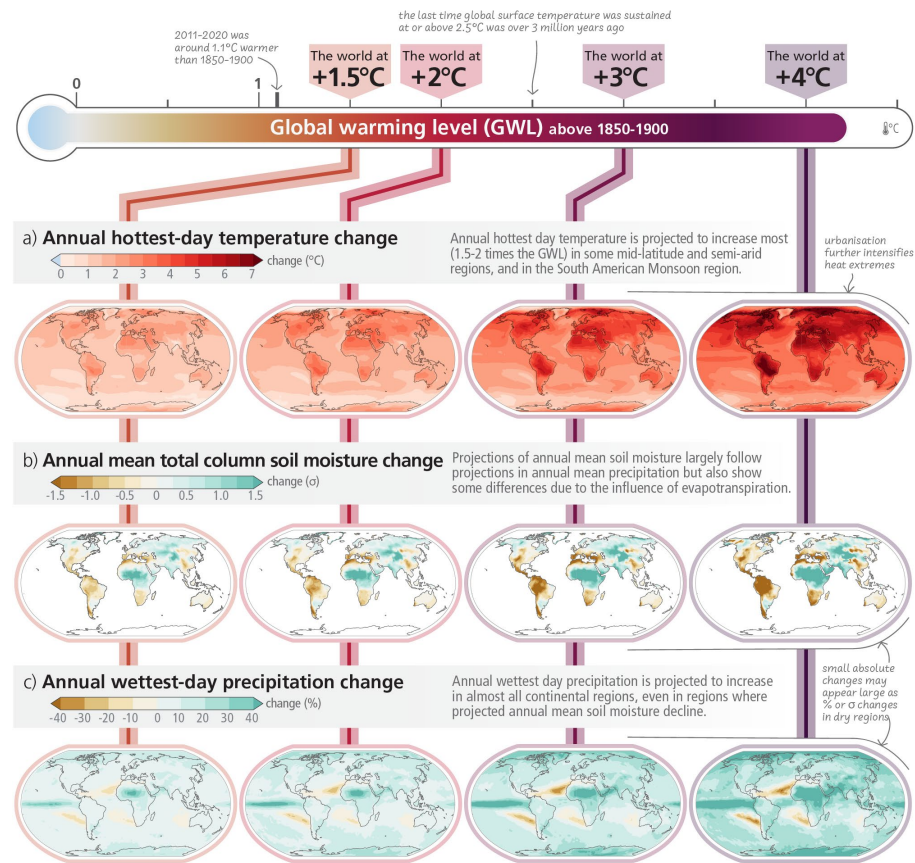


Transizione green e contributo dell'involucro edilizio made in Italy alla sostenibilità



prof. ing. Francesco Fiorito – Professore Ordinario di Architettura Tecnica presso il Politecnico di Bari
francesco.fiorito@poliba.it

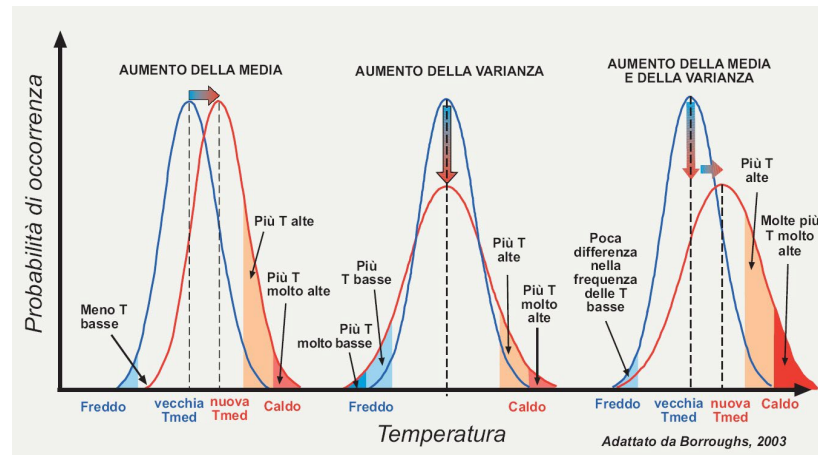
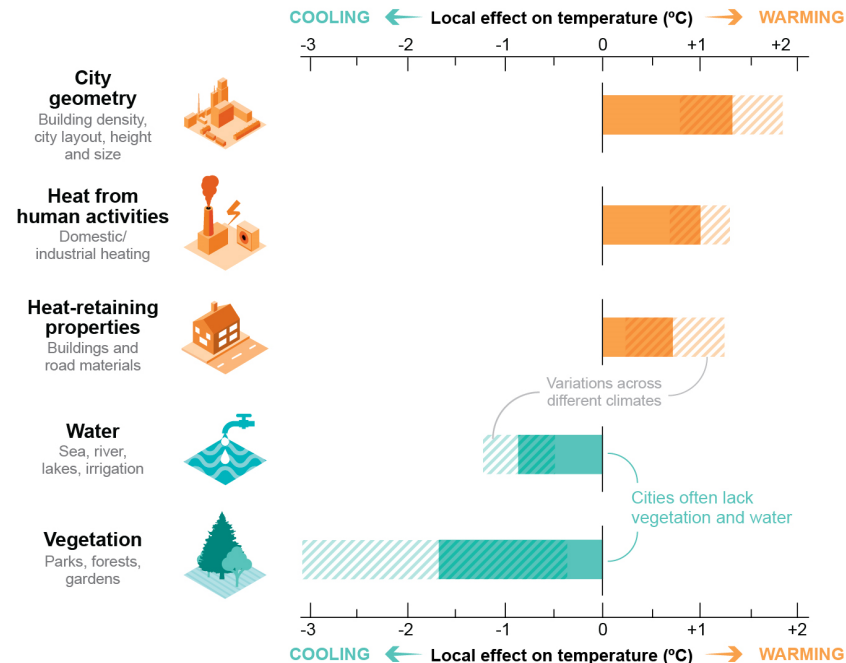
With every increment of global warming, regional changes in mean climate and extremes become more widespread and pronounced



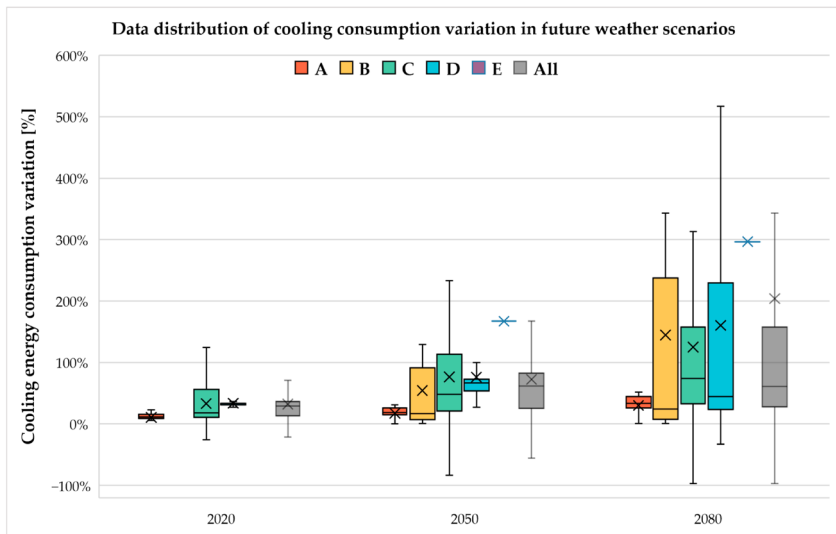
Fonte: IPCC, 2023: Sections. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

FAQ 10.2: Why are cities the hotspots of global warming?

Cities are usually warmer than their surrounding areas due to **factors that trap and release heat** and a lack of **natural cooling influences**, such as water and vegetation.



Fonte: <http://www.nimbus.it/eventi/2024/240424FreddoTardivo.htm>



(b)

Source: L.M. Campagna, F. Fiorito, On the Impact of Climate Change on Building Energy Consumptions: A Meta-Analysis, *Energies*, 15:134 (2022)

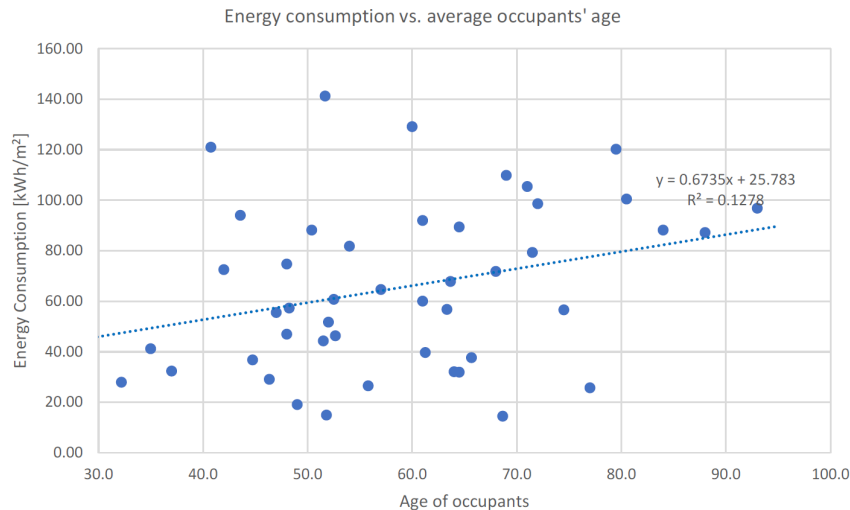


Figure 6. Relationship between energy consumption for heating and age of occupants of the building.

Fonte: G. Vurro, V. Santamaria, C. Chiarantoni, F. Fiorito, Climate Change Impact on Energy Poverty and Energy Efficiency in the Public Housing Building Stock of Bari, Italy. *Climate* 10:55 (2022)

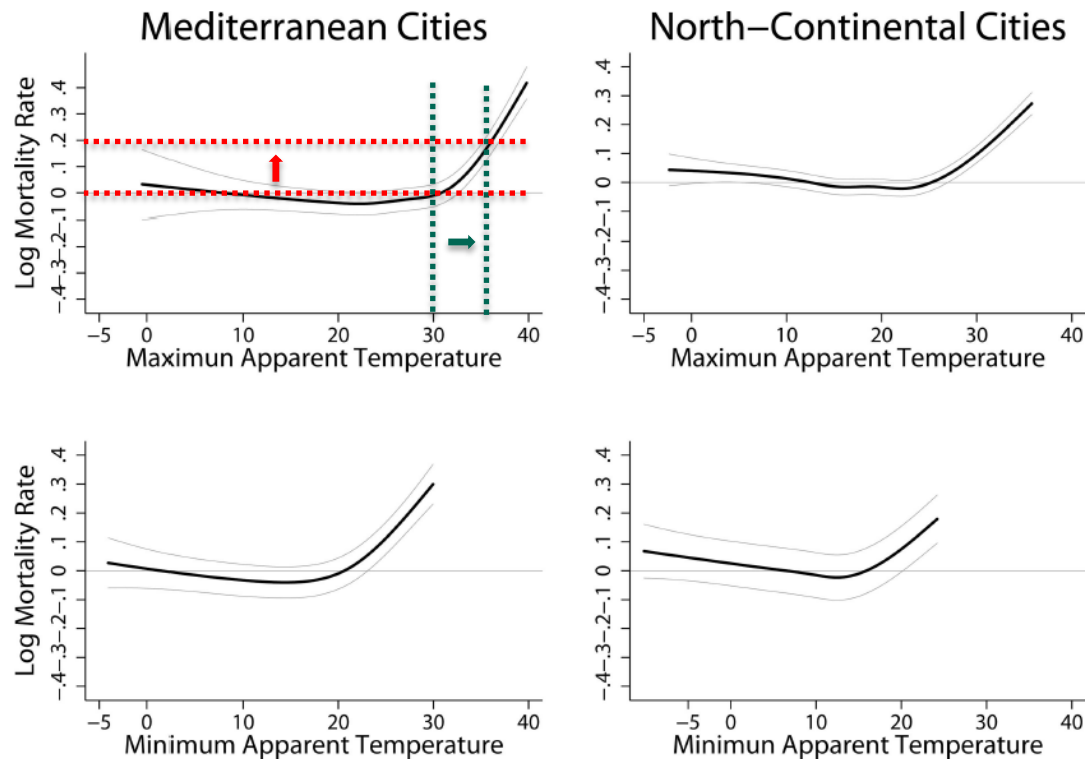


FIGURE 2. Fixed effects meta-analytic curves (pointwise 95% confidence bands) describing, on log scale, the adjusted effect of daily maximum (top) and daily minimum (bottom) apparent temperature at lag 0–3 on natural mortality. The left panel illustrates meta-analytic curves for Mediterranean cities (excluding Barcelona). The right panel shows the same curves for north-continental cities.

[Energy, Climate change, Environment](#)

Energy

[Home](#)[Topics](#)[Data and analysis](#) ▾[Studies](#) ▾[Publications](#)[Consultations](#)[Energy explained](#) ▾[Events](#)[News](#)[Home](#) > [Topics](#) > [Energy efficiency](#) > [Energy efficient buildings](#) > [Energy Performance of Buildings Directive](#)

Energy Performance of Buildings Directive

Aiming to achieve a fully decarbonised building stock by 2050, the Energy Performance of Buildings Directive contributes directly to the EU's energy and climate goals.

Timeline



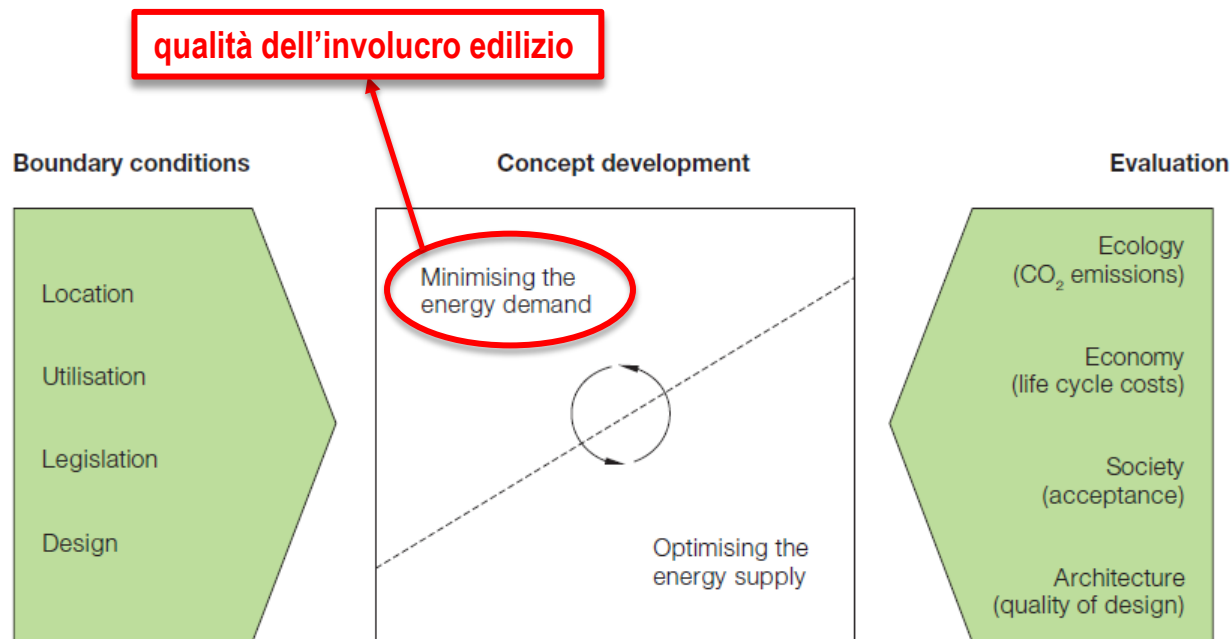
Other measures in the revised EPBD include

- the gradual introduction of minimum energy performance standards for non-residential buildings to support the renovation of buildings with the lowest energy performance
- national trajectories to reduce the average primary energy use of residential buildings
- an enhanced standard for new buildings, including a more ambitious vision for buildings to be zero-emission
- enhanced [long-term renovation strategies](#), to be renamed national Building Renovation Plans
- increased reliability, quality and digitalisation of [Energy Performance Certificates](#) with energy performance classes to be based on common criteria
- a definition of deep renovation and the introduction of building renovation passports
- ensuring new buildings are solar-ready (fit to host solar installations) where technically and economically feasible
- a gradual phase-out of stand-alone boilers powered by fossil fuels, starting with the end of subsidies to such boilers from 1 January 2025
- one-stop-shops for the energy renovations of buildings for home-owners, small and medium-sized enterprises and other stakeholders
- the modernisation of buildings and their systems and better energy system integration (for heating, cooling, ventilation, charging of electric vehicles and renewable energy)

To ensure that buildings are fit for the EU's enhanced climate ambition under the [European Green Deal](#), the revised directive will contribute to the objective of reaching emission reductions of at least 60% in the building sector by 2030 compared to 2015 and achieving climate neutrality by 2050.

It will work hand in hand with other policies of the Green Deal package, in particular with the [emissions trading system for fuels used in buildings](#), the [revised Energy Efficiency Directive](#) (EU/2023/1791), the [revised Renewable Energy Directive](#) (EU/2023/2413), as well as the [Alternative Fuels Infrastructure Regulation](#).

https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en



2.1

Contributo dell'involucro all'energia grigia

- **Incidenza complessiva:** 15–35% negli edifici residenziali standard; fino al 40% in tipologie più complesse.
- **Fattori rilevanti:** scelta dei materiali (acciaio, alluminio, legno, isolanti), spessore/stratificazione, superficie vetrata e geometrie articolate.

Esempi da studi recenti

- **Residenziale (Europa):** involucro 15–25% del totale, struttura + involucro 30–40%.
- **Uffici:** struttura dominante (cemento/acciaio), involucro 20–30% (facciate vetrate, alluminio).
- **Case in legno:** energia grigia complessiva più bassa, ma quota relativa dell'involucro comunque significativa.

Trend e prospettive

- **Riduzione impatto ciclo di vita:** materiali a basso impatto, progettazione modulare, riciclo.
- **Nuove normative e rating system:** EPBD, LEED, BREEAM con criteri specifici per l'energia grigia.
- **Digitalizzazione:** BIM + LCA per calcoli più accurati fin dalle prime fasi progettuali.



Caratteristica di Involucro

Scelta dei Materiali Strutturali e di Tamponamento

Isolamento Termico (tipologia e spessore)

Rapporto Superficie Vetrata/Parete Opaca

Facciate Ventilate e Rivestimenti Esterni

Sistema Tetto (coperture leggere vs. pesanti)

Durabilità e Manutenzione dell'Involucro

Provenienza e Logistica dei Materiali

Fase di Fine Vita e Riciclaggio

Descrizione e Impatto su Energia Grigia

La tipologia del supporto (muratura, legno, calcestruzzo, acciaio) e dei sistemi di chiusura (laterizi, pannelli prefabbricati, ecc.) incide profondamente sull'energia grigia, in base all'intensità energetica di estrazione, produzione e trasporto.

Gli isolanti sintetici (es. EPS, XPS) spesso presentano un'energia incorporata maggiore rispetto a quelli naturali (es. fibra di legno, canapa), anche se garantiscono prestazioni termiche elevate con spessori ridotti. Lo spessore dell'isolante incide ulteriormente.

Maggiore superficie vetrata implica un incremento dell'energia grigia (vetro ad alte prestazioni, profili metallici). Tuttavia, una finestratura più ampia può ridurre i consumi operativi (luce naturale e calore solare in inverno), con effetti compensativi.

L'adozione di facciate ventilate o sistemi di rivestimento complessi (pannelli metallici, ceramiche tecniche, pietra naturale) può incrementare il contenuto energetico di produzione e posa. Tuttavia, aumenta la durabilità e riduce la manutenzione.

Coperture in legno lamellare o a struttura metallica leggera possono avere un contenuto di embodied carbon inferiore rispetto a soluzioni in cemento armato. L'uso di membrane impermeabilizzanti ad alte prestazioni influisce ulteriormente.

Un involucro concepito per durare nel tempo o per essere sostituito in modo modulare (pezzi intercambiabili) può ridurre la necessità di interventi successivi, abbattendo l'energia grigia complessiva su tutto il ciclo di vita.

La distanza di trasporto e il mix energetico utilizzato per la produzione (elettricità da fonti rinnovabili vs fossili) contribuiscono in modo rilevante al calcolo dell'energia grigia dell'involucro, specialmente nei progetti con ampio uso di materiali pesanti.

La riciclabilità e il potenziale di recupero dei materiali di involucro (metalli, vetro, legno) possono compensare parte dell'energia incorporata iniziale, abbassando l'impatto totale sul ciclo di vita.

Variabilità Stimata/Osservata

Può generare differenze fino al 30–50% nel bilancio dell'energia grigia complessiva, a seconda del contenuto di riciclato, del mix energetico locale e dell'efficienza dei processi industriali di produzione.

Variazioni di circa il 15–25% nei valori di embodied carbon dell'involucro, in funzione del confronto tra materiali naturali e sintetici, e della densità/spessore adottati per soddisfare le prestazioni di legge.

Può introdurre variazioni anche del 10–20% nell'energia grigia complessiva. L'incidenza è particolarmente elevata se si adottano vetri stratificati con coating speciali o infissi in alluminio a taglio termico complesso.

Incrementi dal 5 al 15% di energia grigia rispetto a sistemi di rivestimento tradizionali, ma con potenziali risparmi a lungo termine in termini di manutenzione e sostituzione periodica.

Differenze anche superiori al 20% nei confronti tra coperture leggere e pesanti, considerando sia la fase di produzione sia il minor fabbisogno di rinforzi strutturali e trasporto per i materiali leggeri.

Impatto sulla riduzione dell'energia grigia fino al 15–20% se si adottano strategie di design for disassembly o manutenzione programmata, prolungando la vita utile dei componenti dell'involucro.

Possono incrementare i valori totali anche del 10–15% rispetto a soluzioni con materiali locali o con un contenuto di riciclato elevato; tali cifre aumentano in contesti di trasporto su lunghe distanze via gomma.

In alcuni casi si stima una riduzione del 5–10% nel computo finale di energia grigia grazie al recupero dei materiali a fine vita, soprattutto nei sistemi "circolari" con elevati tassi di riuso/riciclo.

Fig. 6. Winter design week: parametric analysis of T_{mrt} as a variation of WWR, façade and ground, emissivity and solar reflectance.

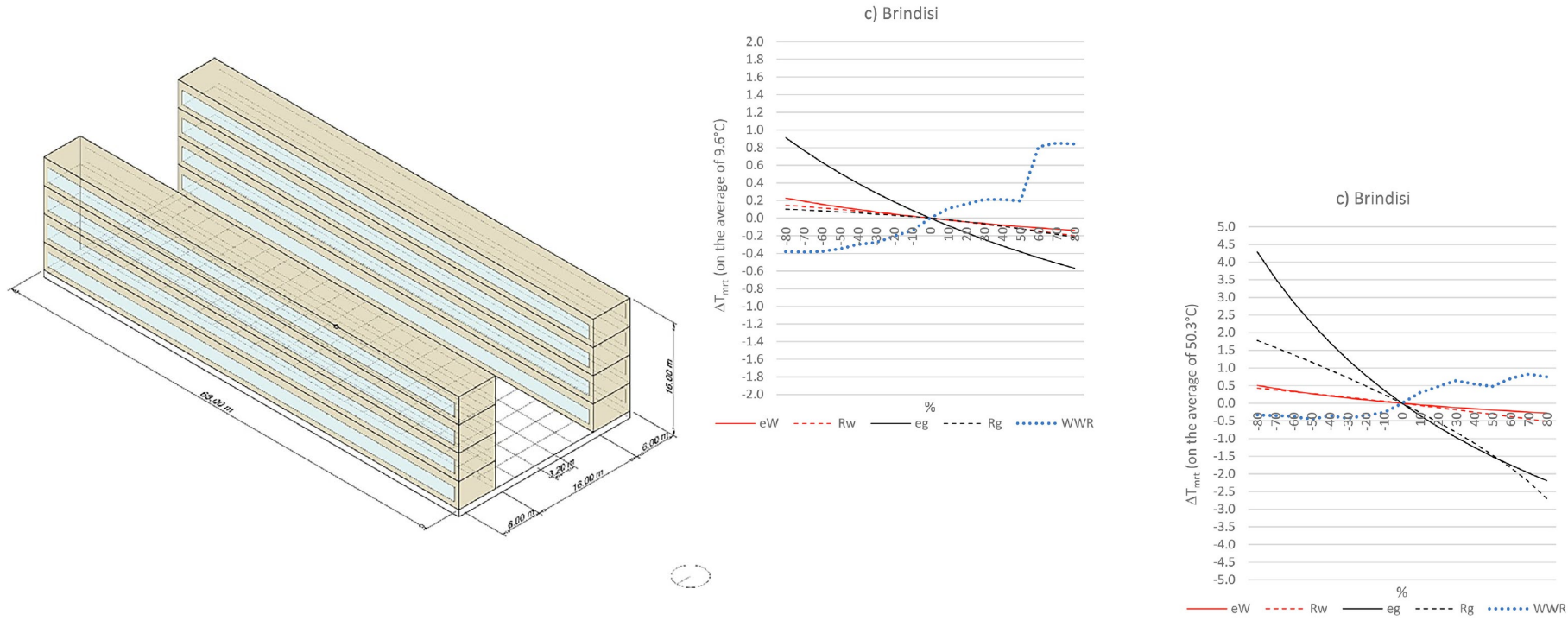
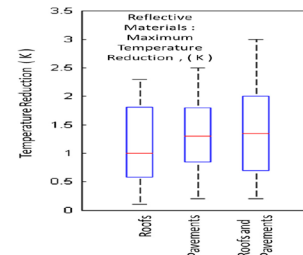
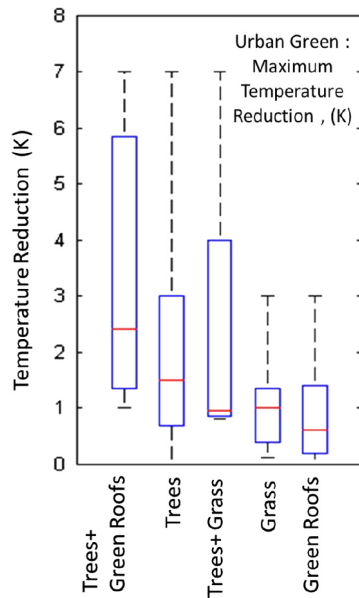
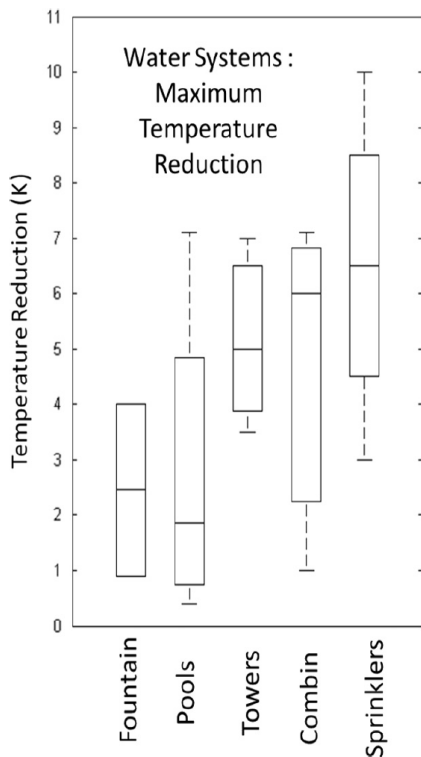


Fig. 7. Parametric analysis of T_{mrt} as a variation of WWR, emissivity and solar reflectance during typical summer design weeks.



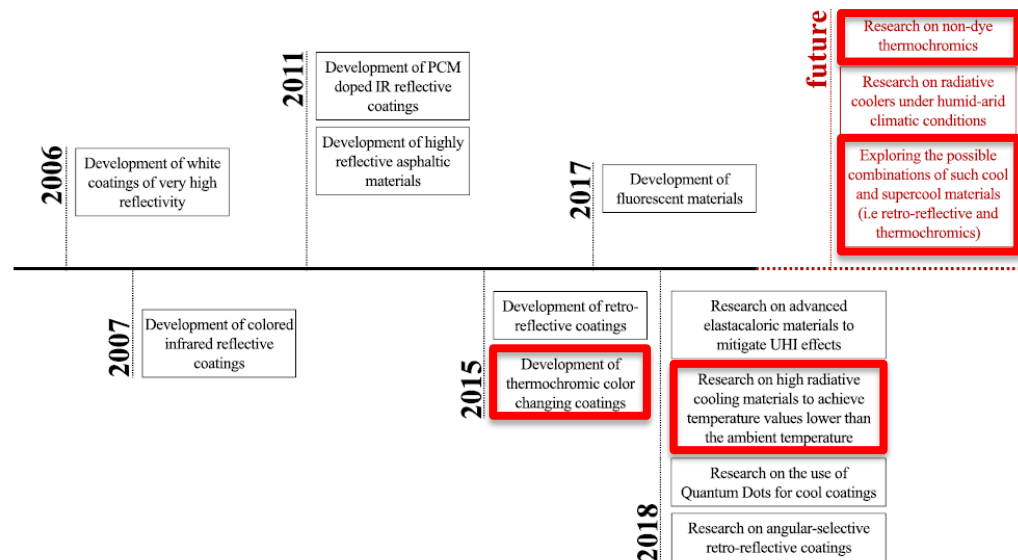


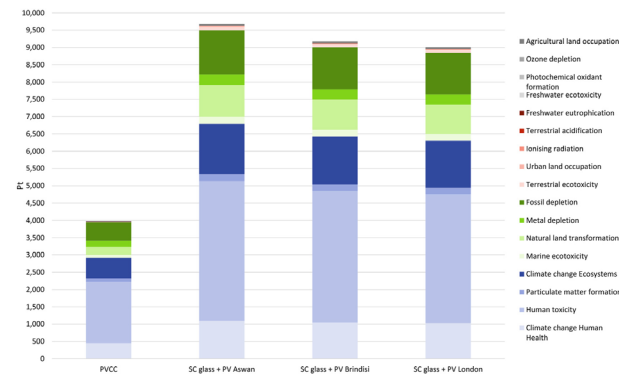
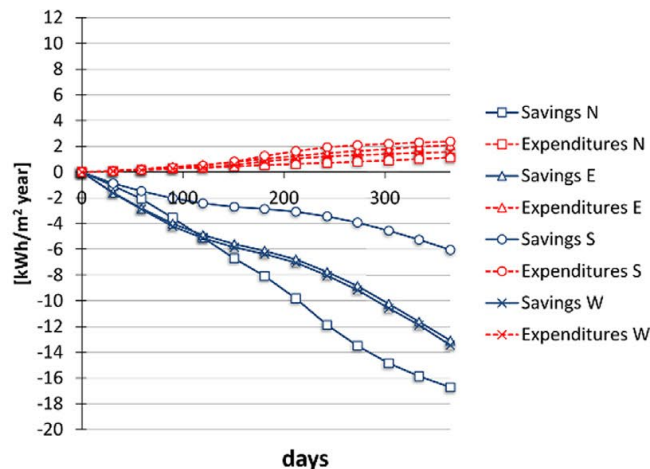
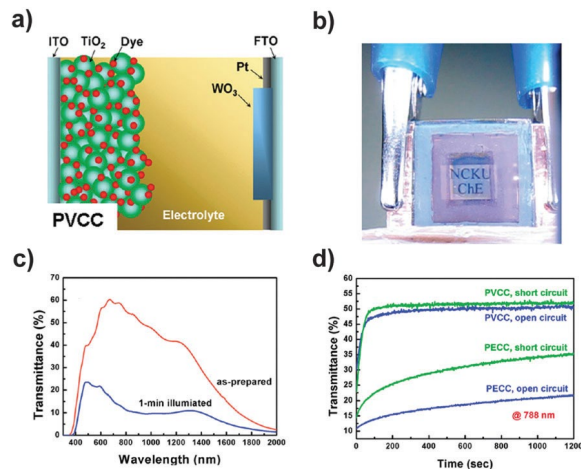
Il Solar Reflectance Index (SRI)

Il SRI è una misura della capacità di una superficie di rimanere fresca al sole riflettendo la radiazione solare ed emettendo radiazione termica. Il SRI è definito in modo tale che una superficie nera standard (riflettanza solare iniziale 0.05, emittanza termica iniziale 0.90) abbia un SRI iniziale di 0 e una superficie bianca standard (riflettanza solare iniziale 0.80, emittanza termica iniziale 0.90) abbia un SRI iniziale di 100. Per calcolare il SRI per un dato materiale, è possibile ottenere la sua riflettanza solare e l'emittanza termica tramite il Cool Roof Rating Council Standard (CRRC-1). Il SRI è calcolato secondo ASTM E 1980.

$$\text{SRI} = \frac{(T_{\text{black}} - T_{\text{surface}})}{(T_{\text{black}} - T_{\text{white}})} \cdot 100$$

Dove T_{black} , T_{white} e T_{surface} sono le temperature stazionarie della superficie standard nera, bianca e del materiale oggetto del calcolo.



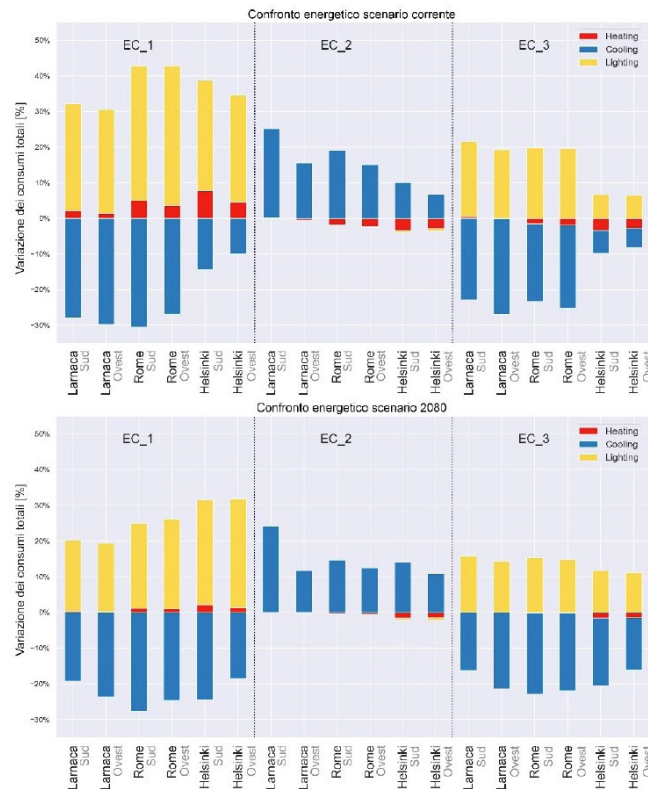


Fonte: Cannavale, A.; Cossari, P.; Eperon, G.E.; Colella, S.; Fiorito, F.; Gigli, G.; Snaith, H.J.; Listorti, A. Forthcoming perspectives of photoelectrochromic devices: A critical review. Energy and Environmental Science (2016)

Fonte: F. Fiorito, A. Cannavale, M. Santamouris. Development, testing and evaluation of energy savings potentials of photovoltachromic windows in office buildings. A perspective study for Australian climates. Solar Energy (2020).

Fonte: A. Pierucci, A. Cannavale, F. Martellotta, F. Fiorito (2018). Smart Windows for Carbon Neutral Buildings: A life cycle approach. Energy and Buildings (165): 160-171.

Codice	SHGCc [-]	SHGCs [-]	VLTe [-]	VLTs [-]	Soglia di attivazione [°C] & [W/m ²]
EC_1					-30°C & 0 W/m ²
EC_2	0.47	0.06	0.63	0.01	50°C & 2000 W/m ²
EC_3					15°C & 120 W/m ²



Fonte: F. Carlucci, G.R. Dell'Osso, F. Fiorito. Sviluppo di una piattaforma computazionale interattiva per la simulazione di involucri responsivi ad alte prestazioni in diversi scenari climatici tipici e futuri. Colloqui.AT.e2023. (2023)

Model	Control Strategies	Setpoint
00 (C1)	Always off (Baseline)	–
01 (C2)	On if high zone temperature (period: 1st June – 1st September)	24 °C
02	On during night	–
03	On if high zone temperature (period: whole year)	24 °C
04	On if high solar radiation (period: 1st June – 1st September)	100 W/ m ²
05	On if cooling is on	–
06	On if high cooling	2500 W
07	Mixed 1: Summer: On if high zone temp. (period: 1st June – 1st September) Winter: On during night	24 °C
08 (C3)	Mixed 2: Summer: On if high zone temp. (period: 24th June – 9th September) Winter: On during night	24 °C

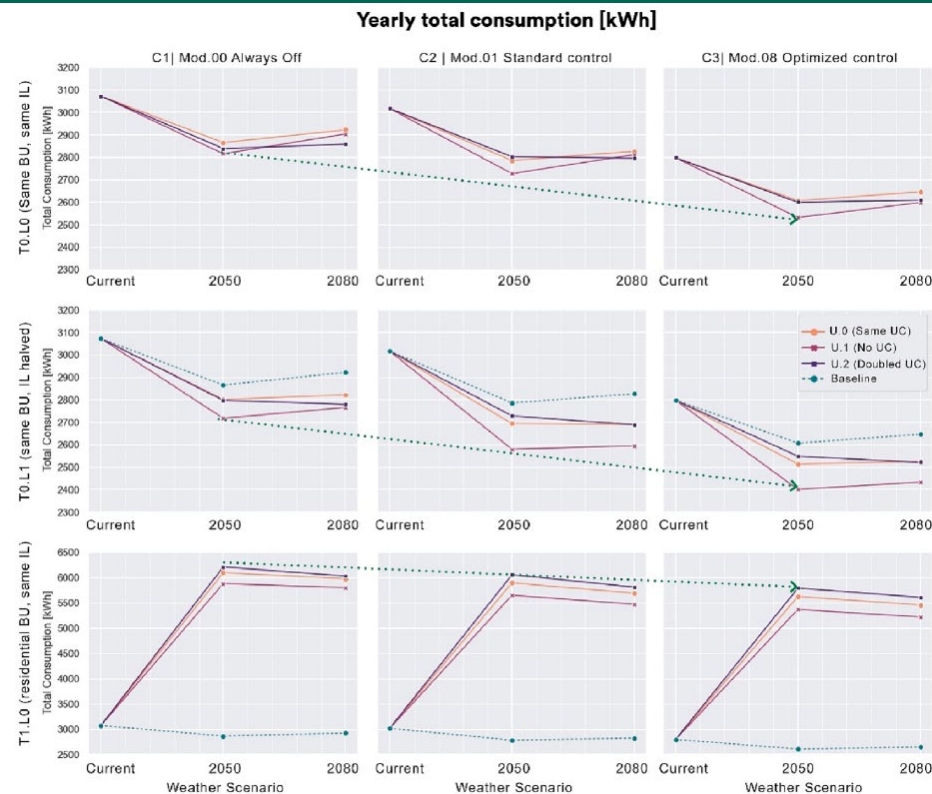
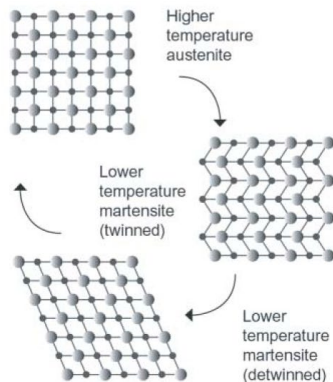
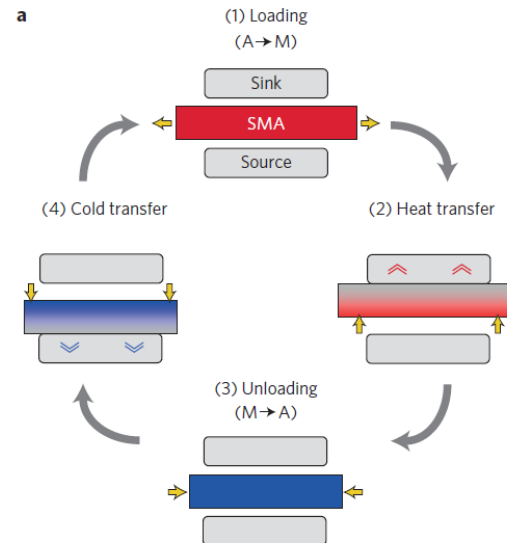
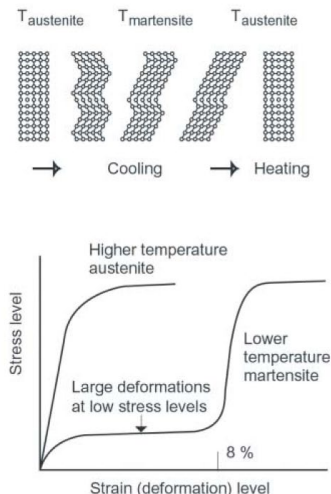


Fig. 8. Yearly total energy consumption (heating + cooling + lighting) for the selected future scenarios.

Tecnologie elastocaloriche



Shape memory alloys undergo reversible phase transformations at different temperatures and change their internal structures



Fonte: Ossmer, H.; Kohl, M. Elastocaloric cooling: Stretch to actively cool. Nature Energy (2016)

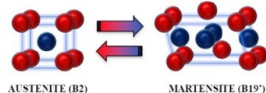
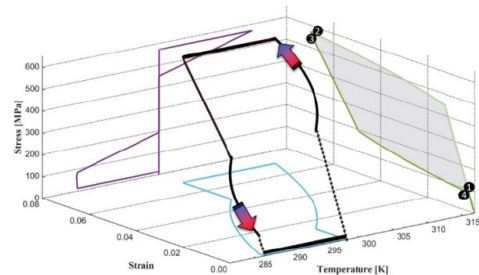
Tecnologie elastocaloriche



Australian Government

Australian Research Council

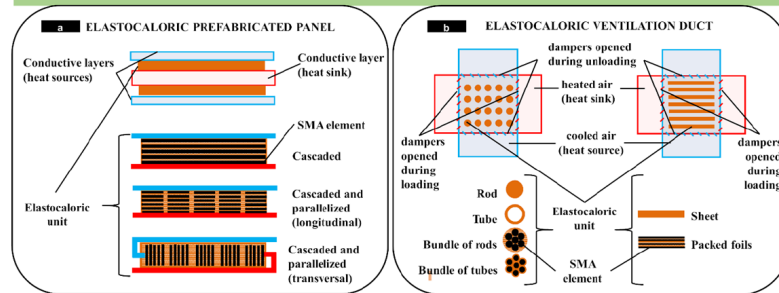
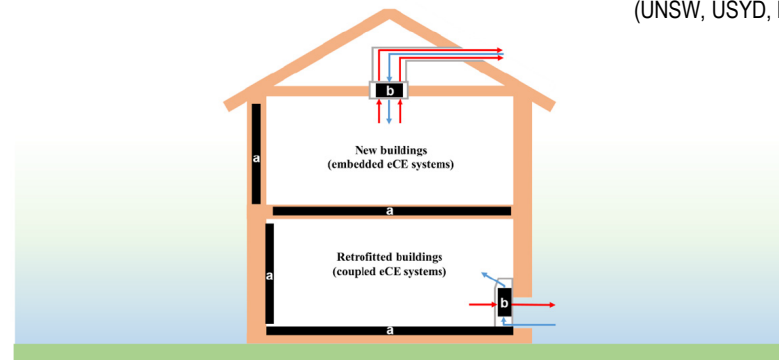
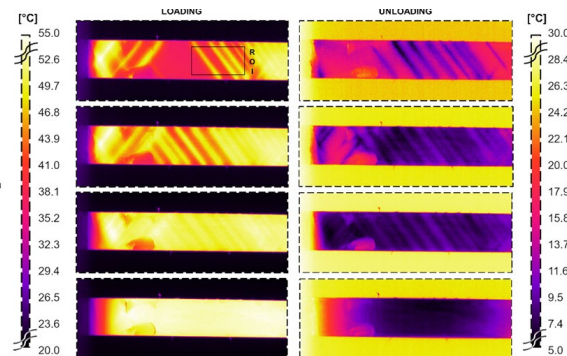
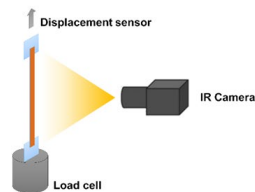
Discovery Project 180101589
(UNSW, USYD, KIT, POLIBA)



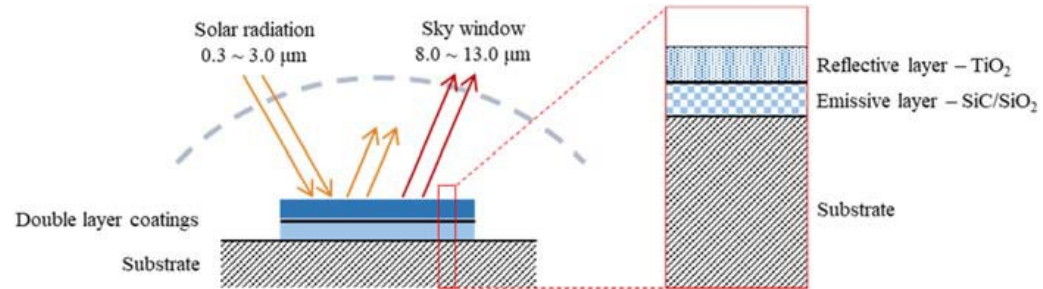
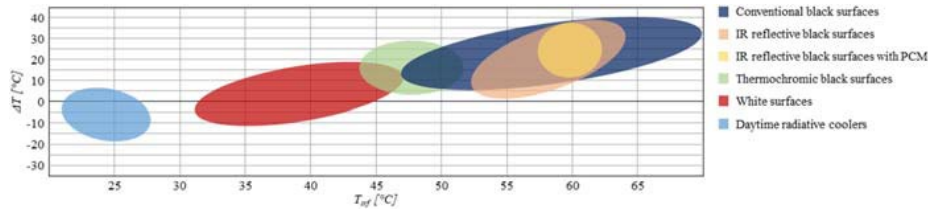
$$\text{COP} = \frac{Q_c}{W}$$

$$Q_c = \int_{T_{11}} T ds$$

$$W = \frac{1}{\rho} \int_{T_{1234}} \sigma dc = \int_{T_{1234}} T ds$$



Daytime radiative coolers



Grazie per l'attenzione!

Per maggiori informazioni:
francesco.fiorito@poliba.it