

# Valutazione delle condizioni di comfort nella progettazione/riqualificazione di ambienti urbani

## A: ESIGENZE

Benessere termico negli spazi esterni

$14 < PET < 26$   
 $-1 < PMV < 1$

## B: REQUISITI

Controllo radiazione solare e termica

Vento

## C: STRATEGIE

### ESTATE:

- Riduzione radiazione solare e termica
- Incentivazione scambi convettivi

### INVERNO:

- Incentivare gli scambi radiativi solari e termici
- Ridurre gli scambi convettivi



## C1: ELEMENTI

- Limiti
- Vegetazione
- Protezione solare
- Protezione dal vento
- Acqua
- Sistemi speciali

## C2: CARATTERISTICHE

- 1- MORFOLOGICHE
- 2- DEGLI ELEMENTI:
  - Albedo
  - Emissività
  - Conducibilità
  - Capacità termica



# FORMAZIONE DEL CLIMA URBANO IN TERMINI DI TEMPERATURA UMIDITÀ VENTILAZIONE

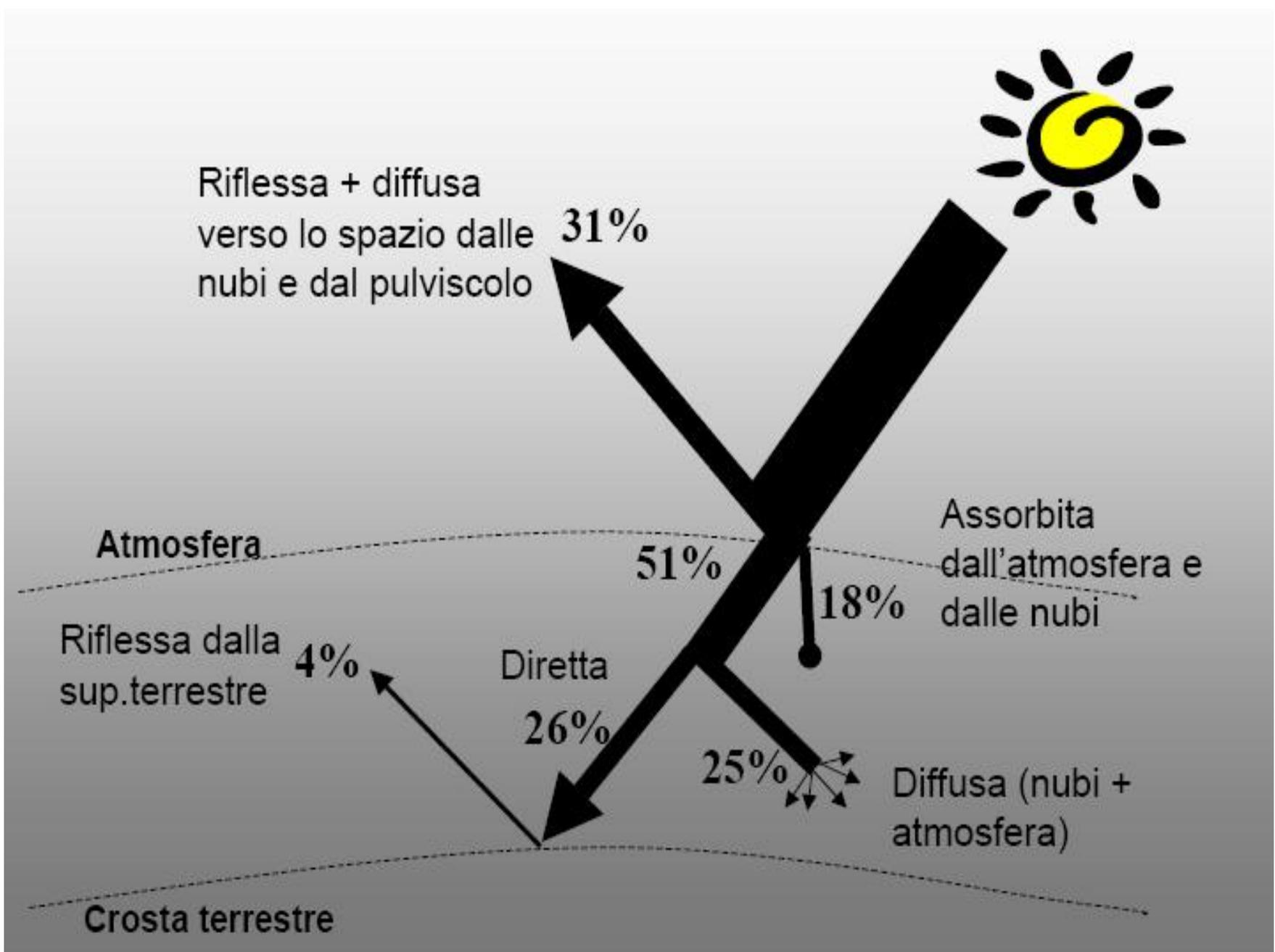
Gli scambi energetici sono regolati e variano al variare di specifiche condizioni:

- la tessitura urbanistica : forme e distanze dei fabbricati,
- gli aspetti ambientali: morfologia verde orientamento,
- materiali superficiali : pavimentazioni, intonaci, finiture
- materiali costitutivi : murature e orizzontamenti

Vi sono inoltre alcuni condizionamenti derivanti dall'uso antropico del territorio (destinazioni d'uso, traffico, impianti tecnologici)

**Lo scarso controllo di questi fattori può contribuire a sviluppare anche fenomeni estremi quali l'isola di calore.**

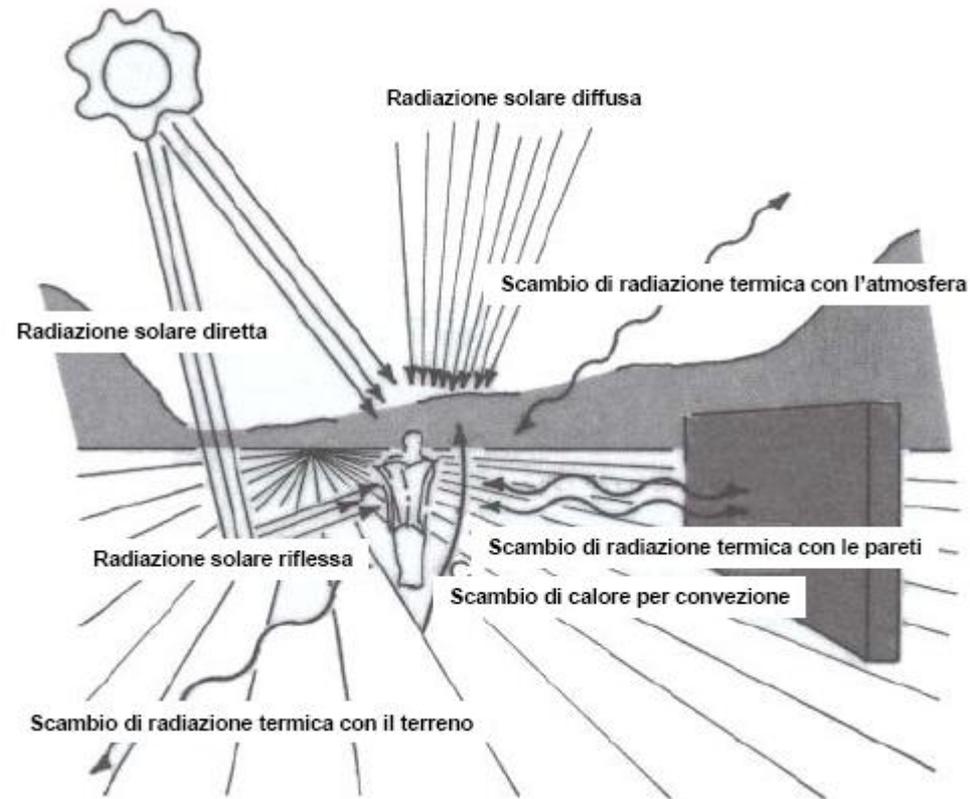




**Parliamo di paesaggio radiante, ma in realtà questa definizione di paesaggio non esiste**

**Esistono tuttavia fenomeni legati alla radiazione solare e terrestre che interagiscono con gli spazi fisici modificando il comportamento termico di uno spazio urbano. Questi fenomeni sono in parte controllabili e verificabili.**

## Paesaggio radiante



Al di sopra della città, lo strato d'aria entro il quale si può considerare vi sia un'influenza da parte della superficie urbana sul flusso e sulle caratteristiche dell'atmosfera, è definito come

“**boundary layer**” (strato limite urbano): cupola che può risultare deformata nel senso delle correnti aeree (spingendosi sottovento verso la campagna). Limite che delinea la mancata presenza dell'inversione termica al suolo.

All'interno del boundary layer a partire dal suolo si ha lo **urban canopy layer** che delimita la “volta urbana”

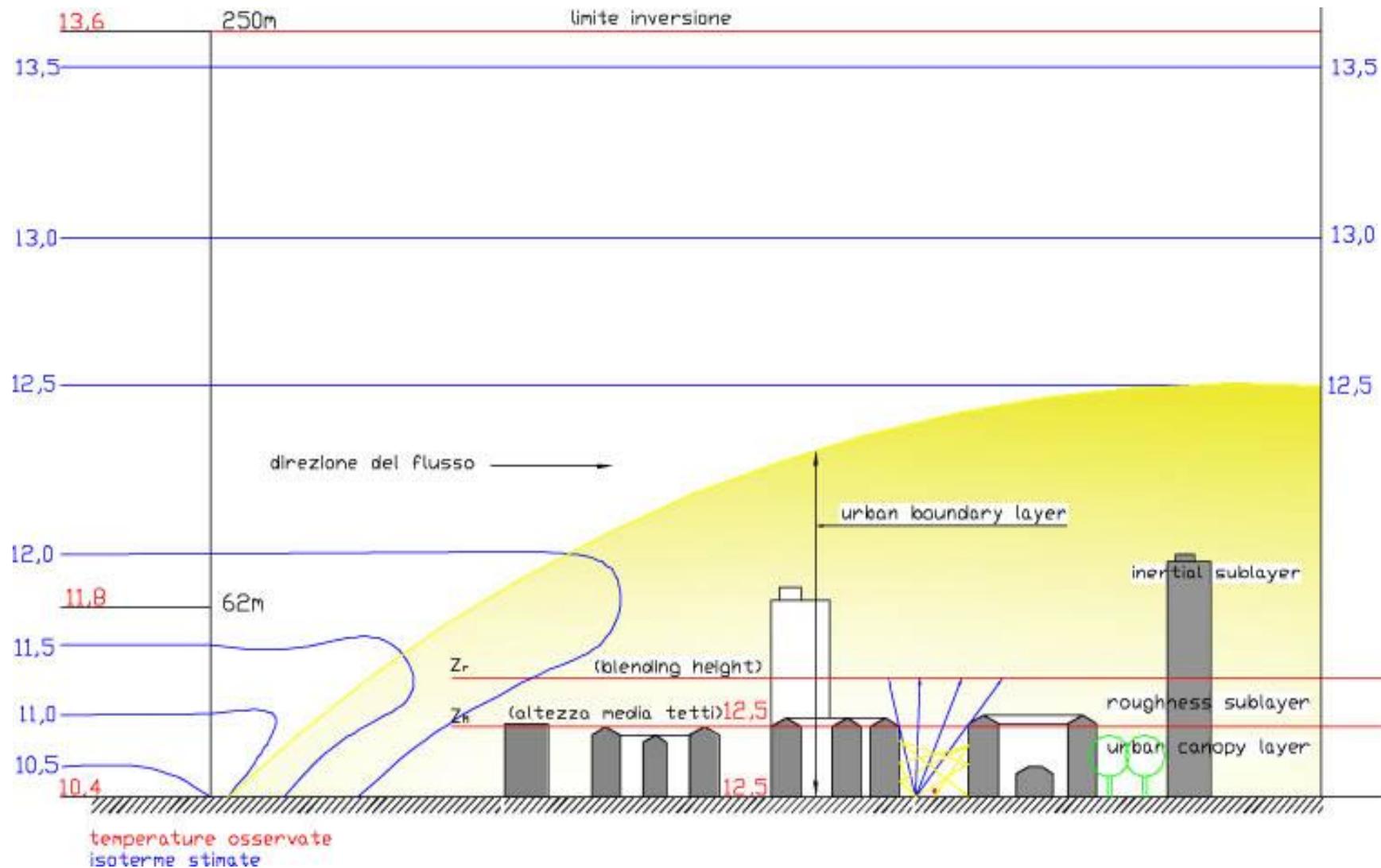
Il “**canopy layer**” è quello che rimane al di sotto, ed è caratterizzato dalla “rugosità” (alternanza di spazi - le strade e le piazze - e di ostacoli - le costruzioni -: è uno strato analogo a quello che si crea sotto gli alberi di una foresta).

Al livello dei tetti, si hanno delle condizioni ibride, tra i microclimi indotti dalle caratteristiche dei tetti stessi, e l'influenza del “canopy layer”

Quota dove mix di questi “microclimi” è completato: “**roughness sublayer**” con spessore variabile, che dipende dalla “rugosità”

il limite del “roughness sublayer” in caso di urbanizzazione compatta è stimabile in una volta e mezza il “canopy layer”, ma può arrivare a quattro volte il “canopy” in aree molto irregolari e aperte.

Lo strato superiore del “boundary layer” è denominato “**inertial sublayer**”.

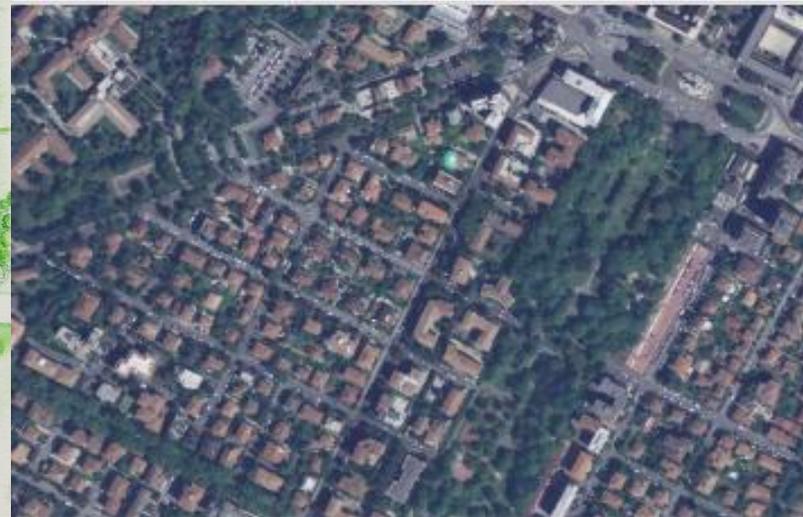


*Sezione-tipo dell'aria intorno all'alba, al confine con il tessuto urbano*

## Gli elementi che modificano il microclima

---

- Morfologia
- Materiali
- Sistemi di ombreggiamento
- Vegetazione
- Acqua



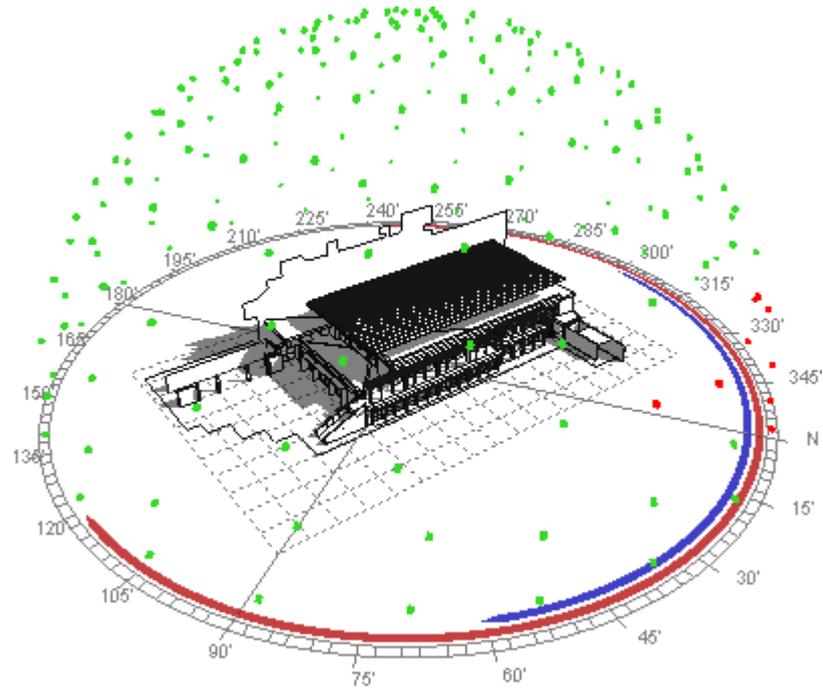
# Gli elementi che modificano il campo radiante: la morfologia

L'apertura al cielo è il rapporto medio tra il perimetro del costruito e quello del non costruito. La disposizione delle superfici caratterizza l'apertura di uno spazio urbano alla volta celeste.

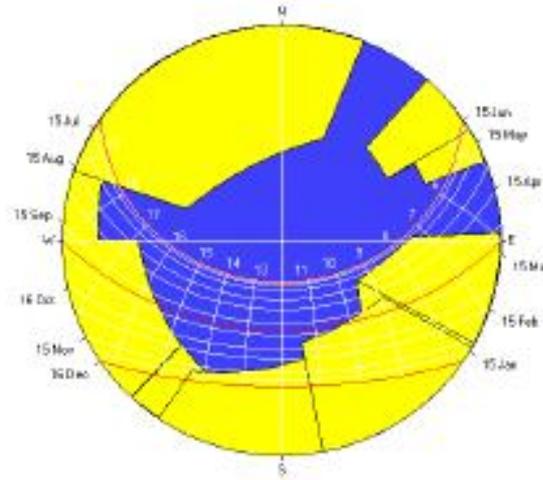
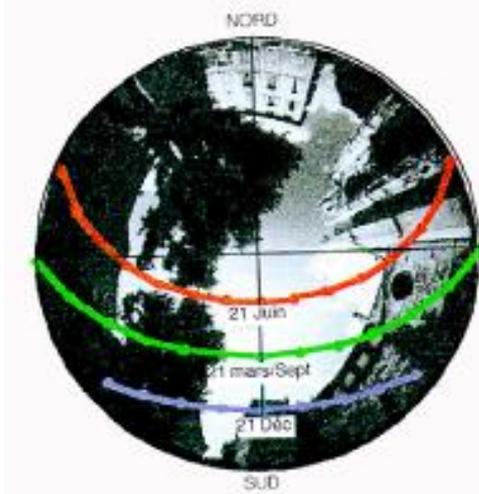
Il fattore di vista del cielo (Sky View Factor – SVF) consiste nella misurazione tridimensionale dell'angolo solido della vista del cielo da uno punto dello spazio urbano. Esso determina lo scambio di calore radiante tra la città e la volta celeste.

Se l'SVF è pari a 1, significa che la vista del cielo è totale (come avviene per le superfici collocate in ampi spazi aperti o per le coperture degli edifici più alti) e le temperature ambientali sono principalmente legate alle condizioni climatiche e meteorologiche.

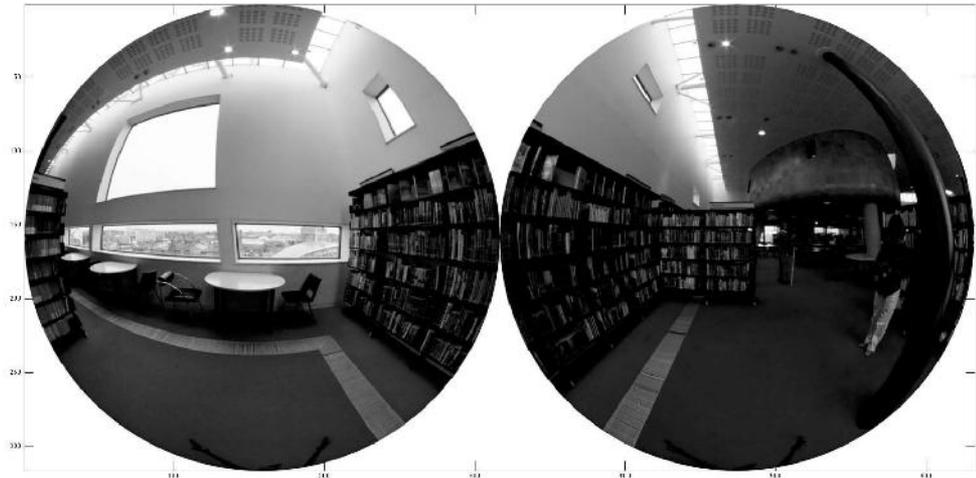
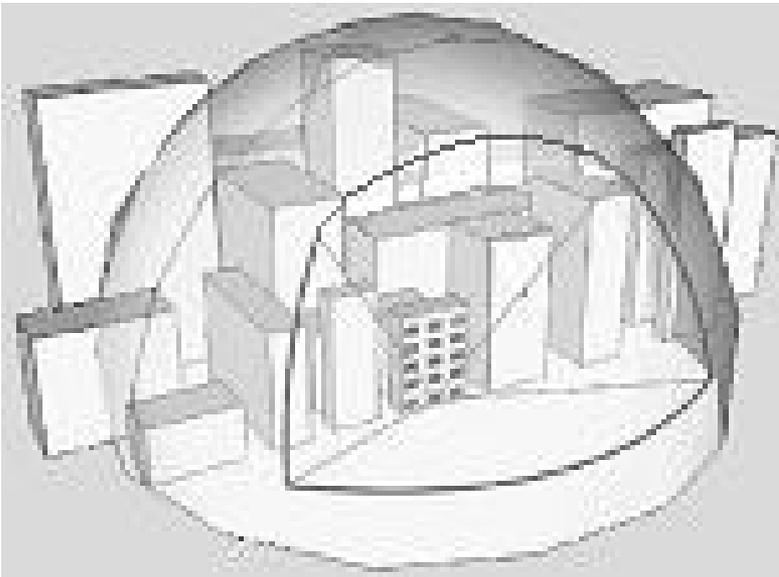
Questo scambio con il cielo **incide sulla quantità di energia** solare assorbita e riemessa, sulle condizioni di luminosità, anche all'interno degli edifici, e sul dissolvimento delle particelle inquinanti nel *canopy layer*, lo strato fino all'altezza dei tetti.



# Strumenti per calcolare l'apertura al cielo, lo *sky view factor*



- A sinistra: **fotografia fisheye**
- Al centro: attraverso l'uso di programmi (in questo caso **TownScope**) attraverso il quale si rappresenta lo spazio urbano in una vista stereografica e si calcola la percentuale di cielo visibile
- A Destra: I **DEM** (Digital Elevation Model), programma sviluppato dall'Università di Cambridge



## Gli elementi che modificano il campo radiante: la morfologia

### **Continuità della facciata**

È la misura della continuità delle facciate degli edifici. A livello percettivo questo aspetto aiuta a dare un senso di chiusura e definizione dello spazio urbano

Fornisce indicazioni riguardo lo scambio radiante con il costruito (parterre e facciate) può essere considerato come parametro complementare all'apertura verso il cielo



## Isola di calore urbana



### **Cambiamento del paesaggio:**

- Strade ed edifici
- Automobili
- Impermeabilizzazione delle superfici
- Impianti

### **Fenomeno di innalzamento della temperatura:**

- +1-3°C rispetto alle zone rurali (di giorno)
- +7-12°C rispetto alle zone rurali (di notte)

## Isola di calore urbana

L'isola di calore urbana (UHI) descrive l'eccesso di calore dell'atmosfera urbana e delle superfici urbane rispetto alle zone non urbanizzate e/o rurali. In generale,

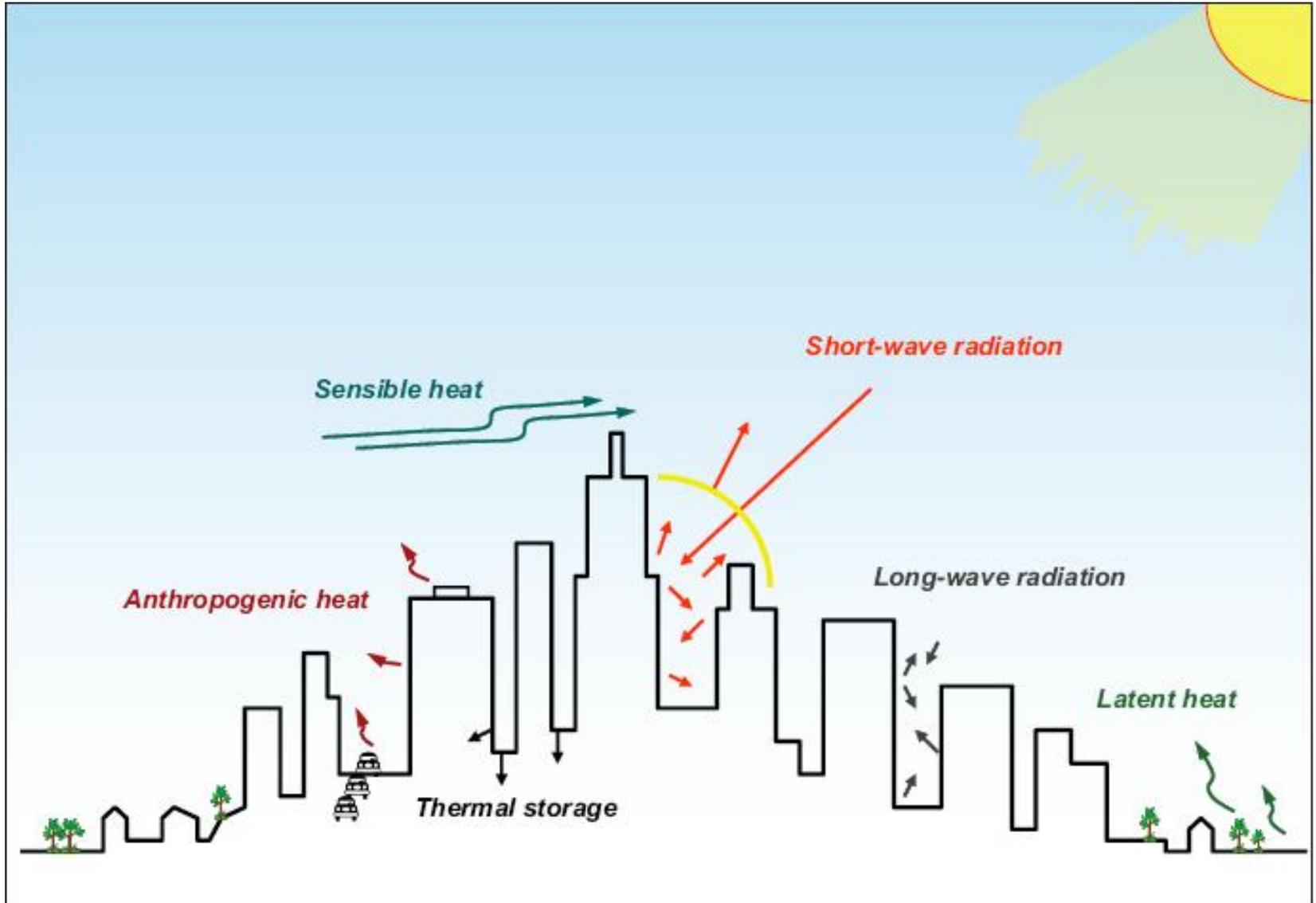
tre tipi di isole di calore sono riconosciuti

- the canopy layer heat island
- the boundary layer heat island
- the surface urban heat island.

### **Sviluppo della UHI va attribuito a un numero di diversi fattori determinanti**

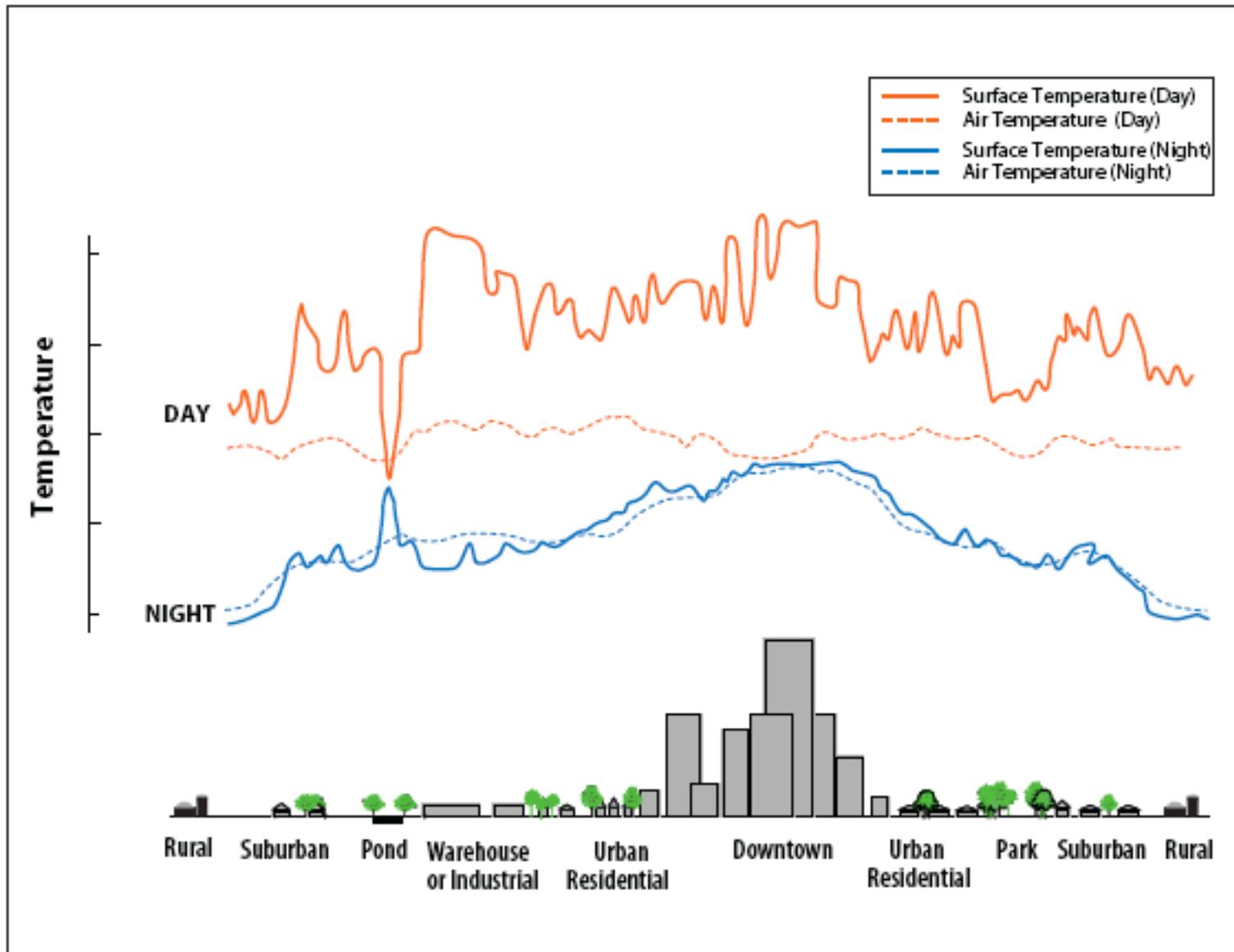
- uso di differenti materiali di costruzione, rivestimento e aree verdi;
- materiali ad alta capacità termica e bassa riflettività solare (asfalto e calcestruzzo);
- ridotto scambio termico convettivo;
- ridotte turbolenze locali dovute ai venti;
- scambi termici radiativi dovuti a geometria strade e canyon;
- ridotti scambi termici latenti e di evapo-traspirazione evaporazione;
- sostituzione di superfici umide (verde e/o acqua) con superfici secche;
- aumento emissione termica antropogenica.

**Isola di calore urbana**  
**Studio a meso-scala: aree urbanizzate e loro intorno**  
**Studio a scala urbana: edificio e suo intorno**

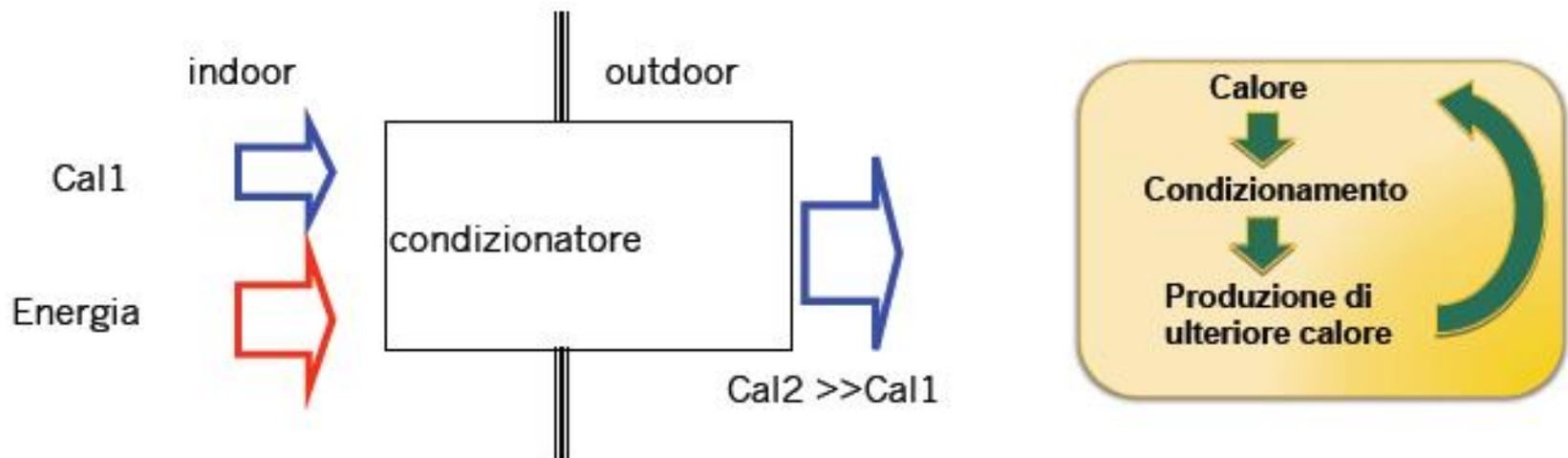


# Isola di calore urbana

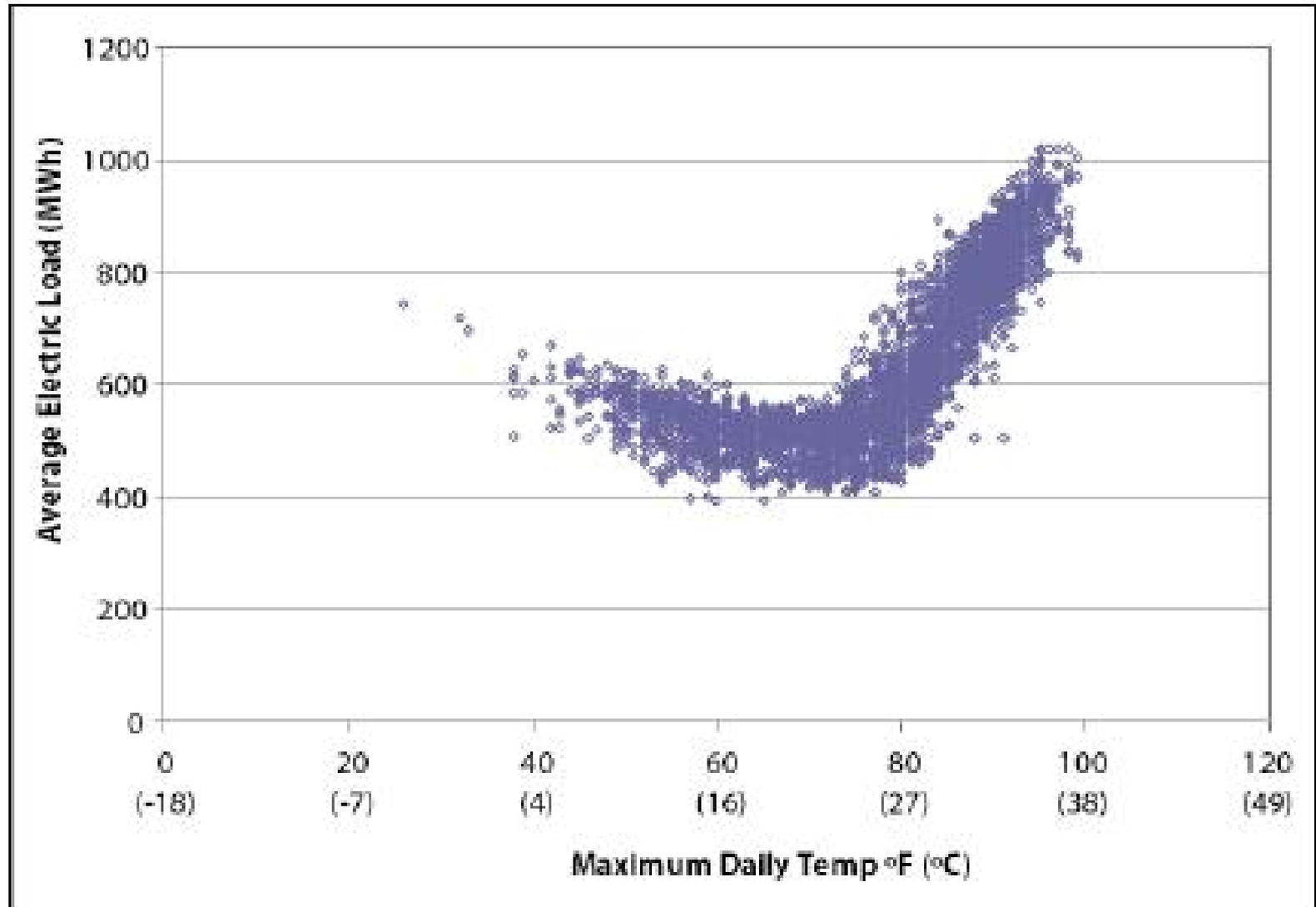
## Andamento della temperatura dell'aria, notte e giorno



- Si ha una temperatura diurna di 2-3 °C superiore alle zone rurali circostanti
- Si ha una temperatura notturna anche di 12 °C superiore alle zone rurali circostanti
- D'inverno l'effetto è positivo in quanto riduce i consumi per il riscaldamento
- D'estate aumentano moltissimo i consumi per il condizionamento in quanto si innesca un ciclo a retroazione positiva dovuto al basso rendimento termico dei condizionatori



## I consumi si impennano: aumenti anche del 100%



## Effetto della vegetazione

- Fotosintesi:  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Luce} \Rightarrow \text{Carboidrati} + \text{O}_2$
- evapotraspirazione: sottrazione di energia per la traspirazione della pianta e per l'evaporazione di acqua dal suolo

### **FOTOSINTESI:**

Trasforma

**l'energia luminosa** (è inesauribile, è rinnovabile, è gratuita, è distribuita sul pianeta, è pulita,

ma

**ha bassa intensità (energia/superficie), ha discontinuità temporale, non è trasportabile, non è conservabile, è difficilmente utilizzabile)**

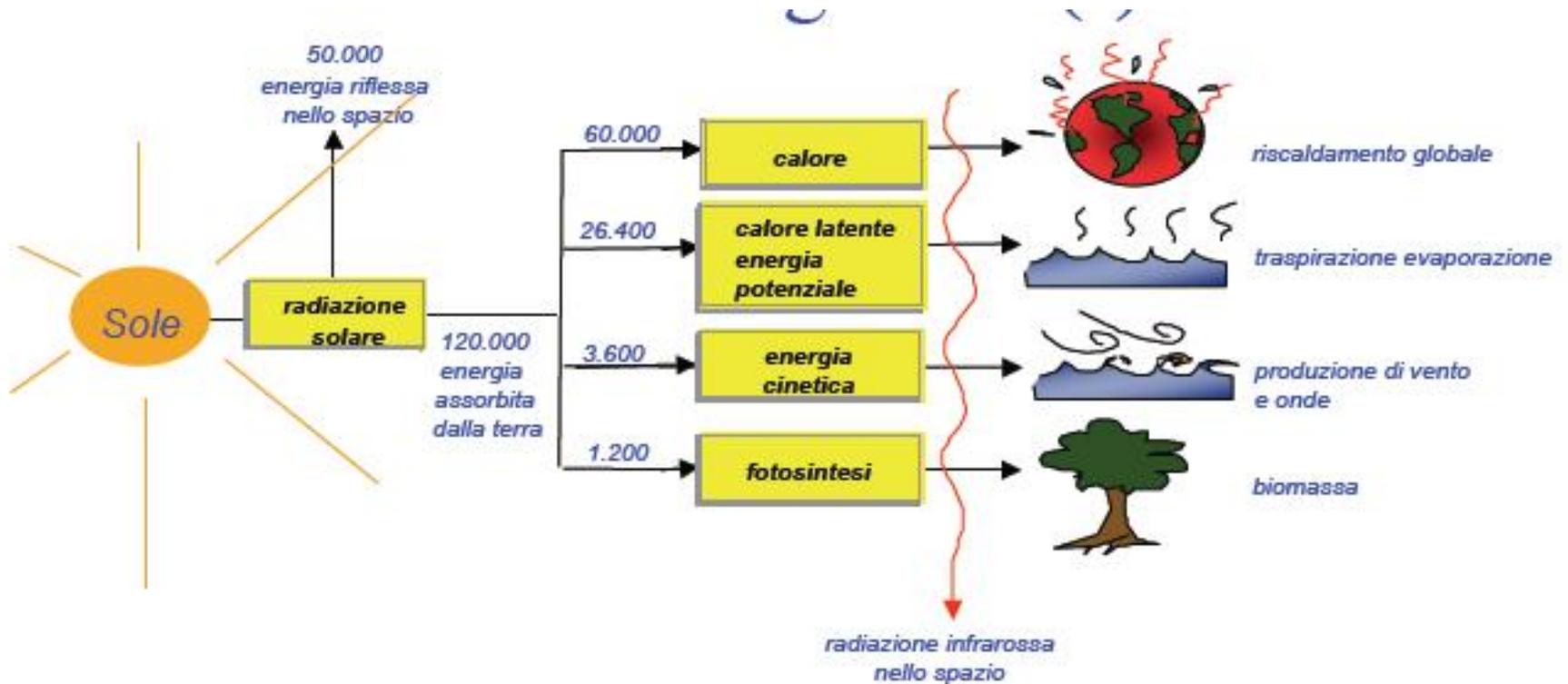
**in energia chimica** (ha alta intensità, è trasportabile, è conservabile, è facilmente utilizzabile per diversi fini da animali, motori, macchine,...

ma

**produce scorie, è costosa, è esauribile**

# EFFETTI GLOBALI

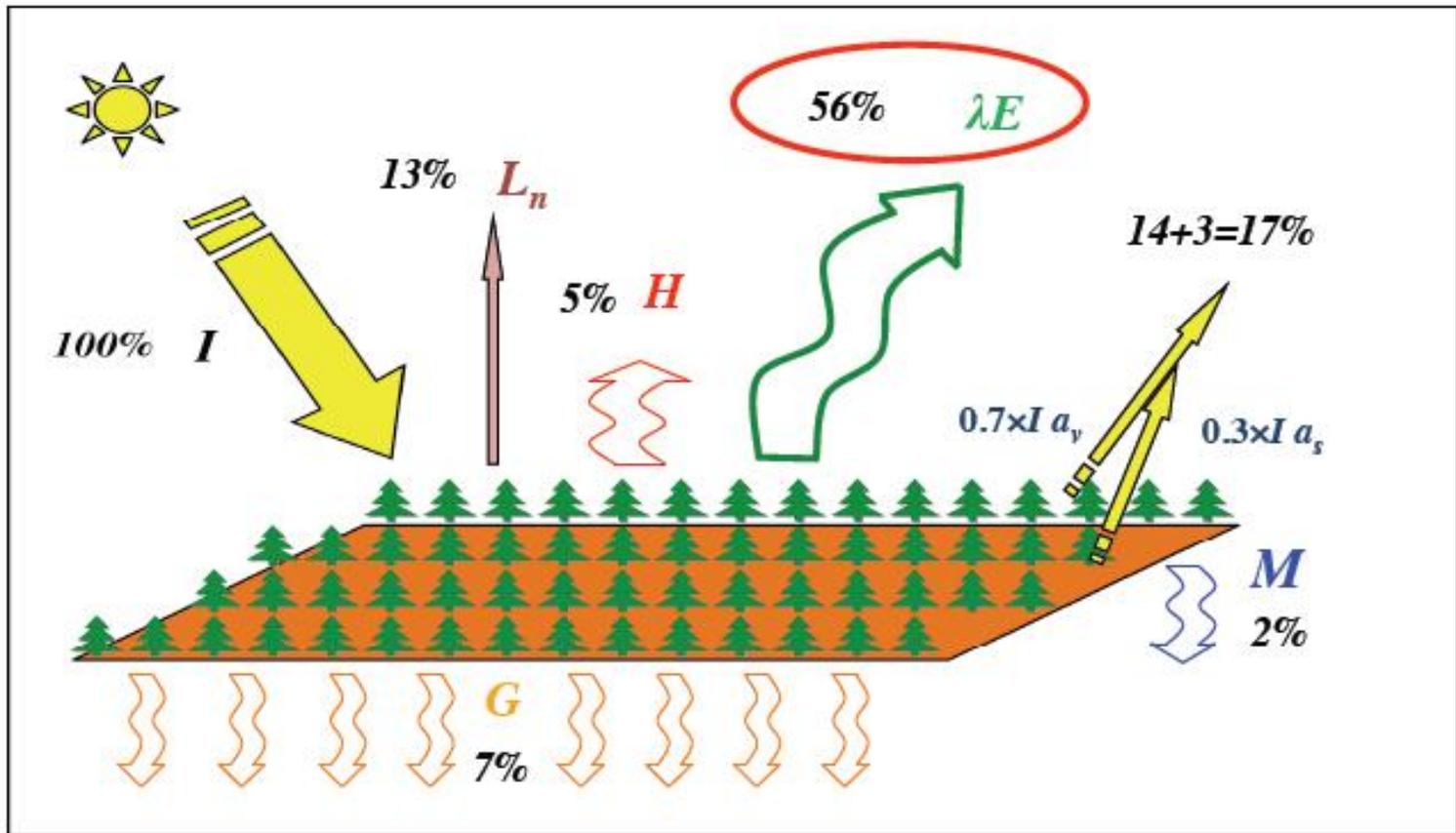
## Flussi di energia solare (in miliardi di watt)



Anche se la fotosintesi riesce ad assorbire solo l'1% dell'energia solare che arriva sul Pianeta, riesce ad assorbire una quantità di energia pari a 9 volte il consumo energetico di tutti gli abitanti della Terra. Vale a dire che circa il 10% dei vegetali prodotti della fotosintesi, se utilizzati per produrre energia, basterebbero a soddisfare il fabbisogno energetico di tutta la popolazione mondiale

# Effetti locali

$$(1 - a_{tot})I = L_n + G + H + \lambda E + M \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$



## Effetti locali

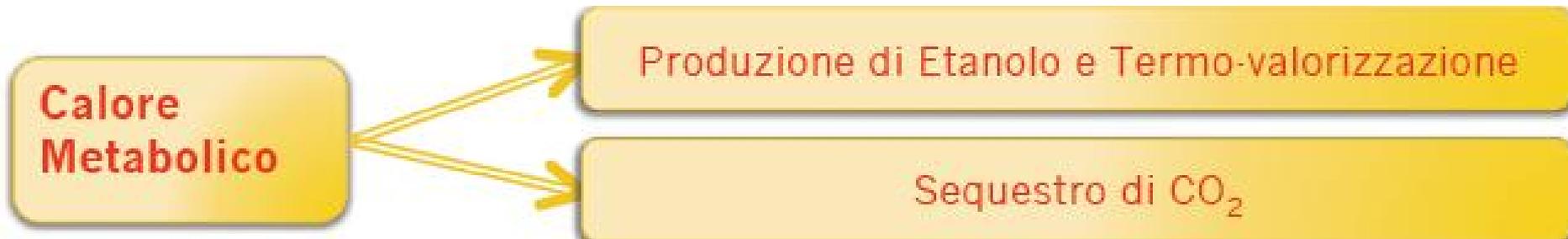
La vegetazione in ambiente urbano favorisce la diminuzione del fenomeno di isola di calore:

Abbatte costi energetici

Migliora la qualità della vita

Fattori determinanti:

- Evapotraspirazione
- Assorbimento per funzioni metaboliche
- Ombreggiamento
- Maggiore albedo rispetto all'asfalto
- Ridotta emissione termica per ridotta temperatura
- Minore radiazione IR sulla pelle umana



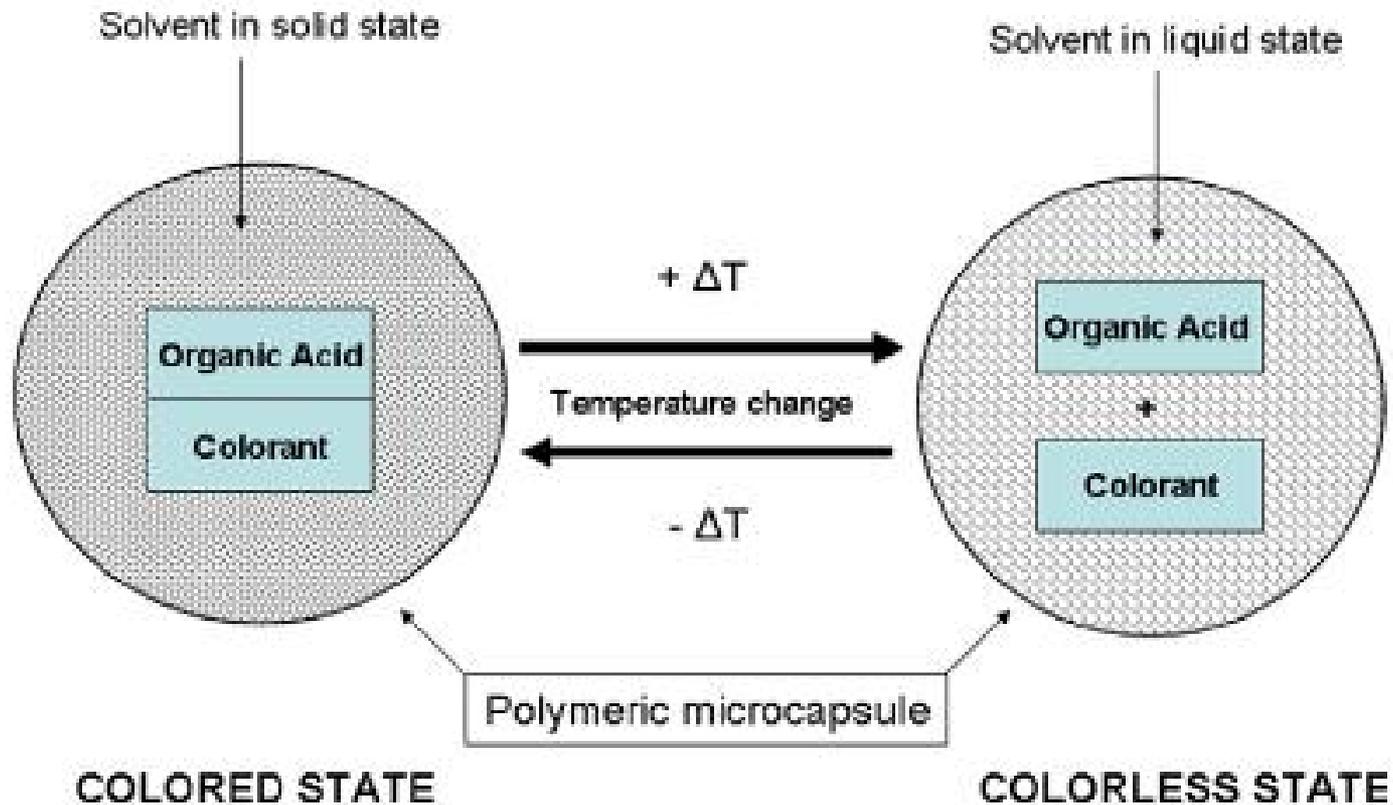
## **Considerazioni sull'efficienza energetica urbana**

- **Si tratta di ridurre i consumi energetici sia invernali sia estivi**
- **Per i consumi invernali: isolamento termico. L'apporto del sole in inverno è abbastanza limitato nei nostri climi**
- **Per i consumi estivi: attenzione alle pareti vetrate e ai tetti; controllo della ventilazione**
- **Dal punto di vista dell'area urbana nel suo complesso occorre ridurre l'isola di calore, il che significa in linea di massima:**
  - Attento studio delle orientazioni di strade ed edifici in modo da ridurre l'effetto di intrappolamento della radiazione solare;
  - Utilizzo di materiali ad elevato albedo sulle pareti a sud e sui tetti
  - Utilizzo di asfalti ad elevato albedo
  - Alberature a foglia caduca soprattutto su aree asfaltate e contro le pareti rivolte a mezzogiorno
  - Aumento delle aree verdi

## Valori misurati di riflettanza solare ed emittanza all'infrarosso di materiali comuni per i tetti e coperture

<b>Materiale</b>	<b>Riflettanza solare</b>	<b>Emittanza infrarosso</b>	<b>Indice di riflettanza solare</b>
<b><i>Rivestimenti</i></b>			
Bianco	0.70 – 0.85	0.80 – 0.90	84 – 113
Alluminio	0.20 – 0.65	0.25 – 0.65	- 25 a 72
Nero tradizionale	0.04 – 0.05	0.80 – 0.90	- 7 a 0
Nero raffreddante	0.20 - 0.29	0.80 – 0.90	14 – 31
Coperture scure colorate tradizionali	0.04 – 0.20	0.80 – 0.90	-7 a 19
Coperture raffreddanti scure	0.25 – 0.40	0.80 – 0.90	21 - 45
<b><i>Asphalt shingles</i></b>			
Tegole in asfalto bianche	0.20 – 0.30	0.80 – 0.90	15 – 28
Nere tradizionali	0.04	0.80 – 0.90	- 7 a -1
Tegole in asfalto scure (a due strati)	0.05 – 0.10	0.80 – 0.90	-6 a 6
Tegole in asfalto colorate raffreddanti (a due strati)	0.18 – 0.34	0.80 – 0.90	11 – 37
<b><i>Mattonelle</i></b>			
Mattonelle di ceramica e terracotta	0.25 – 0.40	0.85 – 0.90	23 – 45
Mattonelle di argilla bianche	0.60 – 0.75	0.85 – 0.90	71 – 93
Mattonelle di cemento bianche	0.60 – 0.75	0.85 – 0.90	71 – 93
Mattonelle di cemento grigie	0.18 – 0.25	0.85 – 0.90	14 – 25
Mattonelle di cemento di colore scuro	0.04 – 0.40	0.85 – 0.90	-4 a 45
Mattonelle di cemento di colore scuro raffreddanti	0.40 – 0.60	0.85 – 0.90	43 – 72
<b><i>Membrane</i></b>			
Bianche	0.65 – 0.85	0.8 – 0.90	76 – 107
Nere	0.04 – 0.05	0.8 – 0.90	-7 a 0
<b><i>Tetto di metallo</i></b>			
Non verniciato	0.20 – 0.60	0.05 – 0.35	-48 a -1
Verniciato di bianco	0.60 – 0.75	0.8 – 0.90	69 – 93
Colorato di colore scuro tradizionale	0.05 – 0.10	0.8 – 0.90	-6 a 6
Colorato di colore scuro raffreddante	0.25 – 0.70	0.8 – 0.90	21 – 86
<b><i>Tetto costruito con</i></b>			
Asfalto	0.04	0.85 – 0.90	-4 a -1
Ghiaia scura	0.08 – 0.20	0.8 – 0.90	-2 a 19
Ghiaia chiara	0.30 – 0.50	0.8 – 0.90	27 – 58
Rivestimento bianco	0.75 – 0.85	0.8 – 0.90	93 – 113
<b><i>Bitume modificato con</i></b>			
Superficie di membrana granulata minerale	0.10 – 0.20	0.85 – 0.95	4 – 21
Rivestimento bianco sopra superficie minerale	0.60 – 0.75	0.85 – 0.95	71 – 94

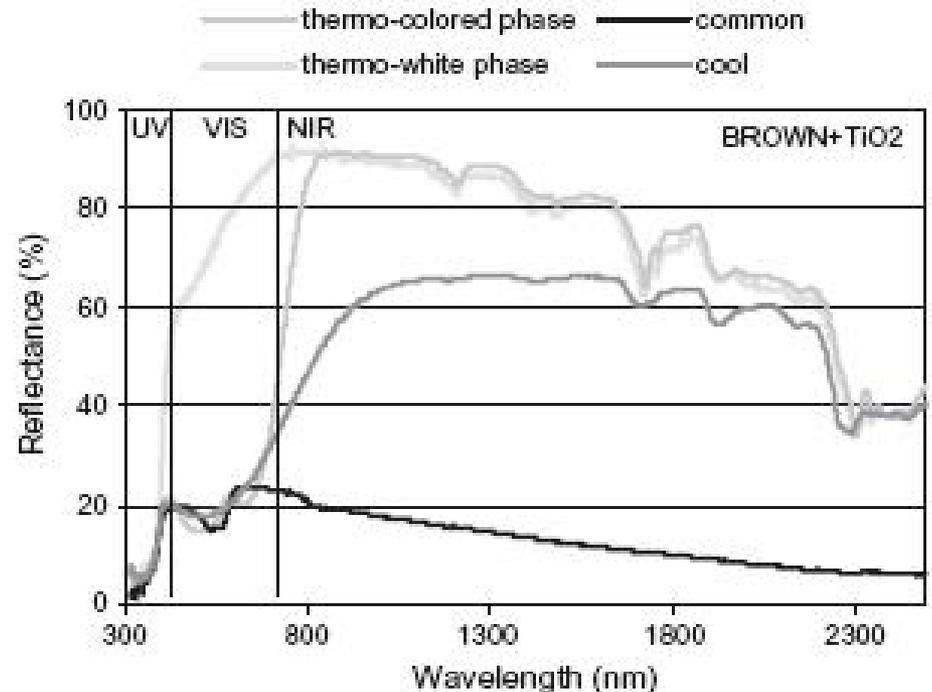
Termocromica è una sostanza trasparente soggetta alla modificazione reversibile delle sue proprietà ottiche in funzione della temperatura, attraverso una reazione chimica. Ripristinate le condizioni termiche iniziali, entro le quali è statica la **reattività chimica** del materiale, la sostanza torna allo stato originario.



## Transizione di fase di un rivestimento edile in materiale termocromico marrone



**Confronto della riflettanza spettrale di materiali termocromici blue e marroni, rivestimenti comuni e raffreddanti dello stesso colore**



**Differenza di temperatura di materiali termocromici di rivestimento  
raffreddanti e comuni:  
immagini nel visibile e ad infrarosso di rivestimenti marroni.**



## Riflettanza solare ed aumento della riflettanza solare di materiali di rivestimento termocromici, raffreddanti e comuni

Riflettanza Solare	Materiale termocromico		$\Delta$ SR (senza colore – colorato)	Materiale raffreddante	$\Delta$ SR (termocromico raffreddante)	Materiale comune	$\Delta$ SR (termocromico raffreddante)
	Fase colorata	Fase senza colore					
Verde	0.51	0.73	0.22	0.41	0.10	0.18	0.33
Giallo	0.78	0.81	0.03	0.73	0.05	0.64	0.14
Marrone	0.55	0.76	0.21	0.41	0.14	0.18	0.37
Nero	0.40	0.53	0.13	0.17	0.23	0.30	0.37
Blue	0.59	0.71	0.12	0.53	0.06	0.51	0.08
Grigio	0.55	0.73	0.18	0.44	0.11	0.13	0.42

## Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs

T. Susca<sup>a,b,\*</sup>, S.R. Gaffin<sup>b</sup>, G.R. Dell'Osso<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Polytechnic University of Bari, Via E. Orabona 4, 70125 Bari, Italy

<sup>b</sup> Columbia University, 2880 Broadway, New York City, NY 10025, USA

*Vegetation has positive effects both on an urban scale, mitigating the urban heat island effect; and on a building scale, where albedo, thermal insulation and biological activity of plants play a crucial role.*

---

Roofing system	Thermal resistance [m <sup>2</sup> K/W]	Surface albedo	Difference in heat fluxes <sup>b</sup> (winter) [W/m <sup>2</sup> ]	Difference in heat fluxes <sup>b</sup> (summer) [W/m <sup>2</sup> ]
Black roof	3.64	0.05		
White	3.64	0.6	-340	-2876
Green	3.75 <sup>a</sup>	0.2	-1543	-2921

---

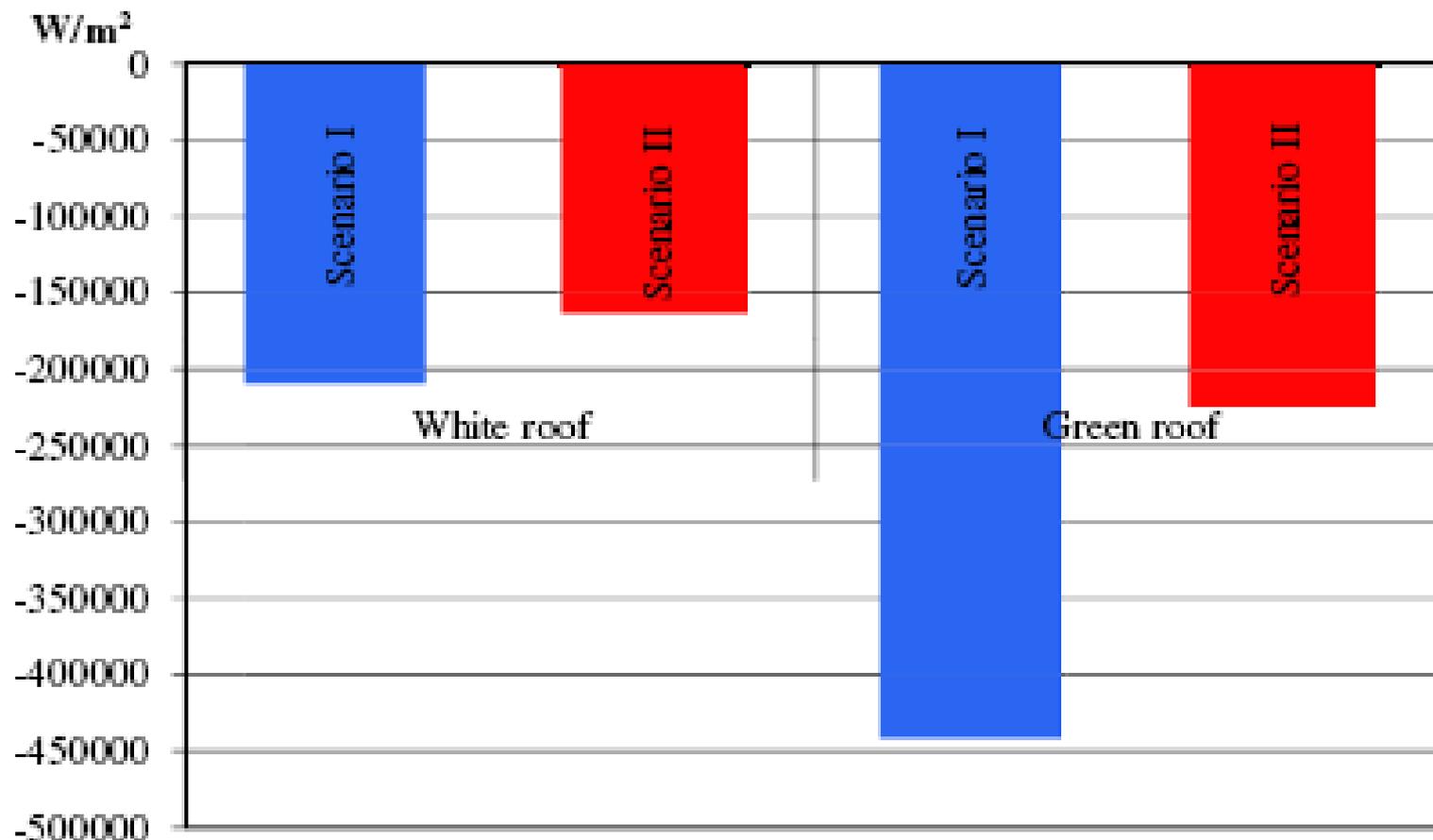
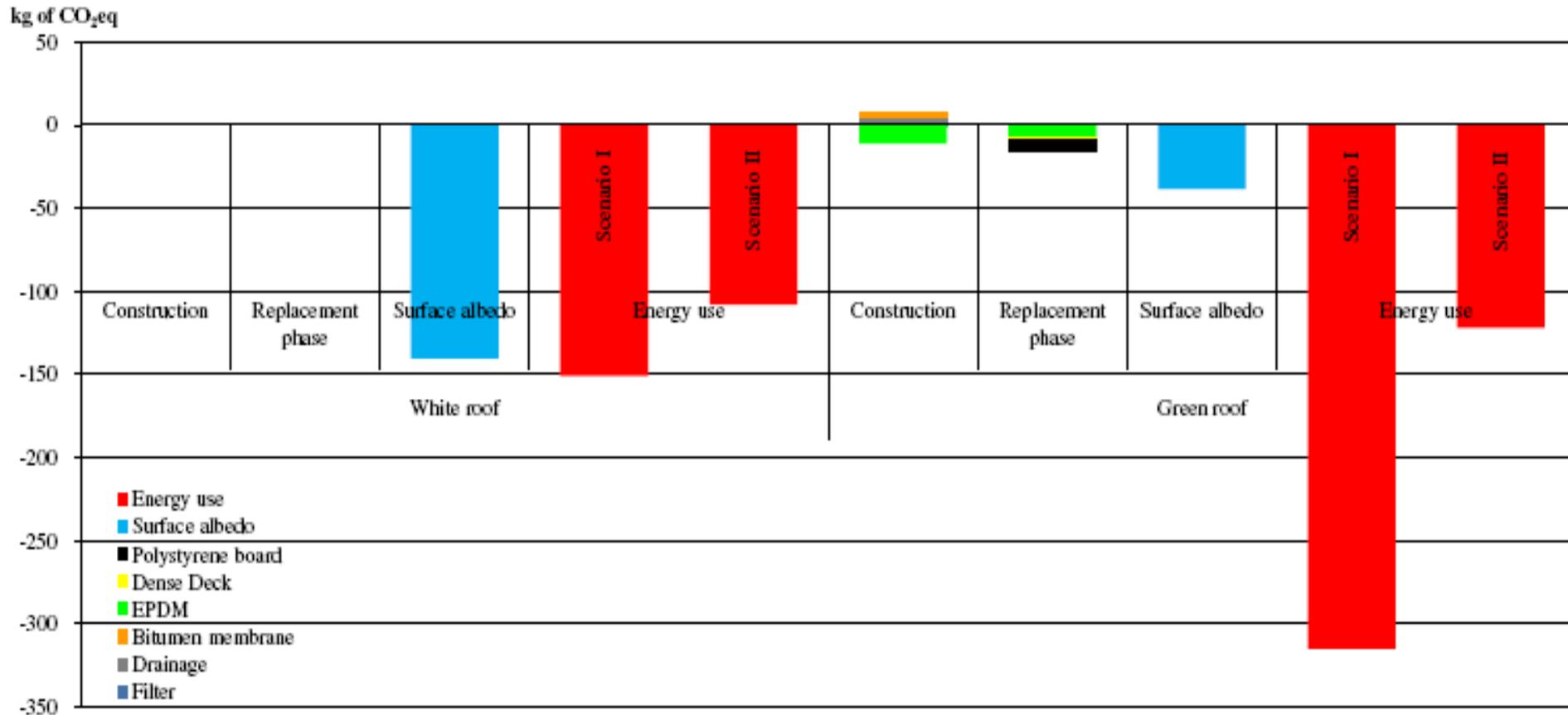


Fig. 8. Saved energy for the green and the white roof compared to the black roof: scenario I and scenario II. Time horizon: 50 years. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

**Fig. 9. Avoided impact on climate change; white and the green roofs compared to the black roof. Time horizon: 50 years (Software: SimaPro 7.1. Method: Impact 2022+).**



**L'isola di calore è un fenomeno locale che si ripete.** Le scale spaziali che lo caratterizzano sono di qualche chilometro o decina di chilometri in orizzontale, di qualche centinaio di metri (fino a un paio di chilometri) in verticale; la scala temporale è la ciclicità giornaliera.

Azioni e interventi locali possono avere effetti di **mitigazione dell'isola di calore**.  
**Ciò è possibile modificando il bilancio energetico superficiale**

- 1) ridurre il flusso di calore immagazzinato nella struttura urbana;
- 2) ridurre il rapporto di Bowen (tra il flusso di calore sensibile e calore latente che dipende dall'umidità disponibile nel suolo, dal tipo di suolo e dalla copertura del terreno), cioè trasformare parte del flusso di calore sensibile in flusso di calore latente;
- 3) ridurre il flusso di calore antropogenico;
- 4) ridurre la radiazione netta

**Ciò implica una lettura ed interpretazione sistemica della città**

## CONCLUSIONI.....

Consapevolezza della limitatezza delle risorse e del loro crescente esaurimento, effetti dell'inquinamento ambientale, concetto di sostenibilità come supporto di iniziative e proposte progettuali, decisionali, politiche

Si parla di **sostenibilità ambientale e di sviluppo economico e territoriale sostenibile** che può essere ricondotto ai seguenti obiettivi di base:

- riduzione degli indici di intensità di consumo energetico e di degrado delle risorse per unità di prodotto;
- sostituzione delle risorse non rinnovabili con quelle rinnovabili.

Il concetto di sostenibilità nel suo più ampio significato implica

- la protezione dell'ambiente
- il controllo demografico e dello sviluppo urbano
- risparmio dell'energia e razionalizzazione energetica
- riduzione dei consumi di energia
- l'efficienza d'uso dell'energia
- lo sviluppo per l'utilizzazione delle risorse rinnovabili
- il controllo dell'impatto ambientale e quindi la riduzione delle emissioni inquinanti
- il controllo dei prodotti di rifiuto
- l'analisi delle possibilità di riciclo
- l'analisi e la valutazione del ciclo di vita dei prodotti e dei processi

## CONCLUSIONI.....

Sono noti anche gli indicatori di sostenibilità che possono essere ricondotti a specifici misuratori di sostenibilità e qualità, ad indicatori di prestazioni e/o condizioni di sviluppo sostenibile; in generale rimandano ad indicatori di:

**Stato**  
**Pressione**  
**Risposta**

Ciò significa quindi analizzare:

- lo **stato reale** dell'ambiente a confronto con la condizione definita ottimale di sostenibilità
- la **pressione** che la società pone sull'ambiente in forma di esaurimento delle risorse e di inquinamento prodotto
- la **risposta** dell'attività umana principalmente nella forma politica e sociale di decisioni, misure alternative ed interventi.

**In questa ottica risultano efficaci azioni di “MITIGAZIONE” cui si collega il corretto uso e/o controllo dell'ALBEDO URBANO**