



Smart Buildings e Comunità Energetiche

Politecnico di Bari, 21 marzo 2023

**Nuove tecnologie per l'involucro
trasparente: ricerche in corso d'opera**

Alessandro Cannavale

**SMART
BUILDINGS**
e Comunità Energetiche



Credits: McKinsey Global Institute

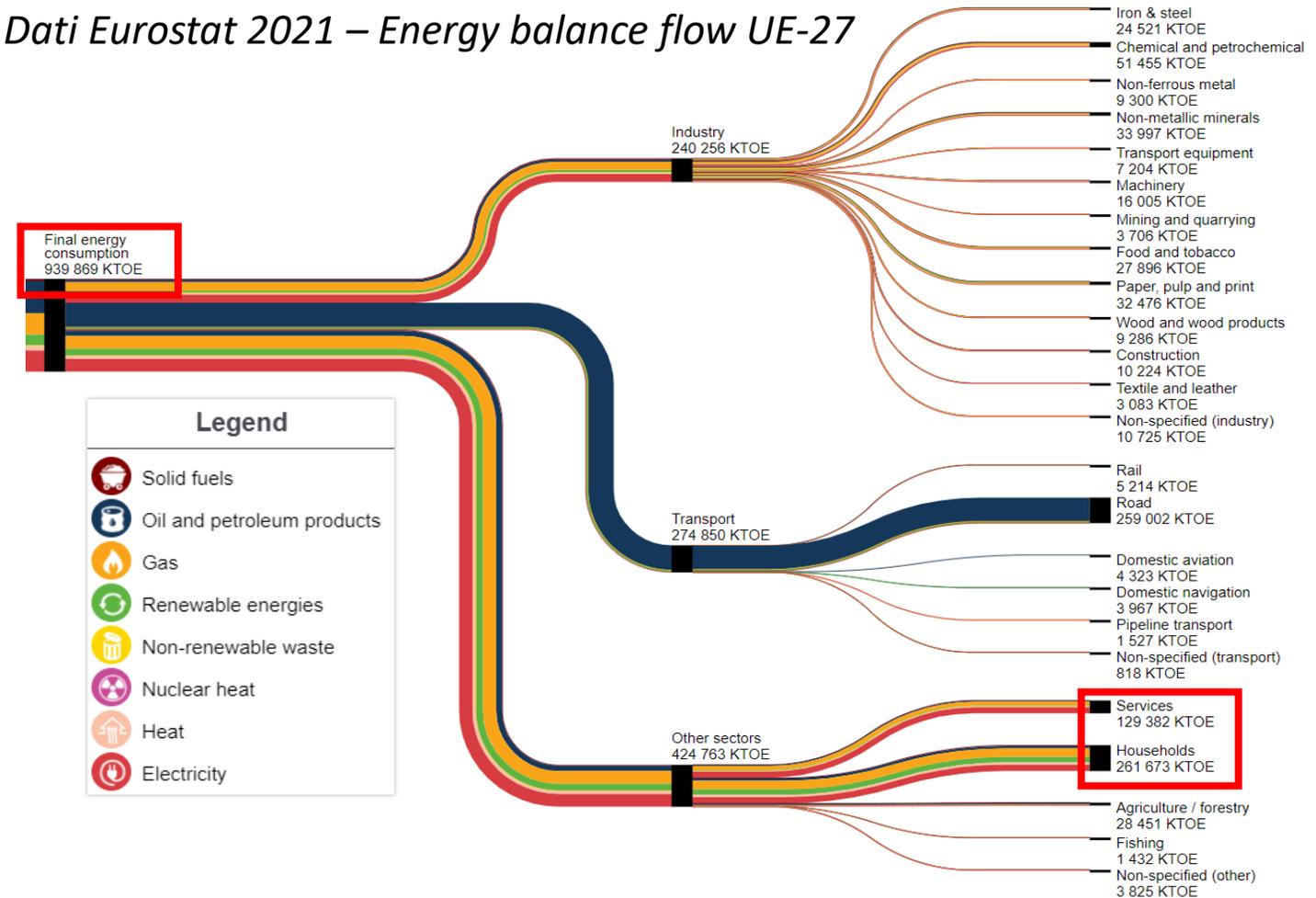


Lo scenario internazionale e gli impegni UE per la decarbonizzazione

Secondo la Direttiva **2018/844**, «quasi il 50% del consumo dell'energia finale dell'Unione è usato per riscaldamento e raffrescamento, di cui l'80% negli edifici».

L'obiettivo delle Direttive comunitarie di settore è quello di attivare la **progressiva sostituzione dei combustibili fossili nel comparto delle costruzioni** (*Green Deal europeo, Accordo di Parigi*).

Dati Eurostat 2021 – Energy balance flow UE-27

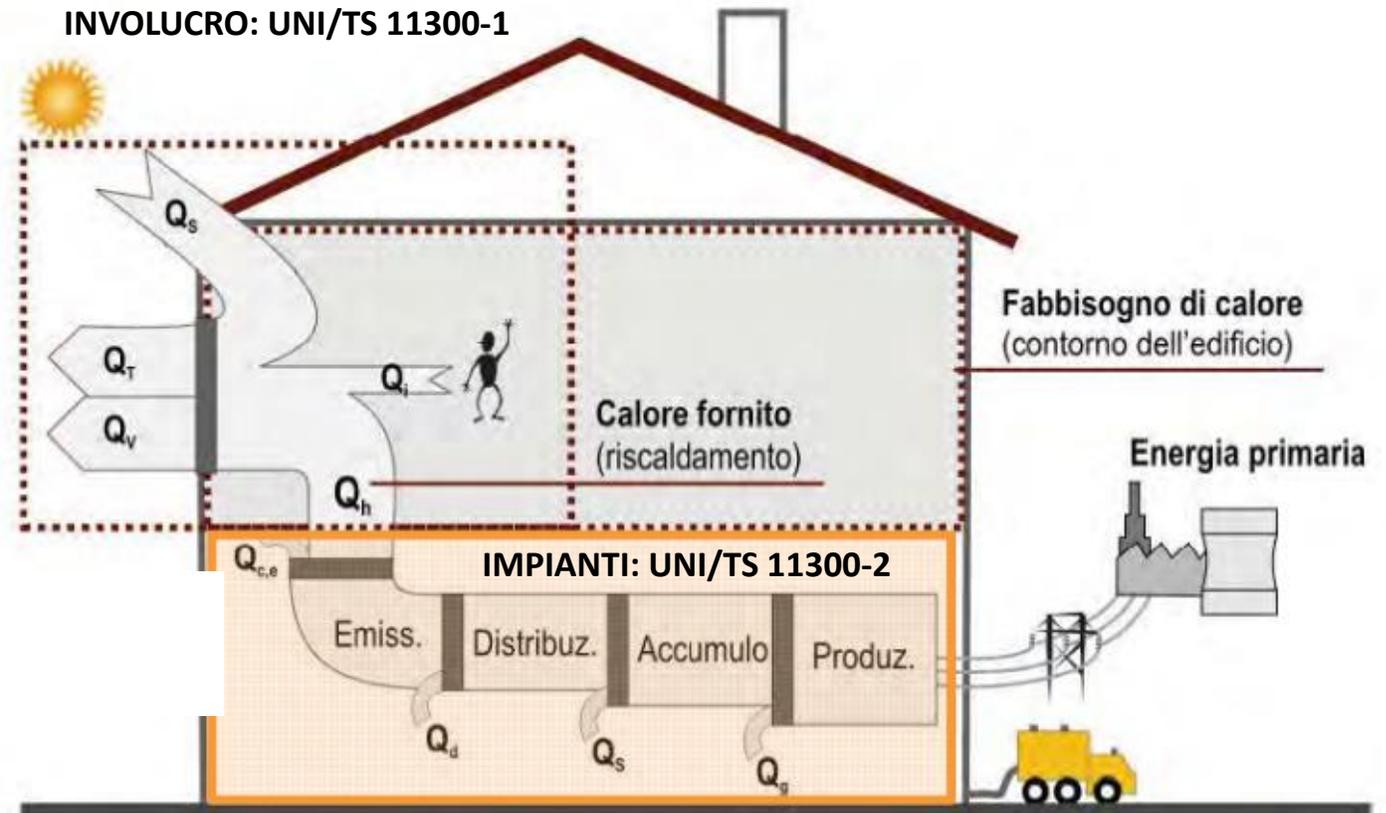


La decarbonizzazione del settore costruzioni si attiva soprattutto attraverso l'efficiamento energetico dell'**involucro** e degli **impianti**.
Il ruolo delle nuove tecnologie.



Edificio-Impianto: una visione unitaria

Le specifiche tecniche della serie **UNI/TS 11300**, definiscono una metodologia di calcolo univoca per la determinazione delle prestazioni energetiche degli edifici che dipendono dal **sistema edificio-impianto**, dalle **caratteristiche termiche dell'involucro** e dai **rendimenti degli impianti** presenti.





Interventi sull'involucro e/o sugli impianti

Electrification of Heat Demonstration Project

Newcastle City Council and Your Homes Newcastle



TECHNOLOGIES
INSTALLED

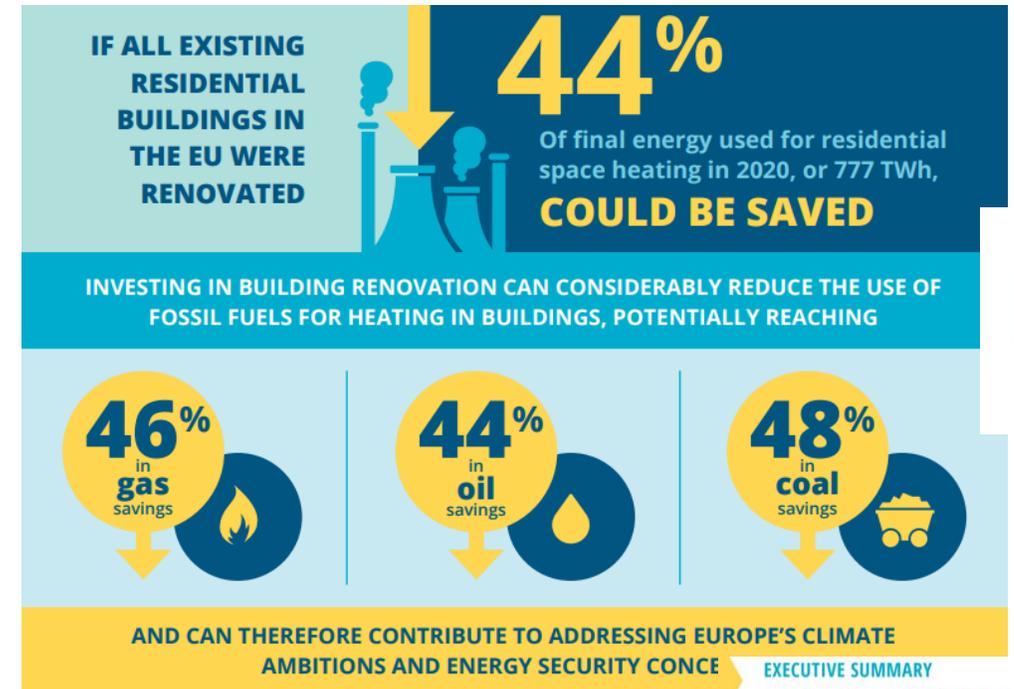


16 PROPERTIES
with a ground
source heat
pump and
shared borehole



3 PROPERTIES
with air source
heat pumps

I **maggiori costi iniziali** (per involucro o sostituzione dei generatori di calore), affrontati con il sostegno di **meccanismi di incentivazione statali (Bonus Casa, Ecobonus, Super ecobonus, etc.)**, consentono di pervenire a minori tempi di ritorno degli investimenti, in base alla qualità dei progetti, le località climatiche e alle tipologie di impianti considerate.



EXECUTIVE SUMMARY
**HOW TO STAY WARM
AND SAVE ENERGY**
INSULATION OPPORTUNITIES
IN EUROPEAN HOMES

Con interventi limitati alle sole coperture e pareti esterne (escluse le chiusure di base e le finestre), se tutti gli edifici residenziali esistenti nell'UE fossero ristrutturati **potrebbero essere risparmiati 777 TWh**, ossia **il 44% dell'energia finale utilizzata per il riscaldamento degli ambienti**.



La decarbonizzazione del settore costruzioni

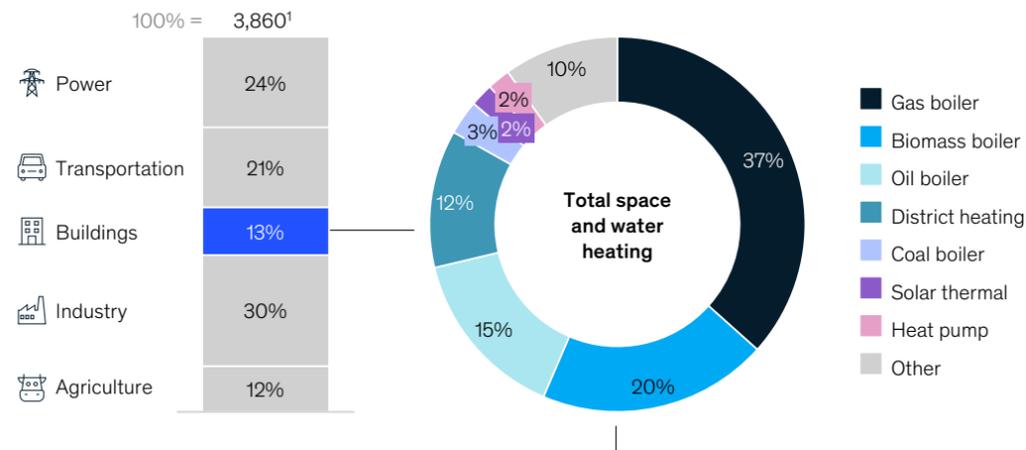
Lo scenario di riduzione delle emissioni del settore costruzioni nella UE, fino alla completa **decarbonizzazione** del 2050, si potrebbe concretizzare mediante strategie combinate di **retrofit energetico**, che abbinano **tecnologie di involucro ad alte prestazioni a impianti alimentati con fonti rinnovabili** (per climatizzazione, ACS, cottura cibi).

La decarbonizzazione del settore delle costruzioni passa **attraverso l'impiego di fonti energetiche rinnovabili per alimentare gli impianti a servizio dell'edificio**.

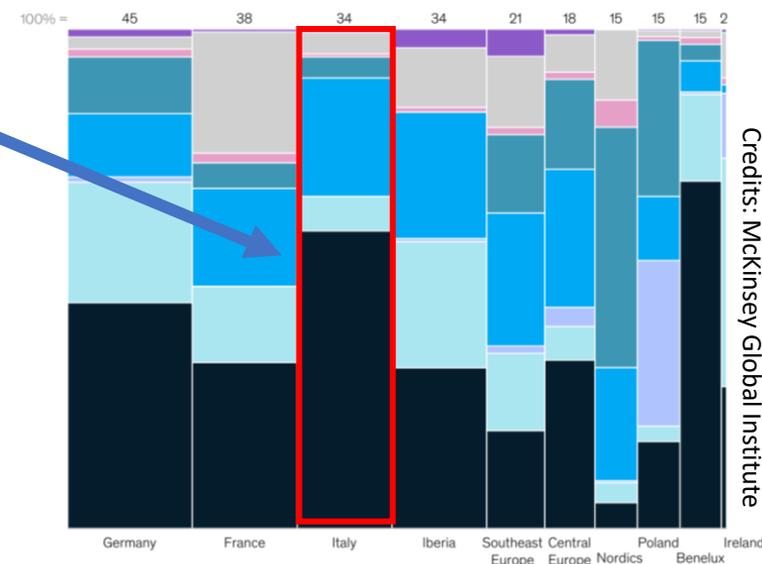
Exhibit 47

Approximately two-thirds of EU homes are still heated by burning gas, coal, or oil.

Total space and water heating by source for EU-27, 2017, MtCO₂e



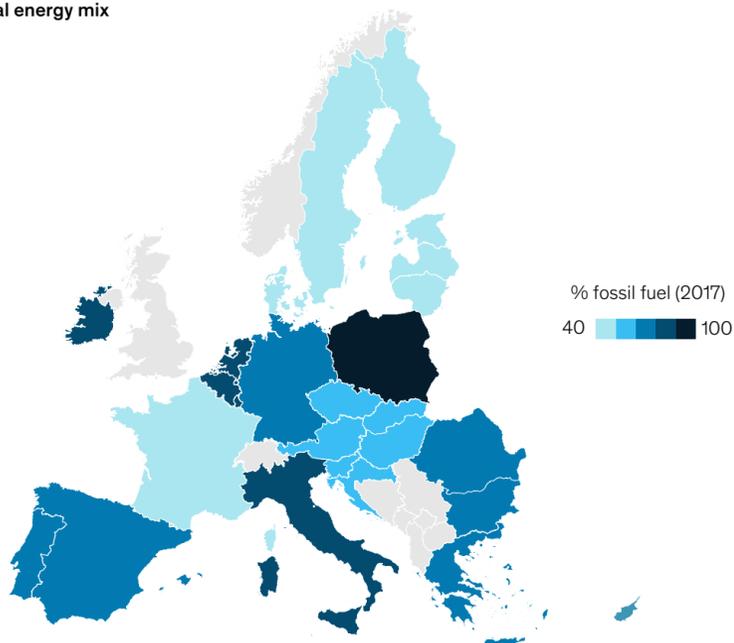
Buildings by heating type and region
Million dwellings in EU-27, 2017



Credits: McKinsey Global Institute



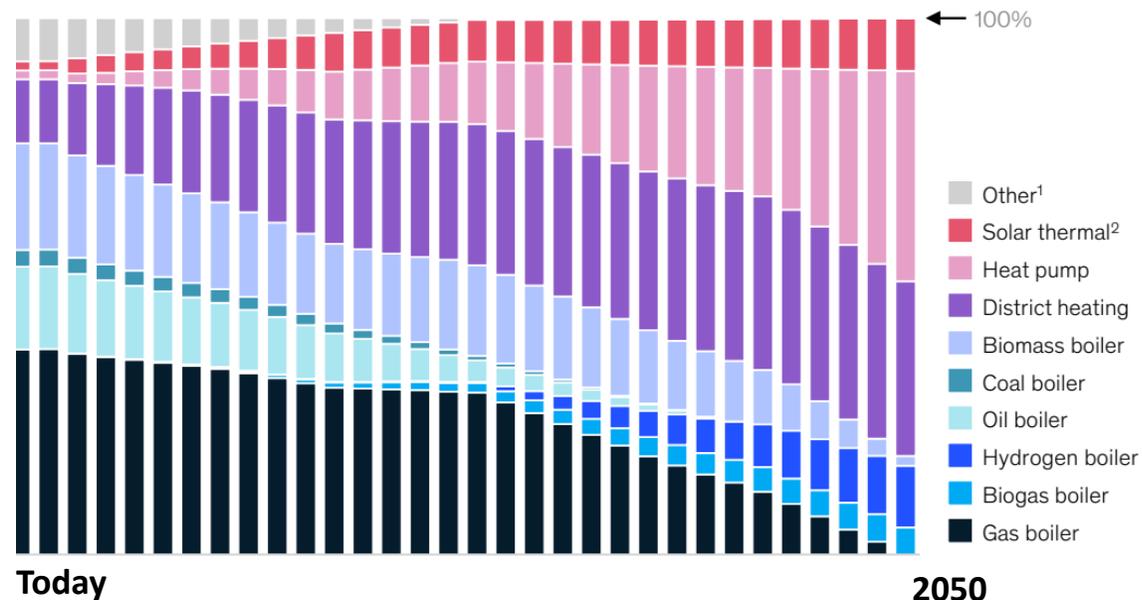
Fossil fuel use in total energy mix



Heat pumps could play a vital role in the decarbonization of the EU building sector.

ind water heating technology mix
tion level in %

Fonte: McKinsey Global Institute



Le pompe di calore

Giocheranno un ruolo centrale nel percorso di decarbonizzazione del settore costruzioni UE ma anche nella penetrazione delle FER e nell'**elettrificazione del settore costruzioni**. Il numero di impianti a pompa di calore venduti in UE è cresciuto del **33% nel solo 2021** rispetto all'anno precedente ed è quasi doppio rispetto al 2017.

Sono sempre più riconosciute come una tecnologia critica per la decarbonizzazione degli impianti e sono soggette a incentivazioni specifiche nei Paesi partner europei.



Le pompe di calore

Secondo EHPA, agli attuali livelli di crescita del mercato, le vendite di pompe di calore in Europa raddoppieranno ogni 8-10 anni, il che dovrebbe comportare una riduzione dei costi di ca. 22% entro il 2024 e ca. 39% entro il 2030. La Figura evidenzia il percorso di crescita delle vendite e dei costi. Per questa proiezione si ipotizza un tasso di crescita annuo del 10%. Inoltre, l'ipotesi per lo sviluppo dei costi è un risparmio del 20% per ogni raddoppio del volume delle vendite.

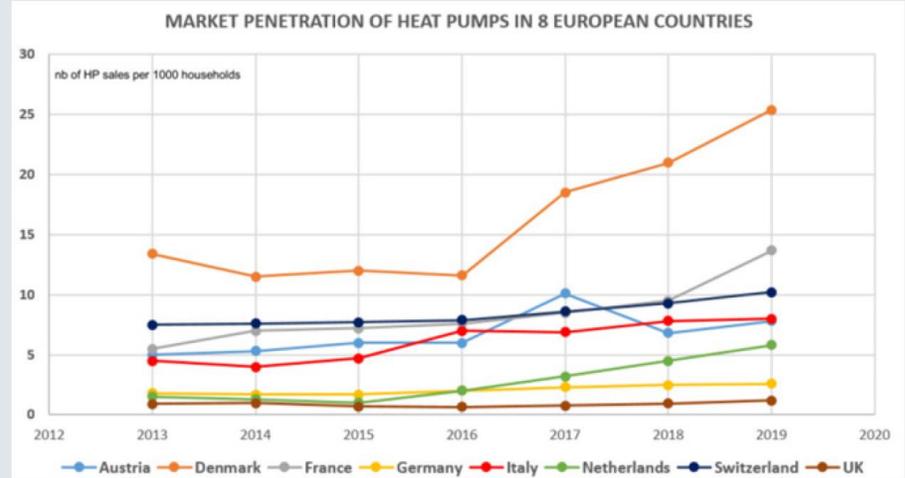
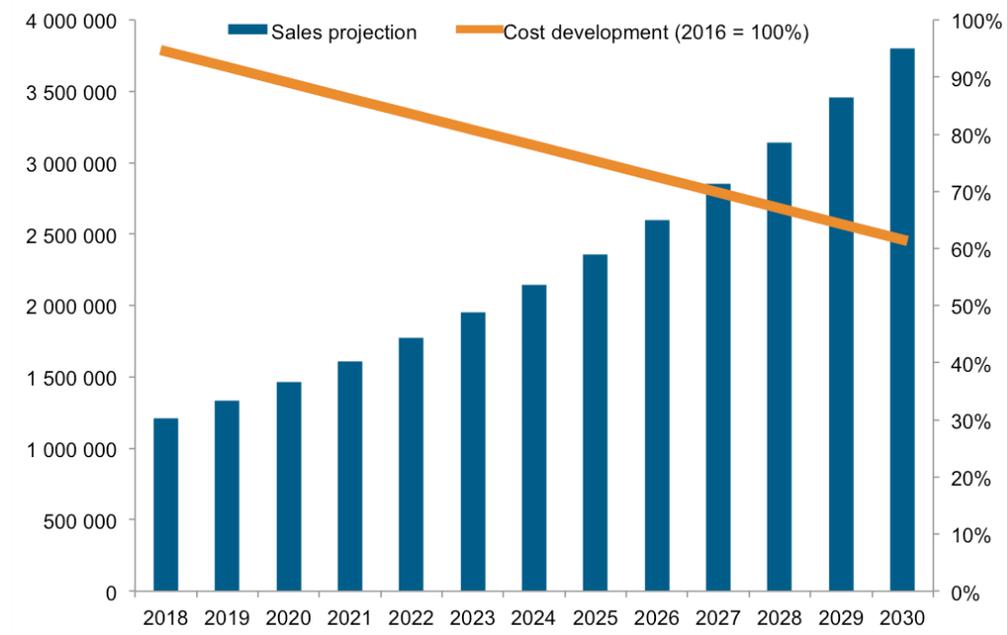


Fig. 1: Residential market penetration in the 8 participating countries (source EHPA www.stats.ehpa.org)

HPT MAGAZINE





Le pompe di calore per «l'elettificazione delle costruzioni»

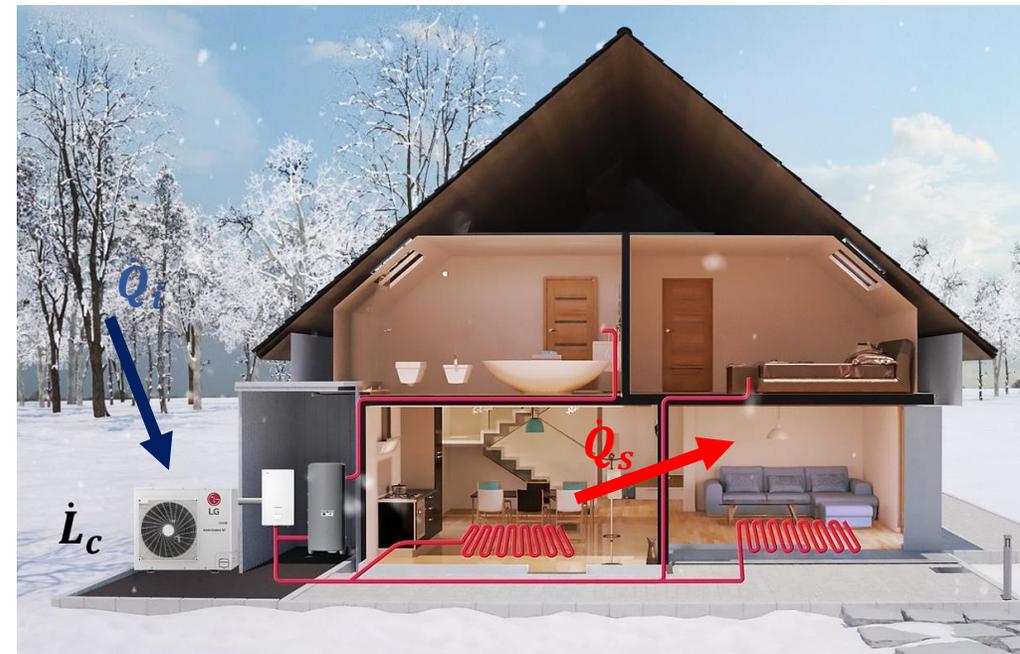
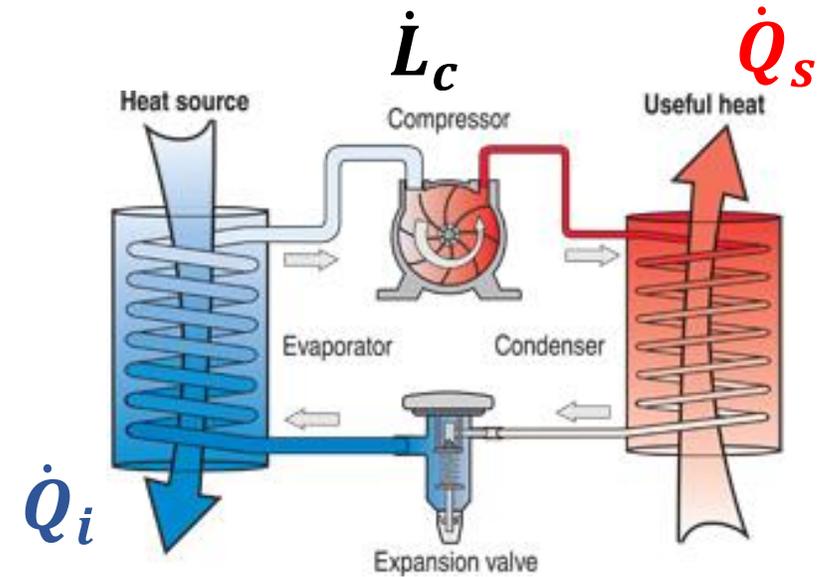
Sono delle macchine termodinamiche e devono sottostare ai bilanci energetici e al tipo di ciclo frigorifero che ne sottende il funzionamento.

Le pompe di calore **aerotermitiche**, **geotermitiche** o **idrotermiche** attingono **energia termica rinnovabile** dall'ambiente, la terra o l'acqua (*DECRETO LEGISLATIVO 8 novembre 2021 , n. 199*) e vengono definite attraverso un **coefficiente di prestazione**.

$$\dot{Q}_s = COP \cdot \dot{L}_c$$

$$f_{P,tot} = f_{P,ren} + f_{P,nren}$$

Due forme di energia rinnovabile in un solo generatore. Potenzialmente annullate le emissioni di CO₂. **Anche l'energia elettrica necessaria al loro funzionamento dovrà essere rinnovabile.**





Si prevede un futuro in cui l'energia elettrica giocherà un ruolo fondamentale e questo predispone uno sviluppo ancora più rilevante delle pompe di calore elettriche .

L'azionamento della **pompa di calore elettrica** (EHP) richiede **energia elettrica** per il funzionamento del compressore. In questa modalità, esse si prestano all'**elettrificazione del settore delle costruzioni** e alla compatibilità con l'impiego delle **fonti rinnovabili**.

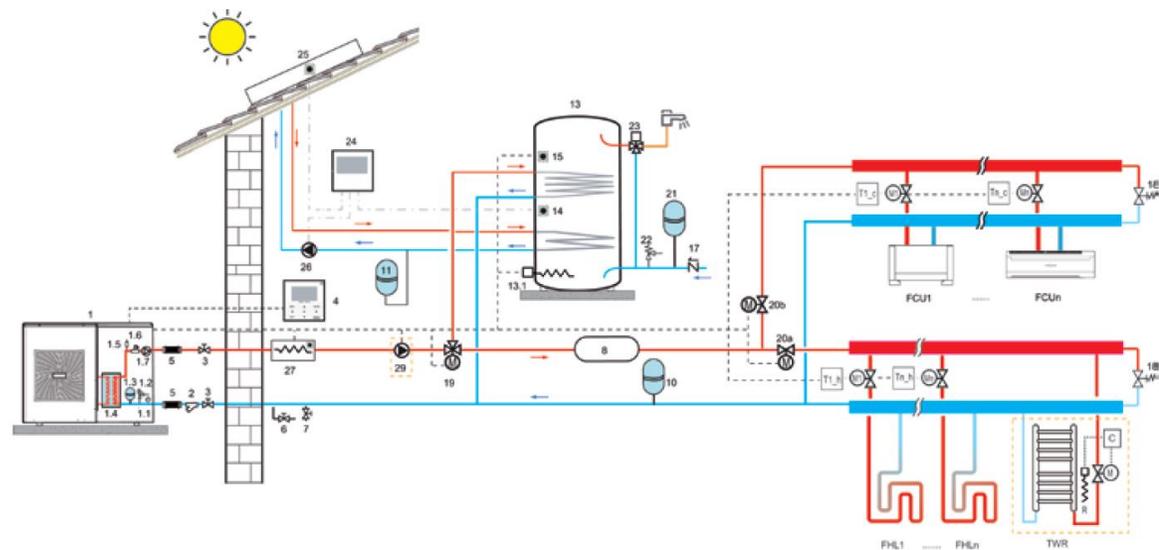
I **sistemi a bassa temperatura** e i relativi **vantaggi termodinamici...**

$$COP_{PdC,rev} = \frac{T_s}{T_s - T_i}$$

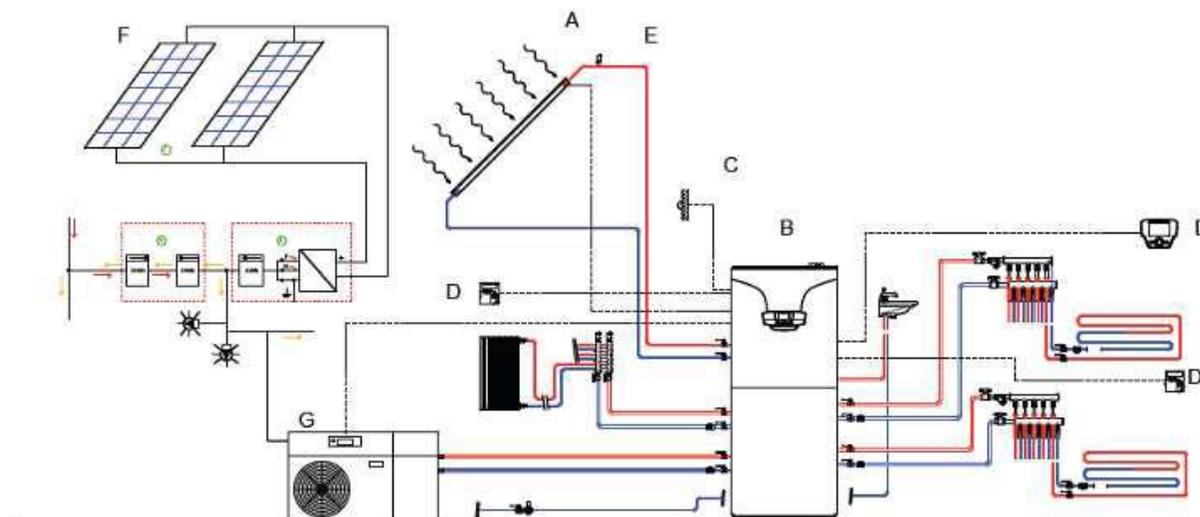


Nelle configurazioni oggi disponibili, le pompe di calore elettriche rappresentano un generatore termico in grado di soddisfare una **molteplicità di richieste energetiche**, anche in edifici complessi.

Consentono l'interazione con **sistemi solari termici** e **impianti fotovoltaici**, onde garantire una completa **elettrificazione dell'edificio** e il soddisfacimento del fabbisogno di riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria.



Schema di impianto a pompa di calore con collettori solari termici (fonte: Ferroli)



Schema di impianto a pompa di calore aria/acqua, caldaia a condensazione, solare termico e solare fotovoltaico (doc. Baxi).



Impianti a espansione diretta di tipo VRF a tre tubi.

Unità multifunzione a più livelli di temperatura

Potenza frigorifera 164 ÷ 491 kW
Potenza termica 176 ÷ 505 kW

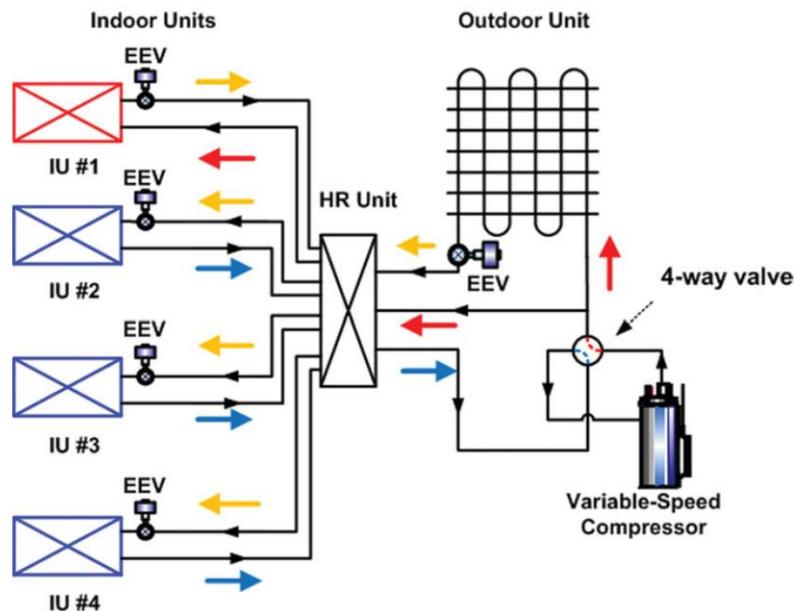
CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO

16
Unità esterne collegabili

1500
Litri di ACS al giorno

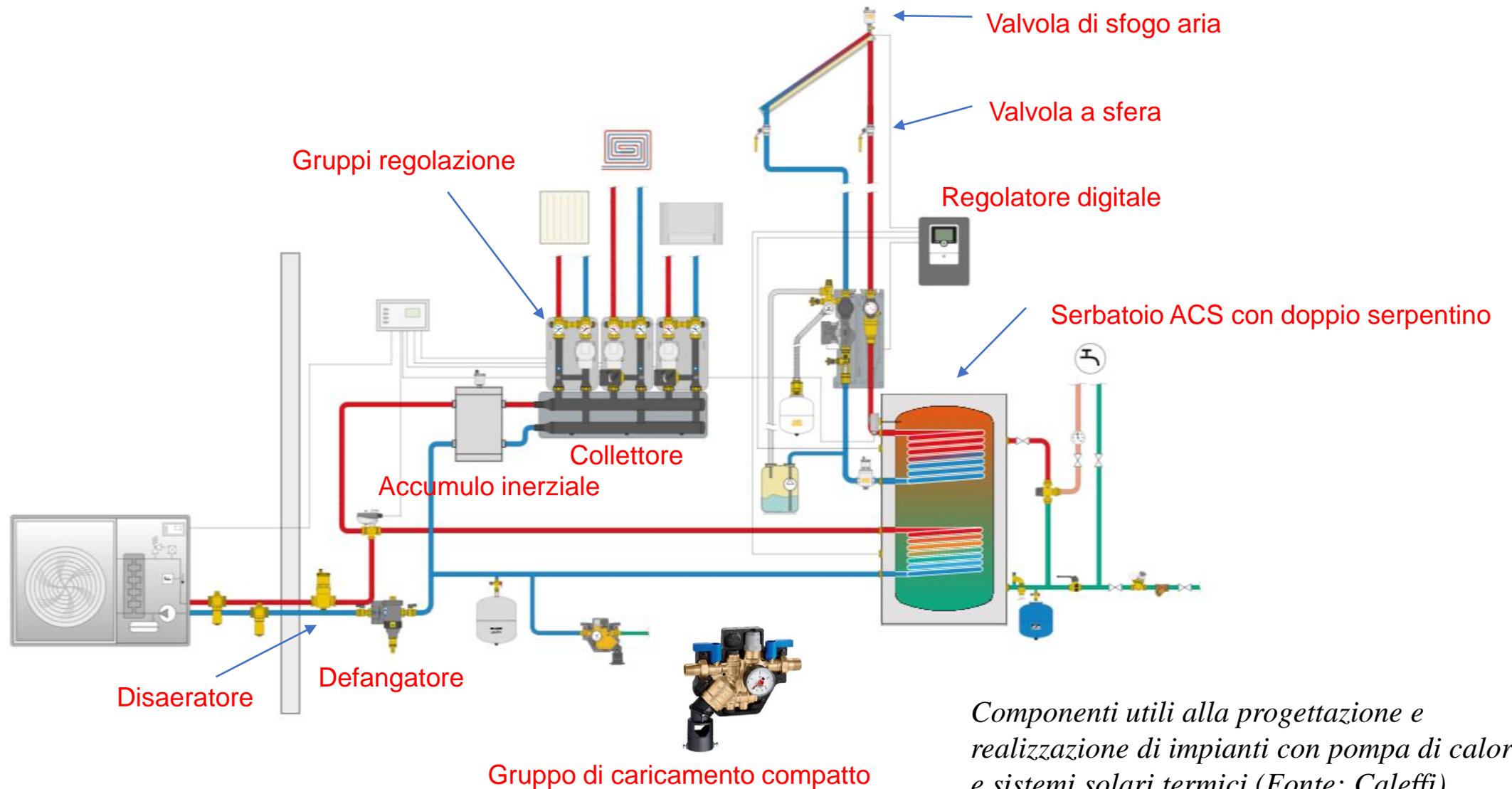
30 kW
combinazione modulare

H SUPER BONUS HOTEL 80%
Per strutture ricettive che effettuano interventi efficientamento energetico.



Pompe di calore per produzione acqua ad alta temperatura in strutture ricettive (Fonte: Mitsubishi).

Unità multifunzione per la produzione contemporanea di caldo e freddo in alberghi, centri commerciali, industrie. Una stessa macchina alimenta i circuiti di riscaldamento, condizionamento e ACS (Fonte: Aermec).



Componenti utili alla progettazione e realizzazione di impianti con pompa di calore e sistemi solari termici (Fonte: Caleffi).

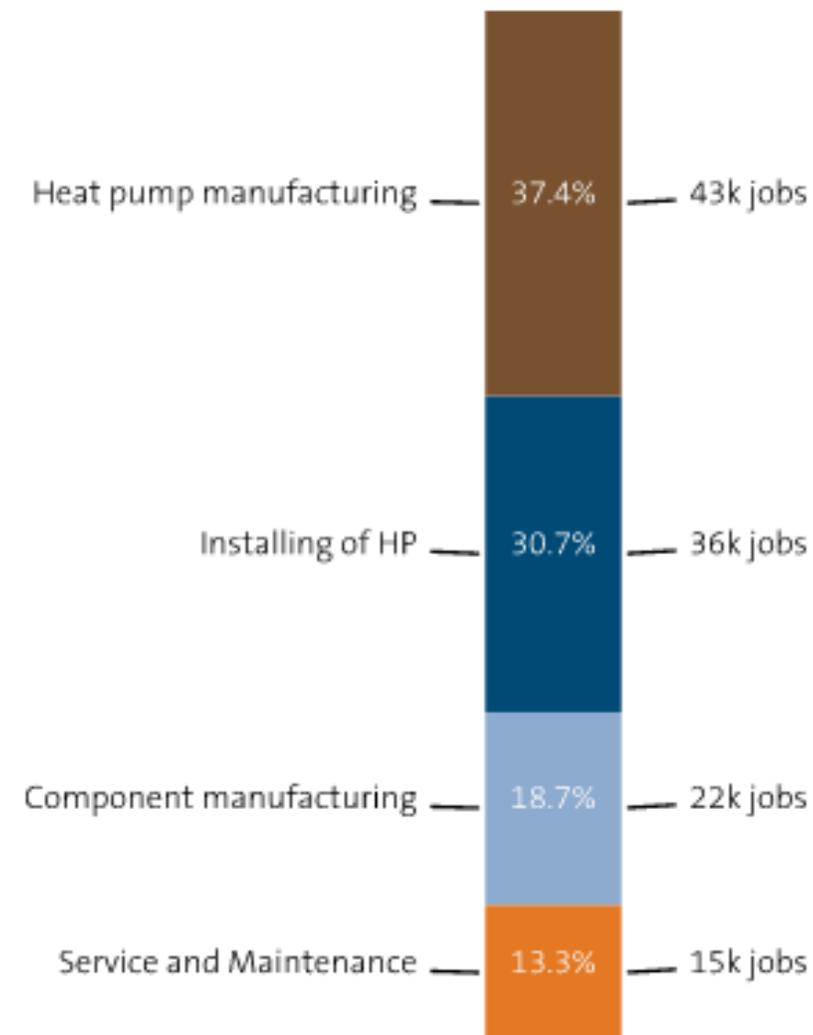


Opportunità di lavoro locale

I produttori europei di pompe di calore e componenti sono tra i leader mondiali in questa tecnologia.

Sulla base del numero di ore lavorative necessarie per installare i diversi tipi di pompe di calore e sulla base delle stime degli esperti sul fatturato per dipendente, **il numero totale di dipendenti nell'industria europea delle pompe di calore è stimato in 116 679 persone, ca. Il 37% di questi è attivo nella produzione di pompe di calore.**

Sia le pompe di calore che i componenti sono sviluppati e prodotti nel continente. L'industria è piuttosto diversificata e spesso è ancora costituita da piccole e medie imprese (Dati EHPA).



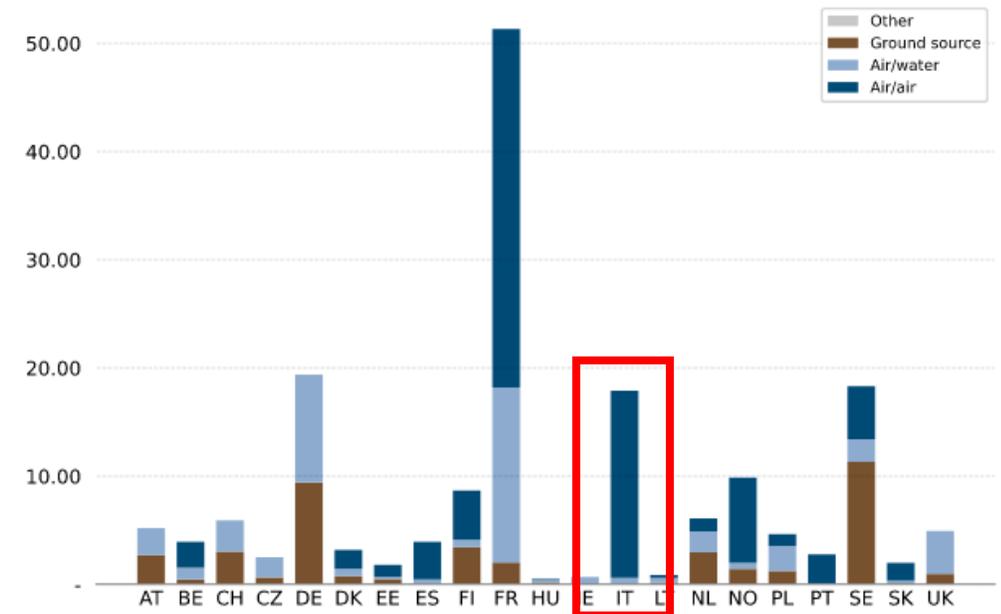


How much green energy did heat pumps provide in 2021?

Le pompe di calore installate nel 2021 in Italia hanno fornito **19.83 TWh di energia termica rinnovabile**.

Le pompe di calore producono già oggi **l'11% dell'energia rinnovabile obiettivo per il 2021**, per riscaldamento e raffrescamento. (Source: European Commission, *EU energy trends to 2030 (update 2009)*, p.66.).

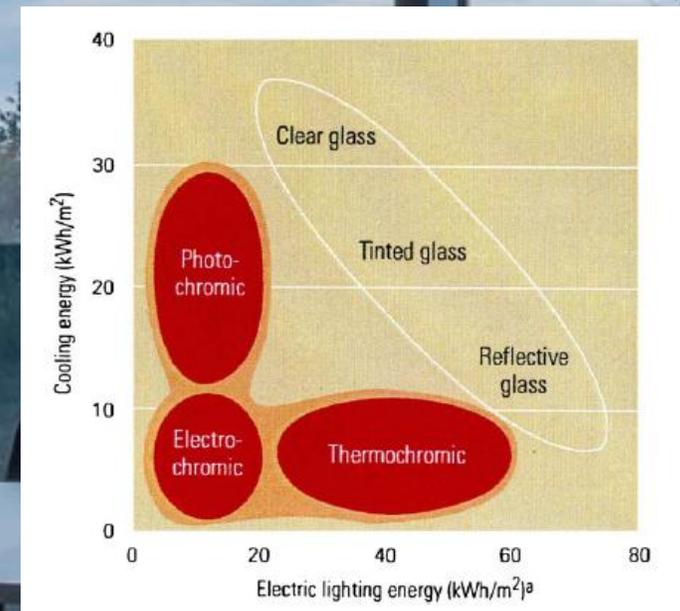
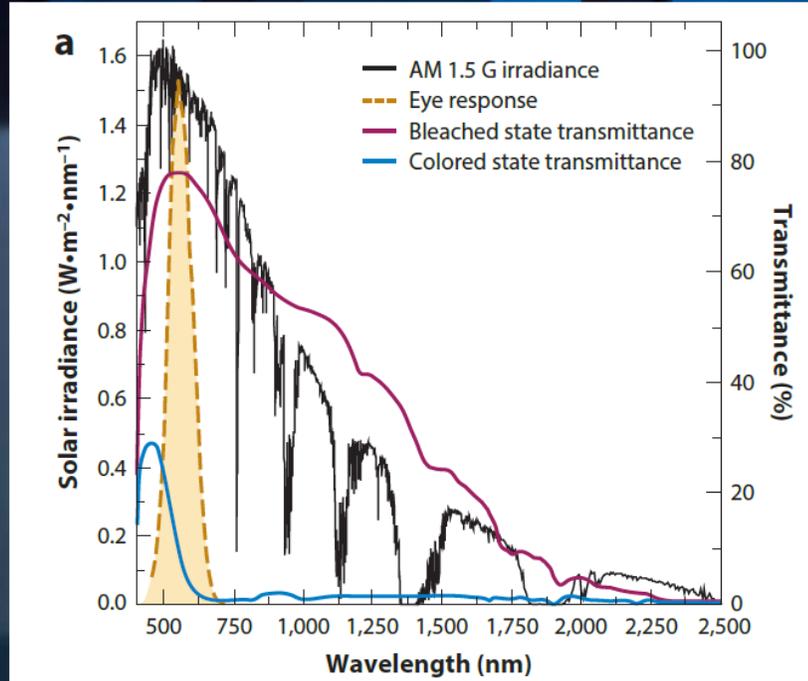
Se si compara la domanda di energia delle pompe di calore con le caldaie a condensazione, solo nel 2021 si è ottenuto un **risparmio di 10.97 TWh di energia primaria**.



Energia rinnovabile termica prodotta nel 2021 da pompe di calore, in TWh.

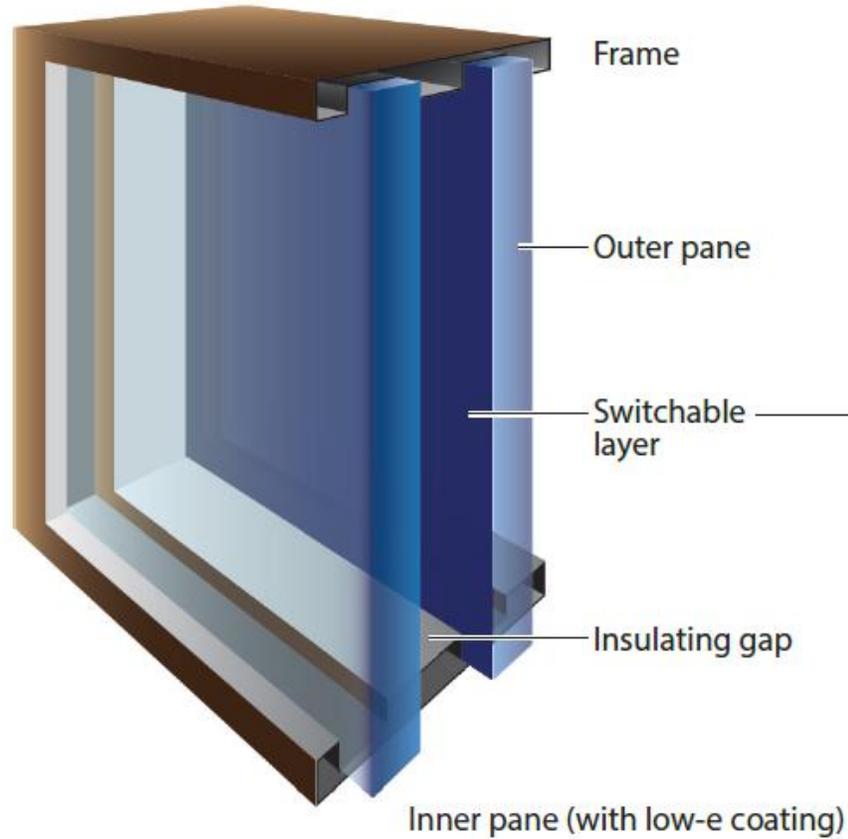


Radiazione solare e Smart Windows

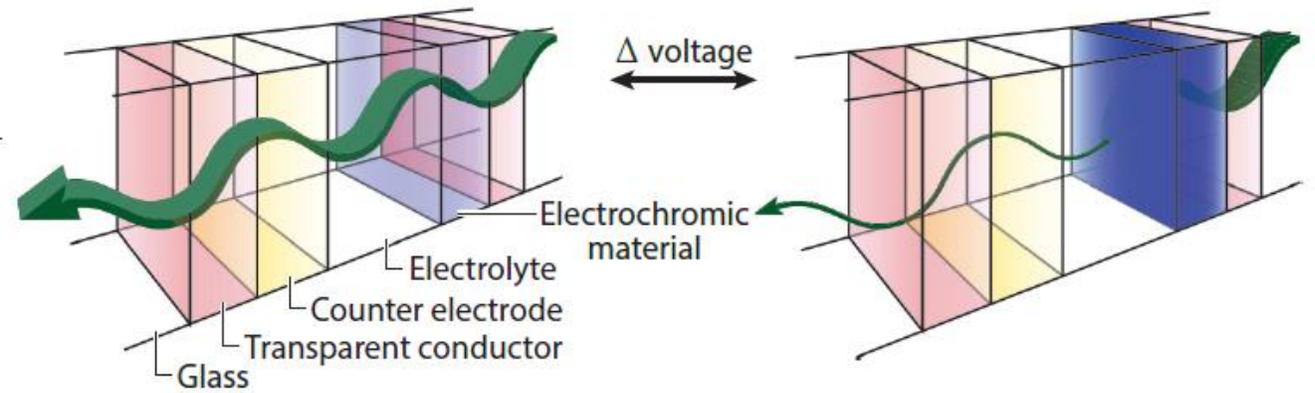


Modulazione dinamica delle proprietà spettrali

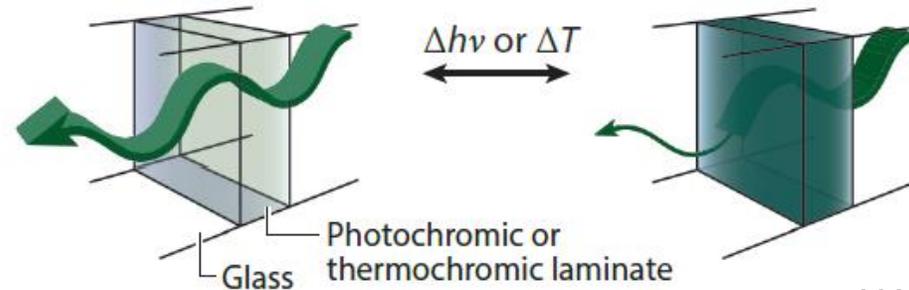
a Double-paned insulated glass unit (IGU)



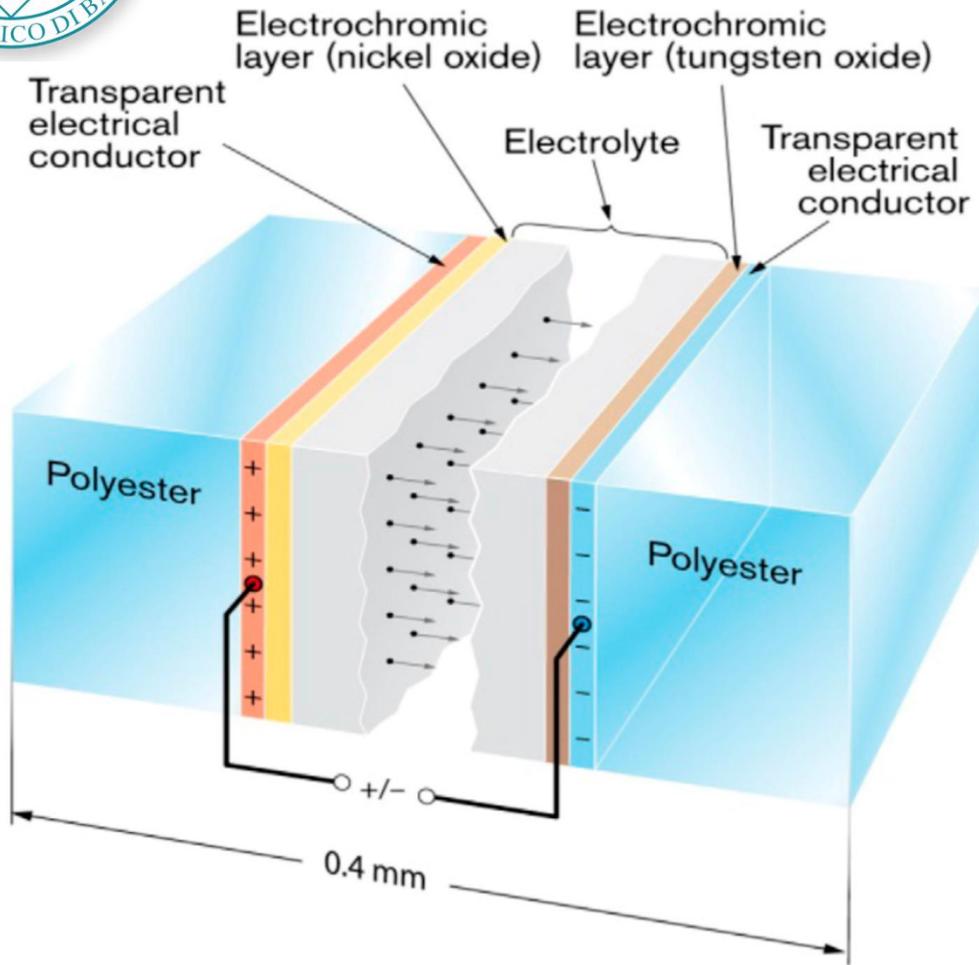
b Electrochromic



c Photochromic or thermochromic



Wang, Milliron, 2016



ARCHITECT: Polk Stanley Wilcox Architects
GLAZING CONTRACTOR: Architectural Glass and Metals, Inc.

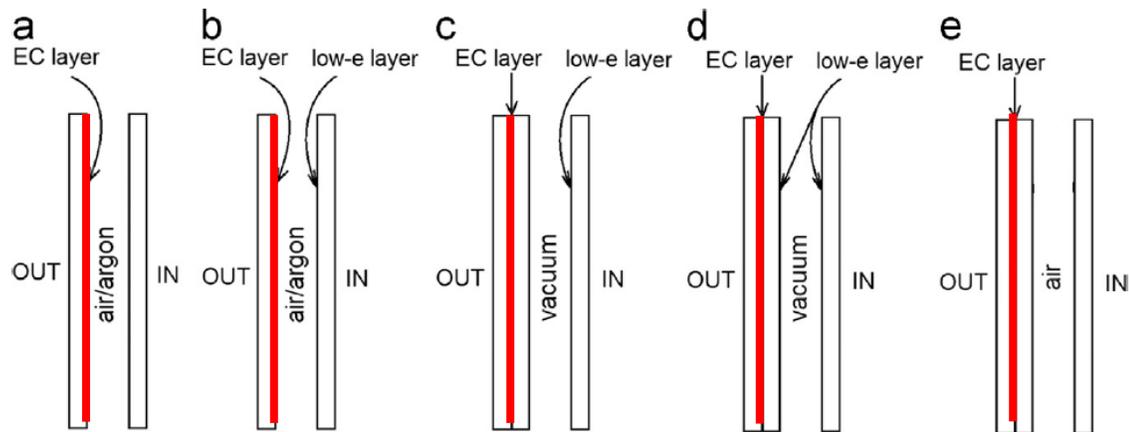


Habitat Lab – Milano



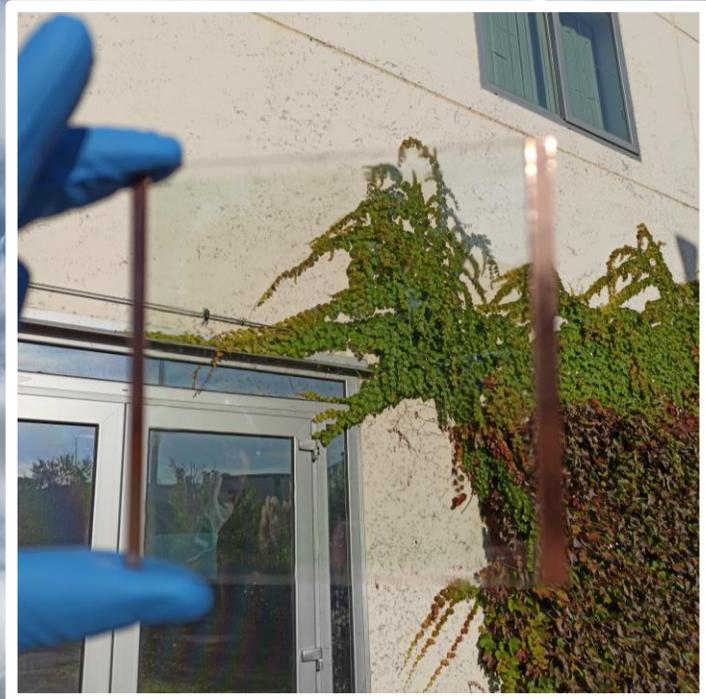
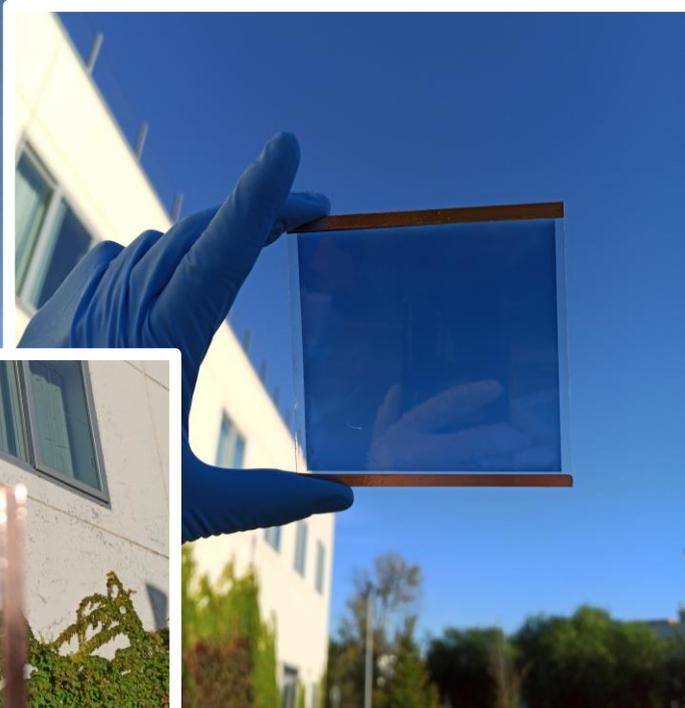


Requisiti prestazionali di una Smart Window

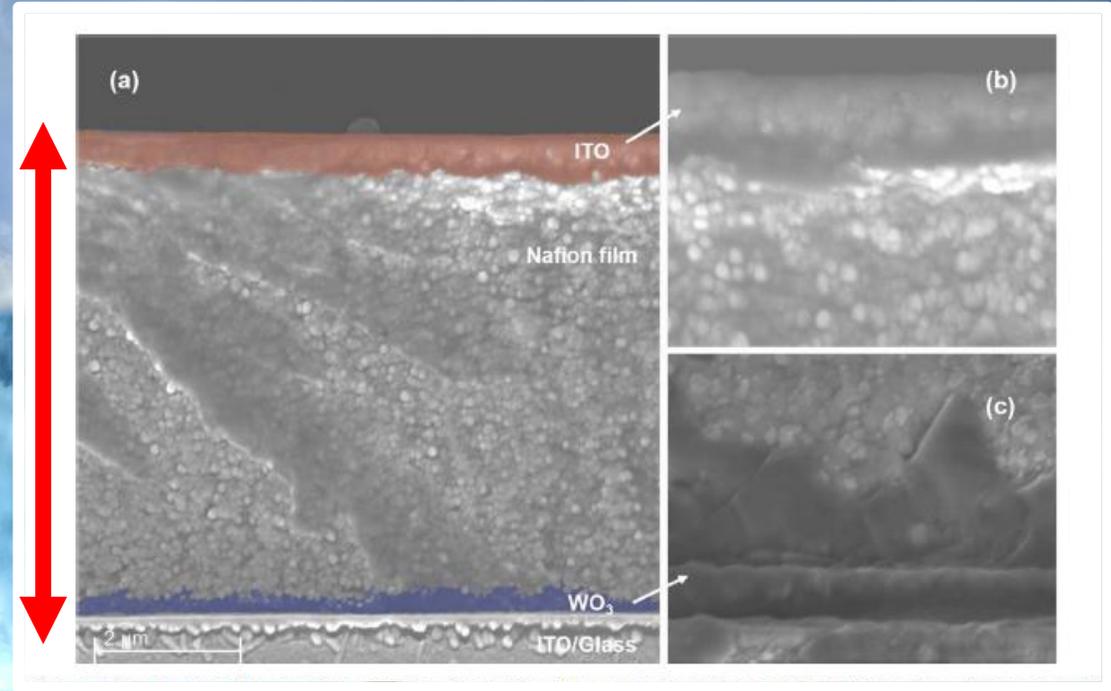


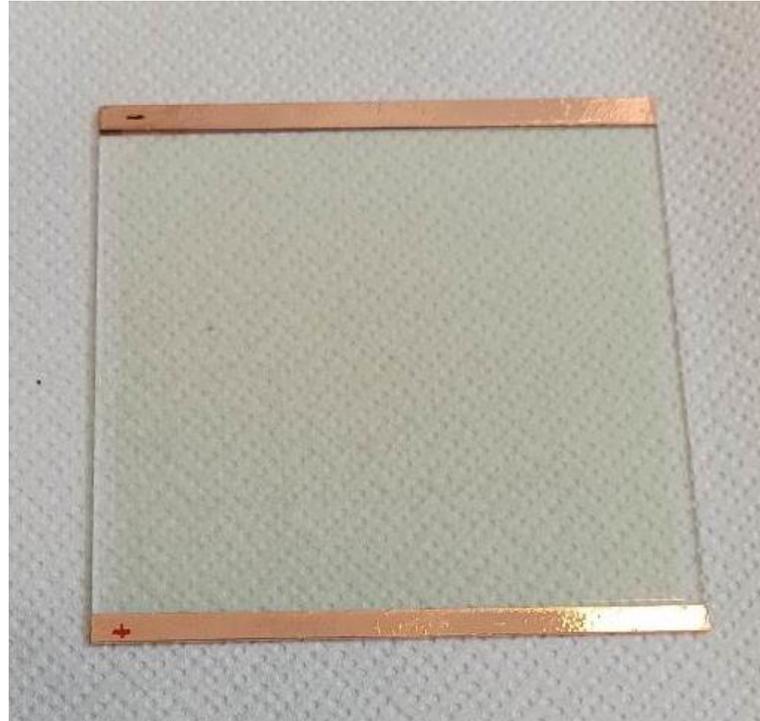
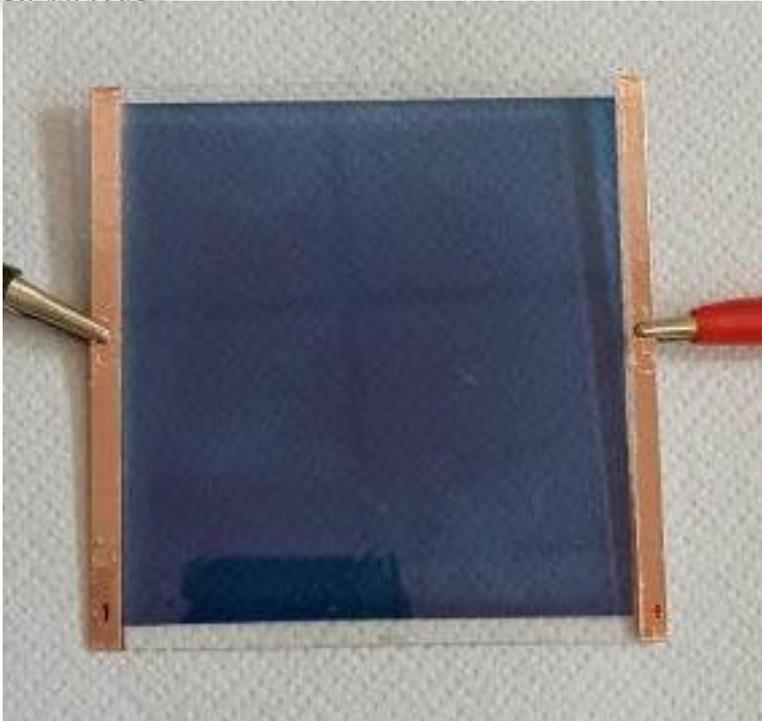
Performance requirements for EC windows.

Performance indicator	Value
Switching voltage	$\leq 5 \text{ V}$
Switching time	$\leq 10 \text{ s to } 5 \text{ min}$
Optical memory	2–24 h
T_V	60–70 % (bleached) 6–7% (coloured) – energy tasks < 3% (coloured) – visual comfort tasks
SHGC	≥ 0.6 (bleached) ≤ 0.2 (coloured) $SGHC_{max}/SGHC_{min} \geq 3$ – energy tasks
ρ_{nir}	≤ 0.1 (bleached) ≥ 0.7 (coloured)
$U \text{ (W m}^{-2} \text{ K}^{-1}\text{)}$	≤ 1.2
CRI	≥ 80
Lifetime	20–30 years 25,000–50,000 cycles
Operating temperatures	– 30 to 90 °C



5 ÷ 8 μm





A. Cannavale et al.

Solar Energy Materials and Solar Cells 241 (2022) 111760

Table 2

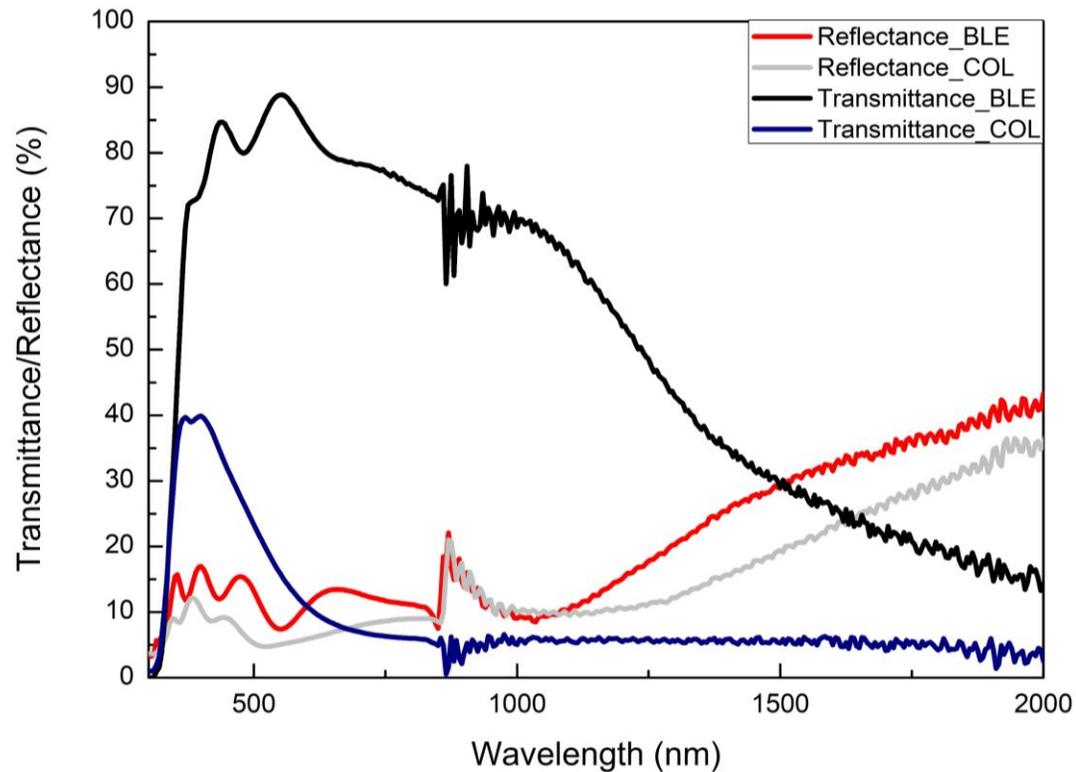
Thermal and optical properties of Device AS in bleached and colored conditions (ϵ_f and ϵ_b represent the emissivity of front and back surface of glazing, respectively).

Device state	T_{vis}	T_{sol}	R_{fvis}	R_{bvis}	R_{fsol}	R_{bsol}	ϵ_f	ϵ_b	SHGC
AS bleached	0.77	0.67	0.08	0.18	0.08	0.16	0.84	0.52	0.73
AS colored	0.26	0.25	0.08	0.18	0.08	0.16	0.84	0.52	0.39

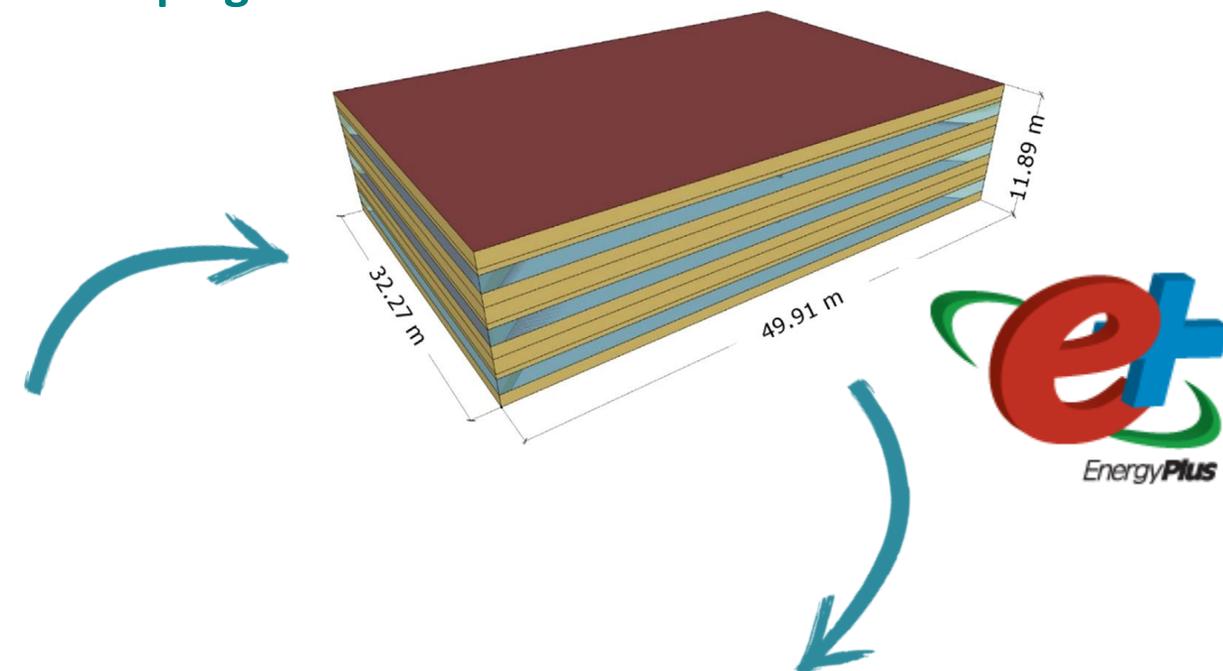


Impiego di modelli validati in simulazioni dinamiche

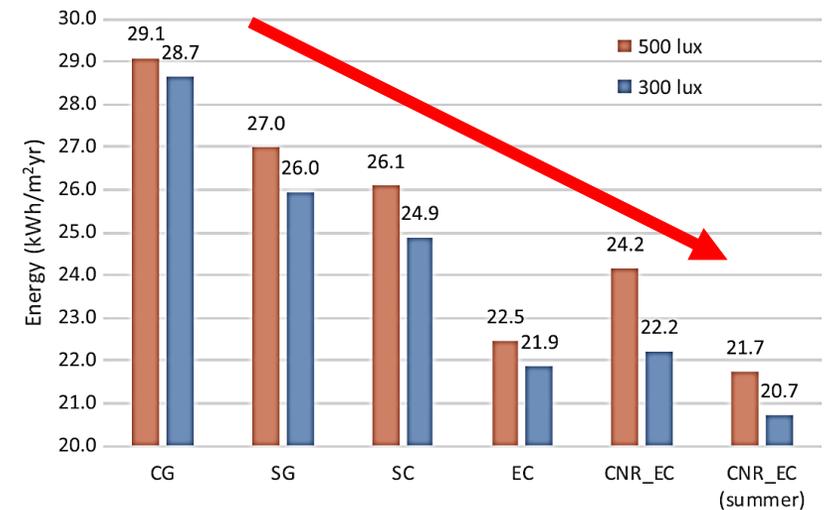
Misure sperimentali su dimensioni prototipali



Cannavale et al., Applied Energy 225 (2018) 975–985



Previsione dei benefici energetici e illuminotecnici



Fotovoltaico ad alta trasparenza: un ossimoro?

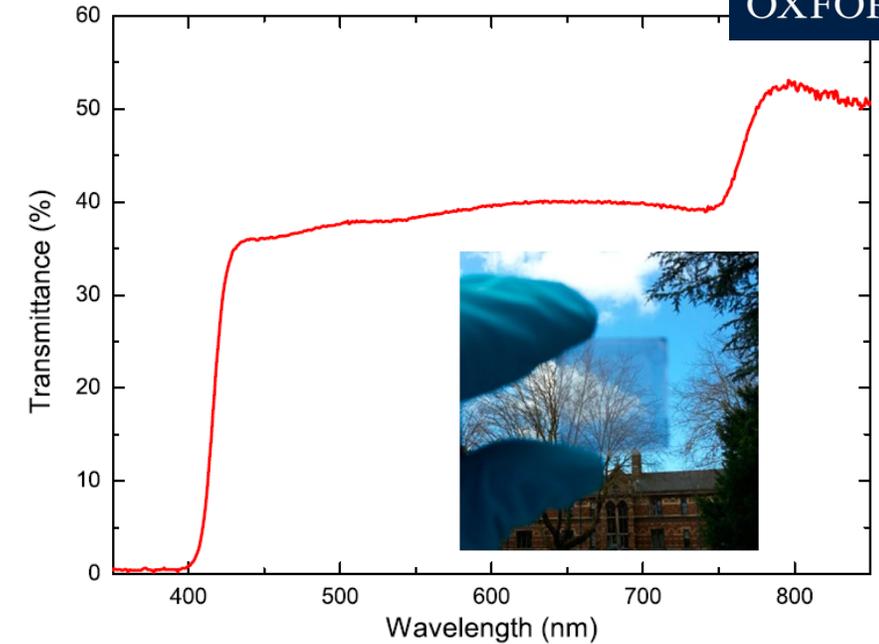
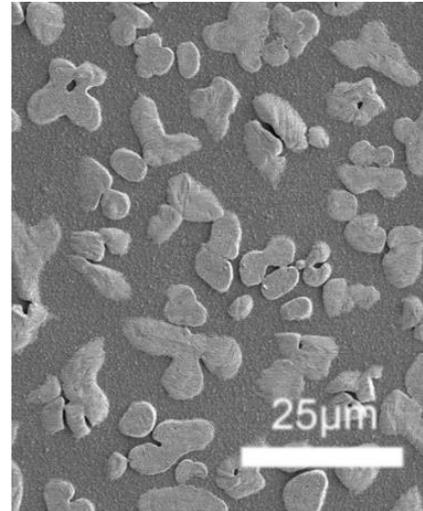
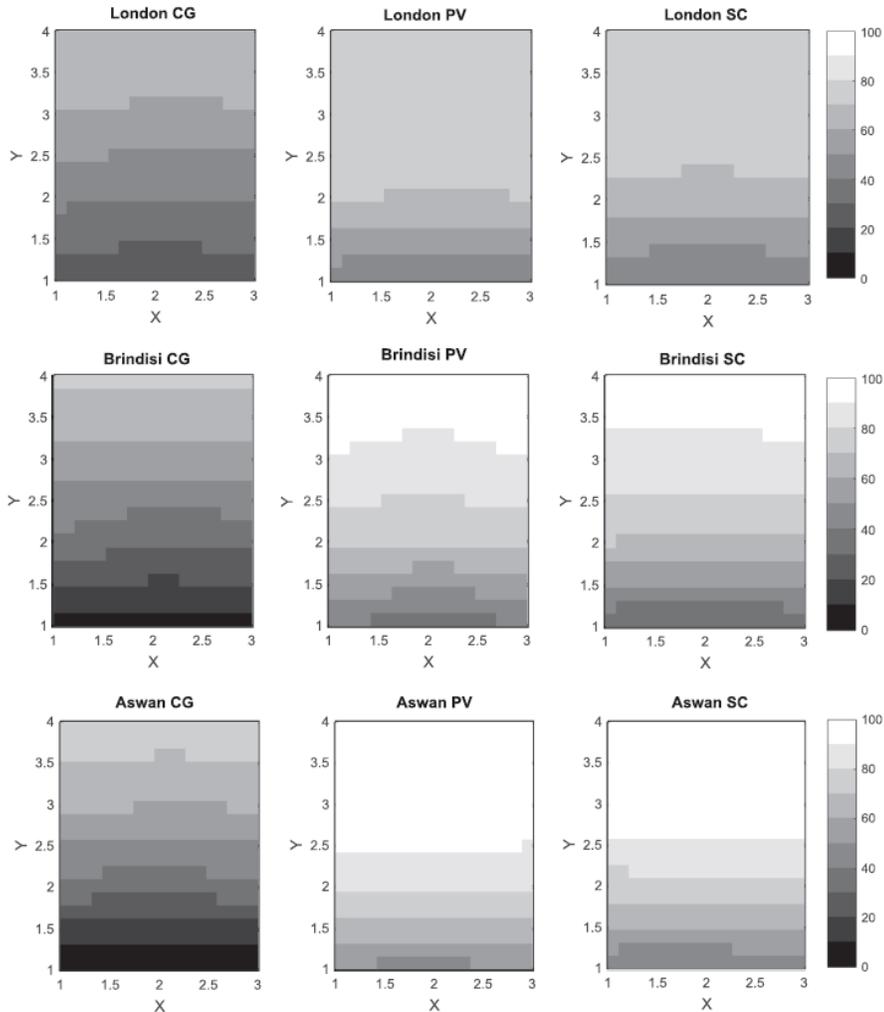


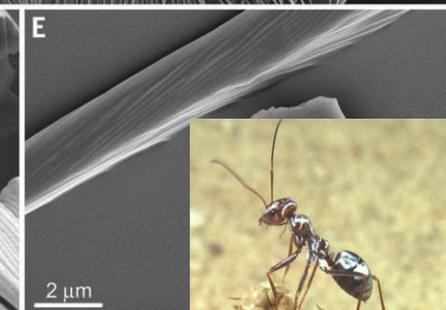
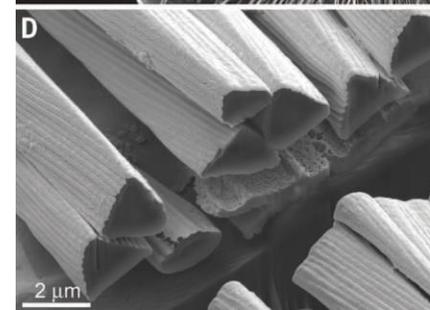
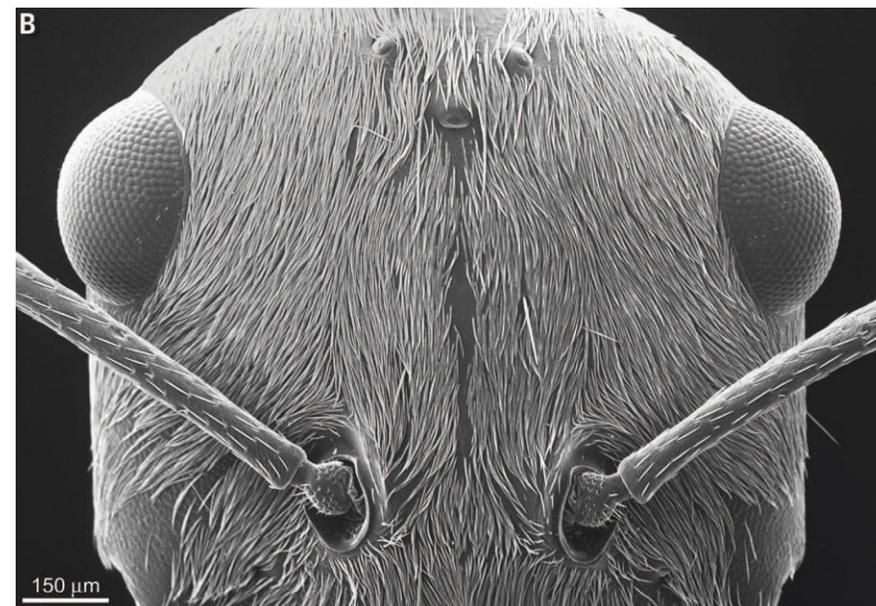
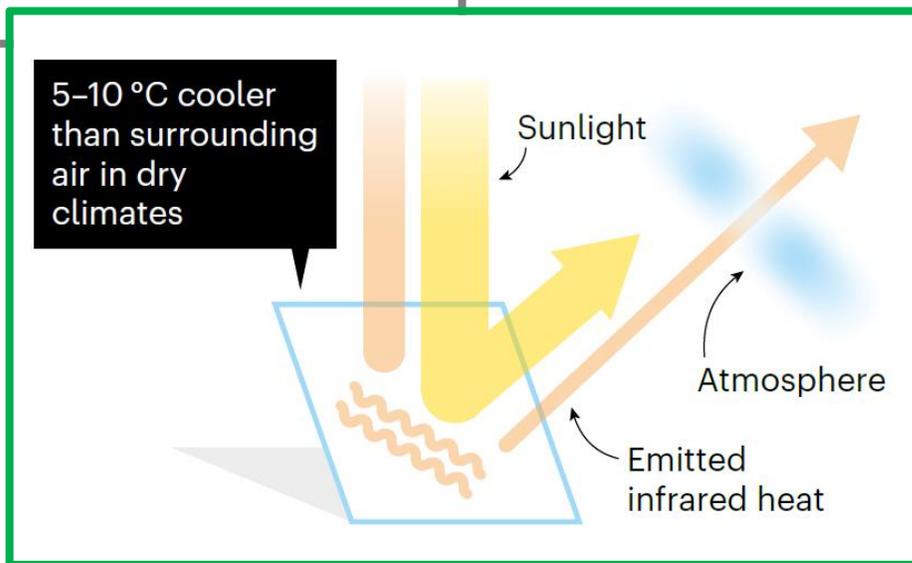
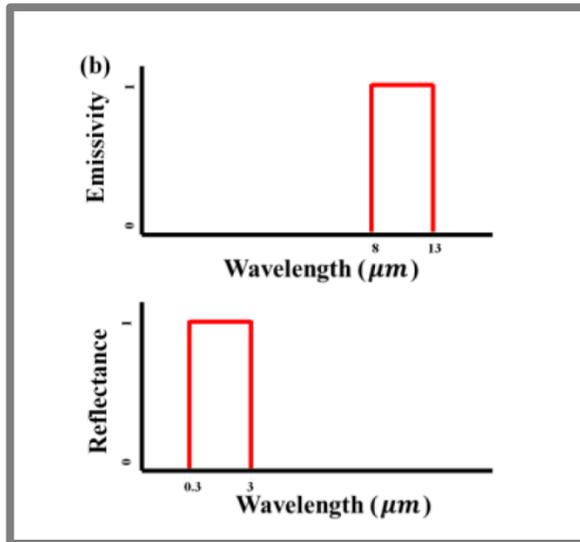
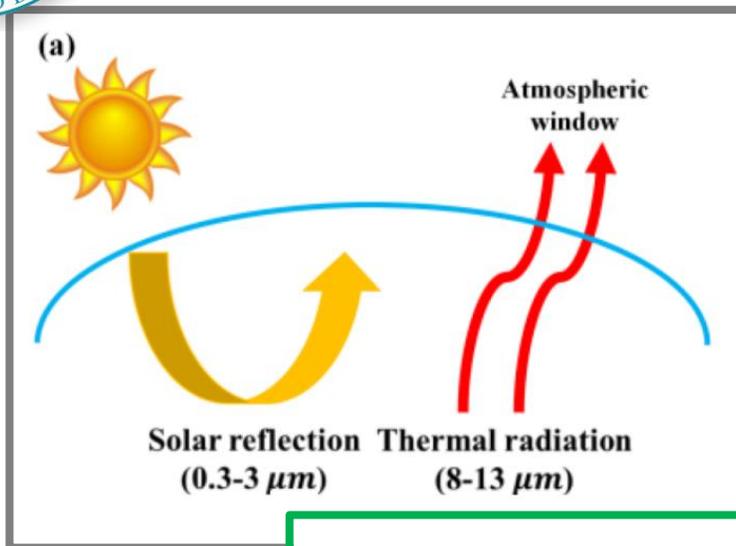
Table 6

Use of electric lighting for offices having strip windows with a WWR = 32%. Load is meant as the annual electric lighting energy load in the test room; Yield is the Annual Electric energy yield (including temperature effect).

Location	Type of glazing	LOAD [kWh/yr]	YIELD [kWh/yr]	Yield/Load [%]
Brindisi	CG	78	-	-
	SC	108	-	-
	PV	118	129.0	109.3
London	CG	136	-	-
	SC	198	-	-
	PV	200	82.40	41.2
Aswan	CG	52	-	-
	CG	68	-	-
	PV	68	143.40	210.9

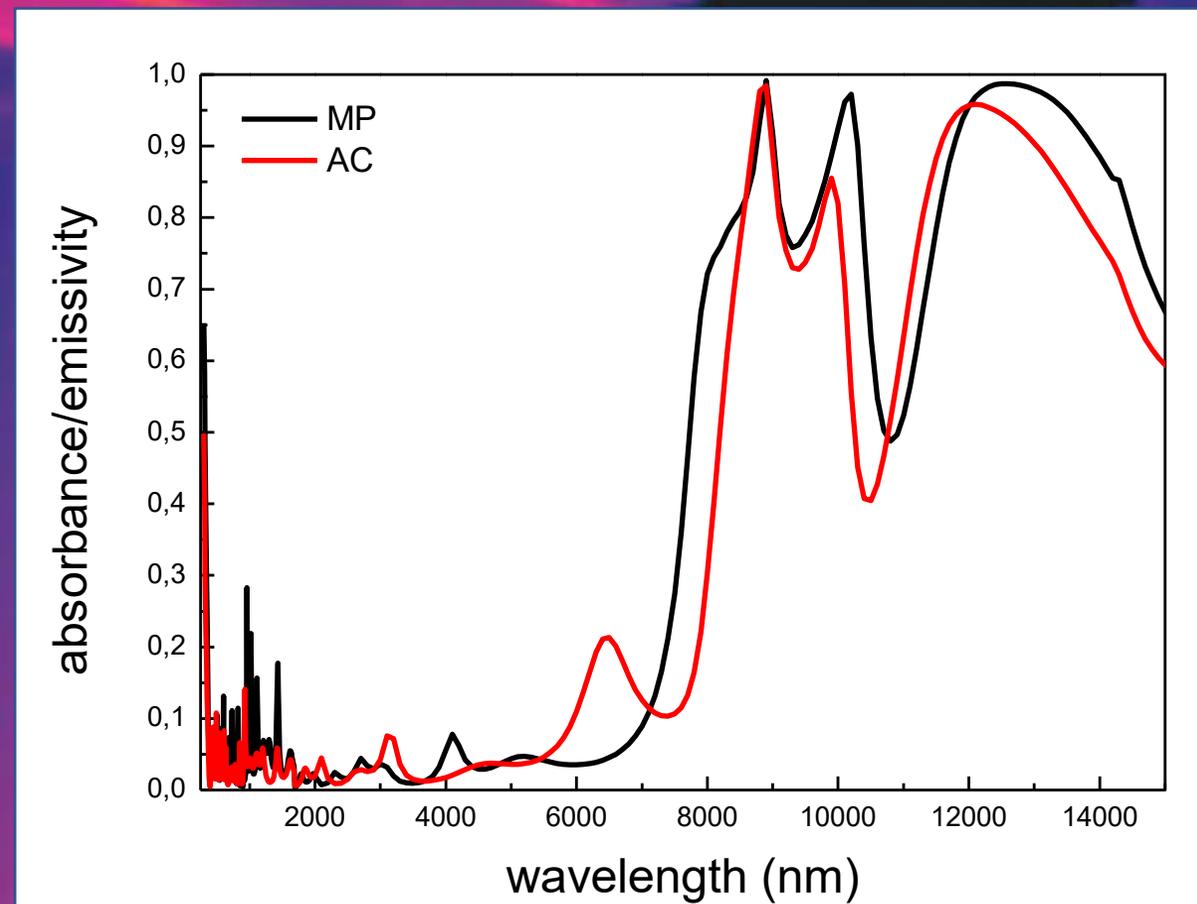
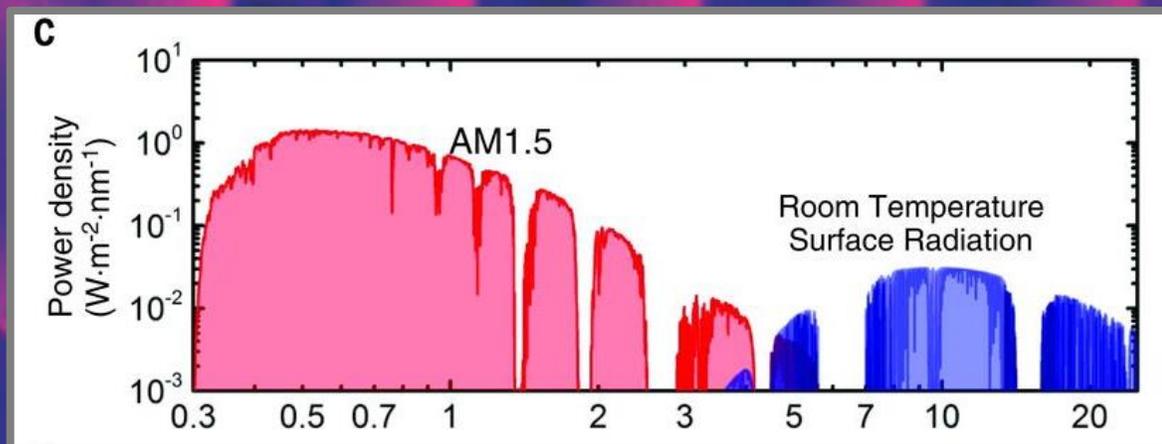
Cannavale et al., Applied Energy 194 (2017) 94–107.

Calore verso lo spazio: il raffreddamento radiativo passivo



Shi et al., Science, 2015

“Il condizionamento del futuro”: passive radiative cooling.



$$P_{\text{cool}}(T) = P_{\text{rad}}(T) - P_{\text{atm}}(T_{\text{amb}}) - P_{\text{Sun}} - P_{\text{cond+conv}}$$



Grazie per la cortese attenzione!

alessandro.cannavale@poliba.it

**Gruppo di Fisica Tecnica
Politecnico di Bari**

