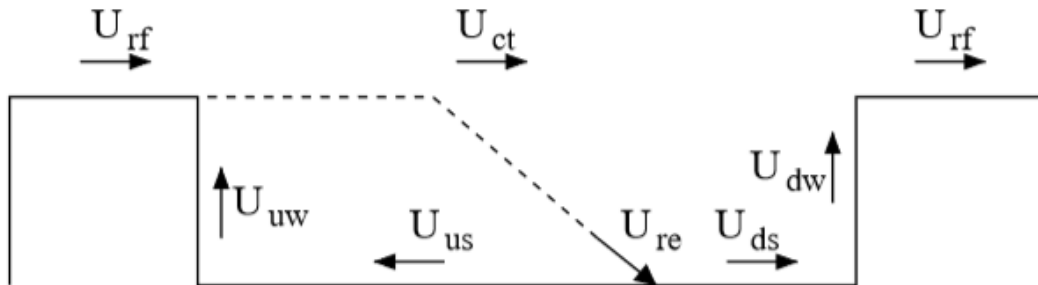
Legge di **Soulhac** per la componente parallela all'asse del canyon:

$$u_{//} = u_{ctp} \frac{\delta_i^2}{HW} \left[\frac{2\sqrt{2}}{C} (1 - \beta) \left(1 - \frac{\pi}{2} H_1(C) \right) + \beta \frac{2\alpha - 3}{\alpha} + \left(\frac{W}{\delta_i} - 2 \right) \frac{\alpha - 1}{\alpha} \right]$$

Legge di **Harman** per la componente perpendicolare all'asse del canyon:

$$u_{re} = u_{ctp} * e^{-\alpha_1 \frac{L_{se}}{H}}$$

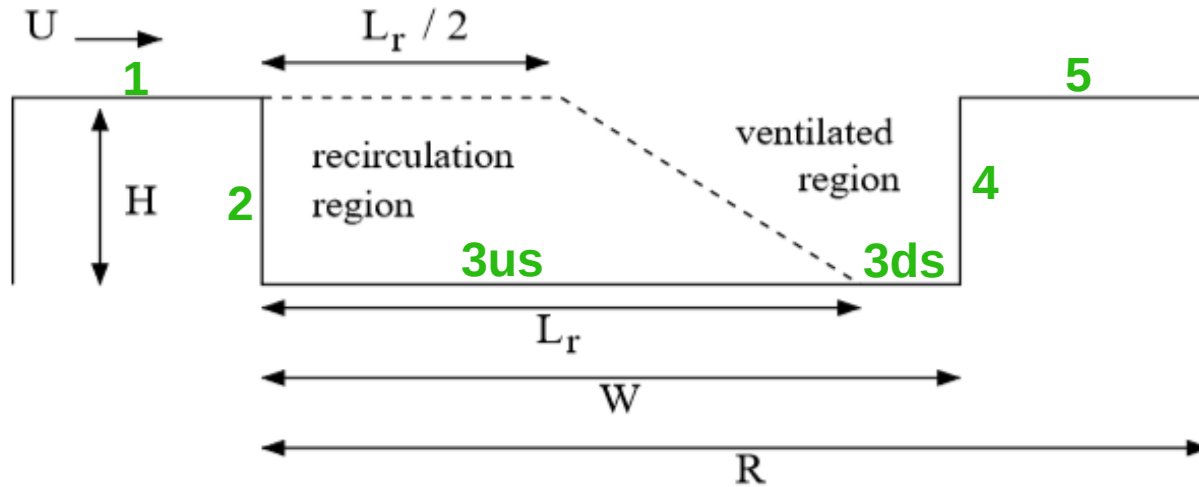
$$u_i(x) = \frac{u_{re}}{b} \int_a^{a+b} \exp(-\alpha_2 x / H) dx$$



FORMULAZIONE ADOTTATA

Calcolo delle resistenze aerodinamiche al trasporto dello scalare X

----- Primo livello modello meteo



Legge di **Harman** per le resistenze

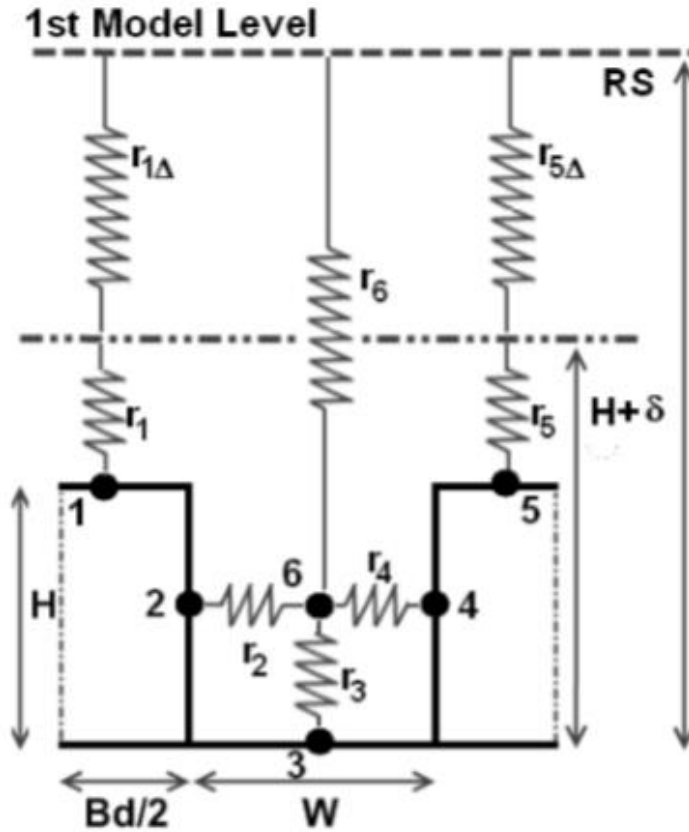
$$r_i = \ln\left(\frac{0.1H}{z_{0m_i}}\right) \ln\left(\frac{0.1H}{z_{0X_i}}\right) \left(k^2 \sqrt{u_i^2 + u_{//}^2}\right)^{-1} \quad i = 2, 3, 3us, 3ds, 4,$$

$$r_i = \left[\ln\left(\frac{0.1\delta_i}{z_{0m_i}}\right) + \Psi_M(\xi, \xi_0) \right] \left[\ln\left(\frac{0.1\delta_i}{z_{0X_i}}\right) + \Psi_X(\xi, \xi_0) \right] \left(k^2 u (H - d_0 + \delta_i)\right)^{-1} \quad i = 1, 5,$$

FORMULAZIONE ADOTTATA

Calcolo del flusso dello scalare X per due diverse configurazioni del canyon

1. $W < Lr/2$



$$F_{roofs} = \sum_{i=1,5} (Bd_i/2) \frac{1}{r_{i\Delta}} (X_{i\delta} - X_{RS})$$

Con:
$$r_{i\Delta} = \frac{u_{RS} - u(H + \delta_i)}{u_{*RS}^2}$$

$$F_{can} = \frac{W}{r_6} (X_6 - X_{RS})$$

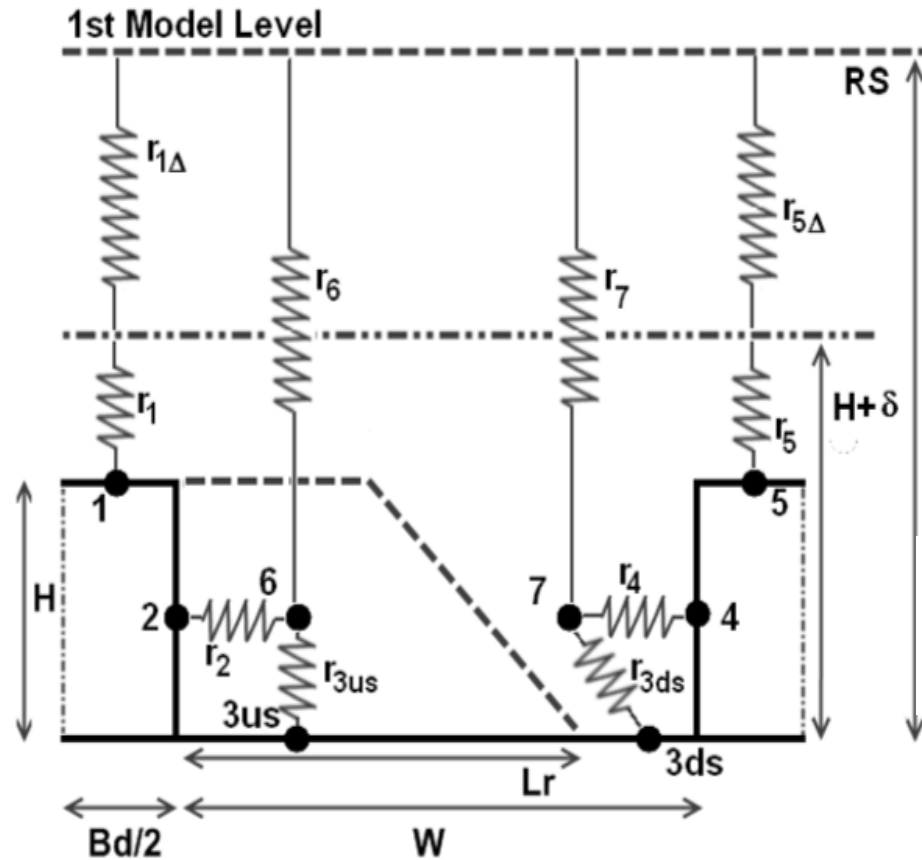
Con:
$$X_6 = \left(\frac{H}{r_2} X_2 + \frac{W}{r_3} X_3 + \frac{H}{r_4} X_4 + \frac{W}{r_6} X_{RS} \right) \left(\frac{W}{r_6} + \frac{H}{r_2} + \frac{W}{r_3} + \frac{H}{r_4} + \right)^{-1}$$

Dove:
$$r_j = \frac{u_{RS} - \sqrt{u_j^2 + u_{//}^2}}{u_*^2} \quad j = 6$$

FORMULAZIONE ADOTTATA

Calcolo del flusso dello scalare X per due diverse configurazioni del canyon

1. $W > L_r$



$$F_{roofs} = \sum_{i=1,5} (Bd_i/2) \frac{1}{r_{i\Delta}} (X_{i\delta} - X_{RS})$$

Con: $r_{i\Delta} = \frac{u_{RS} - u(H + \delta_i)}{u_{*RS}^2}$

$$F_{can} = \frac{L_r}{2 r_6} (X_6 - X_{RS}) + \left(W - \frac{L_r}{2} \right) \frac{1}{r_7} (X_7 - X_{RS}) \quad \text{Dove:}$$

$$X_6 = \left(\frac{H}{r_2} X_2 + \frac{L_r}{r_{3us}} X_{3us} + \frac{L_r}{2 r_6} X_{RS} \right) \left(\frac{L_r}{2 r_6} + \frac{H}{r_2} + \frac{L_r}{r_{3us}} \right)^{-1}$$

$$X_7 = \left(\frac{H}{r_4} X_4 + \frac{W - L_r}{r_{3ds}} X_{3ds} + \frac{W - L_r/2}{r_7} X_{RS} \right) \left(\frac{W - L_r/2}{r_7} + \frac{H}{r_4} + \frac{W - L_r}{r_{3ds}} \right)^{-1}$$

Con: $r_j = \frac{u_{RS} - \sqrt{u_j^2 + u_{//}^2}}{u_*^2} \quad j = 6, 7$

FORMULAZIONE ADOTTATA

Attraverso la Formulazione **Bulk**:

FLUSSO DI CALORE SENSIBILE (H)

$$FH_i = \frac{T_i - T_{za}}{r_i} \quad i = 1, 2, 3, 4, 5$$

FLUSSO DI CALORE LATENTE (Le)

$$FLe_i = \frac{q_i - q_{za}}{r_i} \quad i = 1, 2, 3, 4, 5$$

Con **T_{za}** e **q_{za}** temperatura e umidità simulate alla prima quota del modello meteo

