



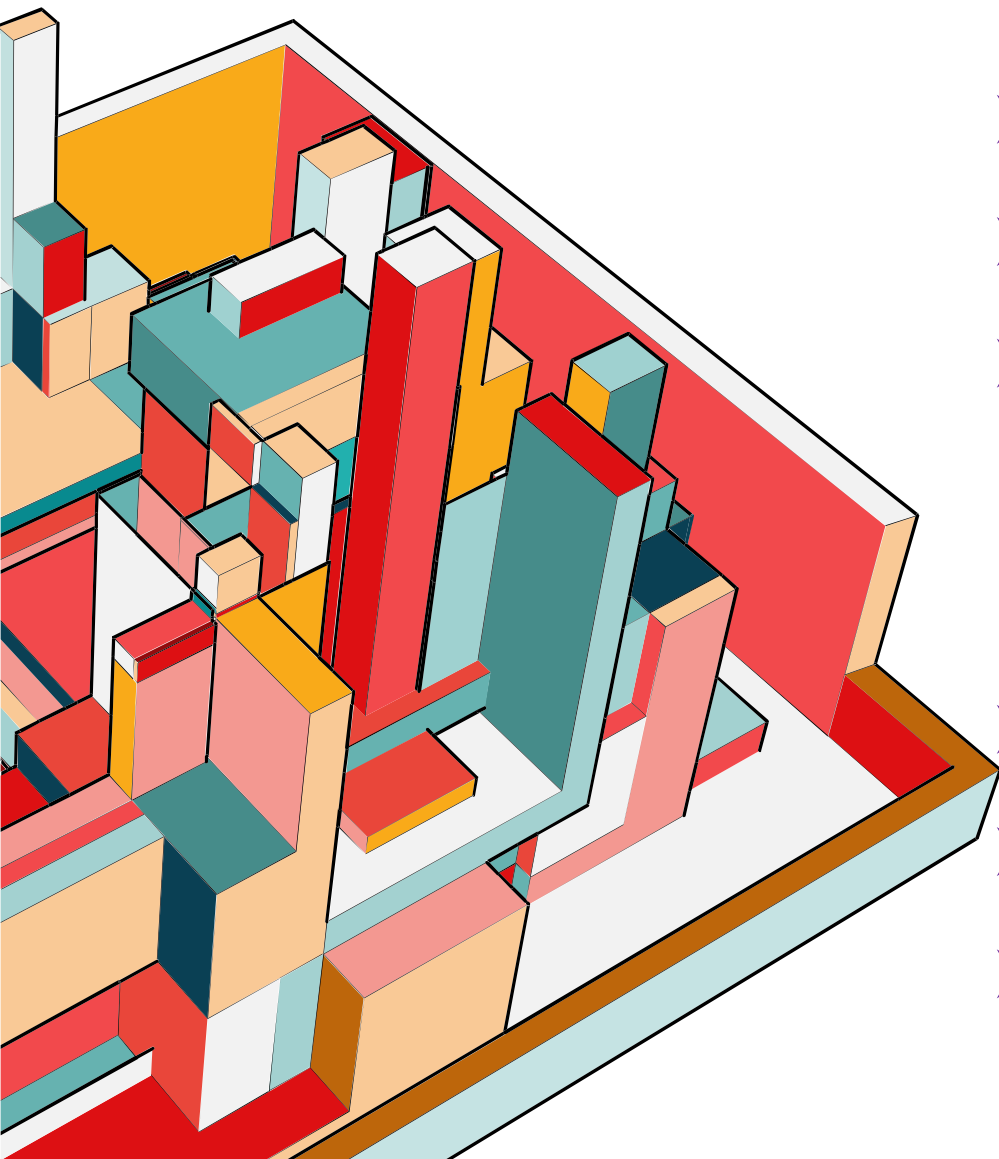
I risparmi energetici ed economici conseguibili con il Superbonus

Gerardo Maria Mauro
germauro@unisannio.it



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DEL SANNIO Benevento





Sommario

- Edifici, Energia, Entropia
- Il ruolo degli Incentivi
- Tecnologie per l'Efficientamento
 - Standard
 - Innovative
- Come simulare le prestazioni dell'edificio?
- Ristrutturazione Energetica: Casi Studio
- Risparmi conseguibili: Numeri e Parole

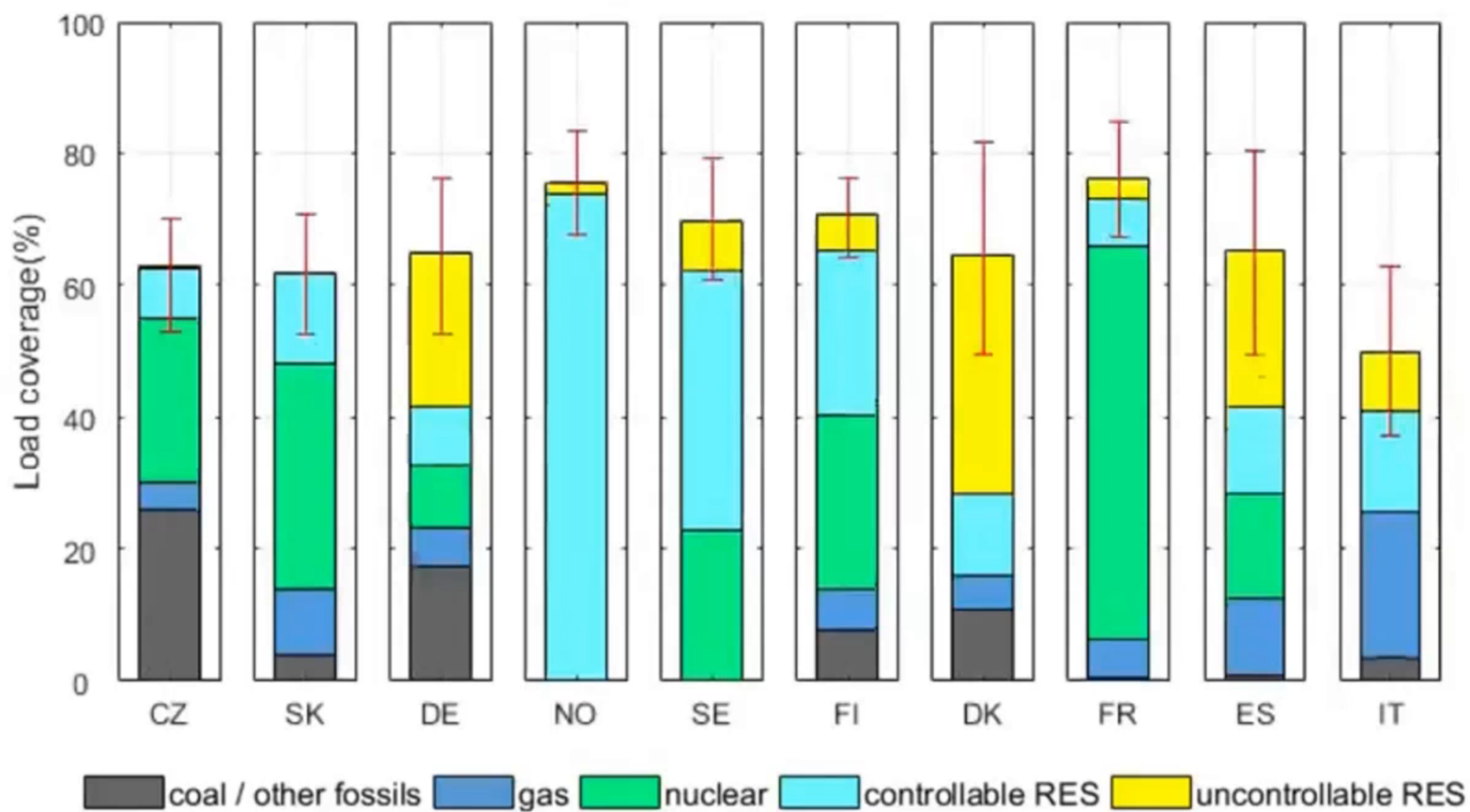




Towards grid-responsive buildings

Daily electrical grid performance across the EU

04-Jan-2021



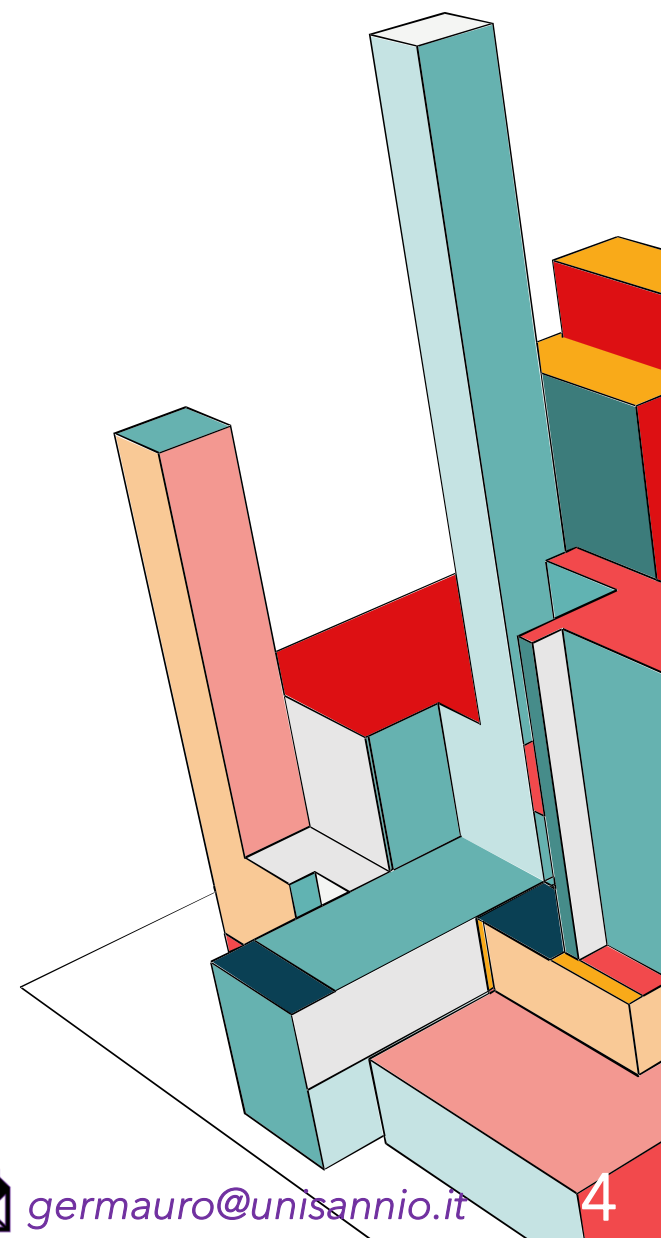
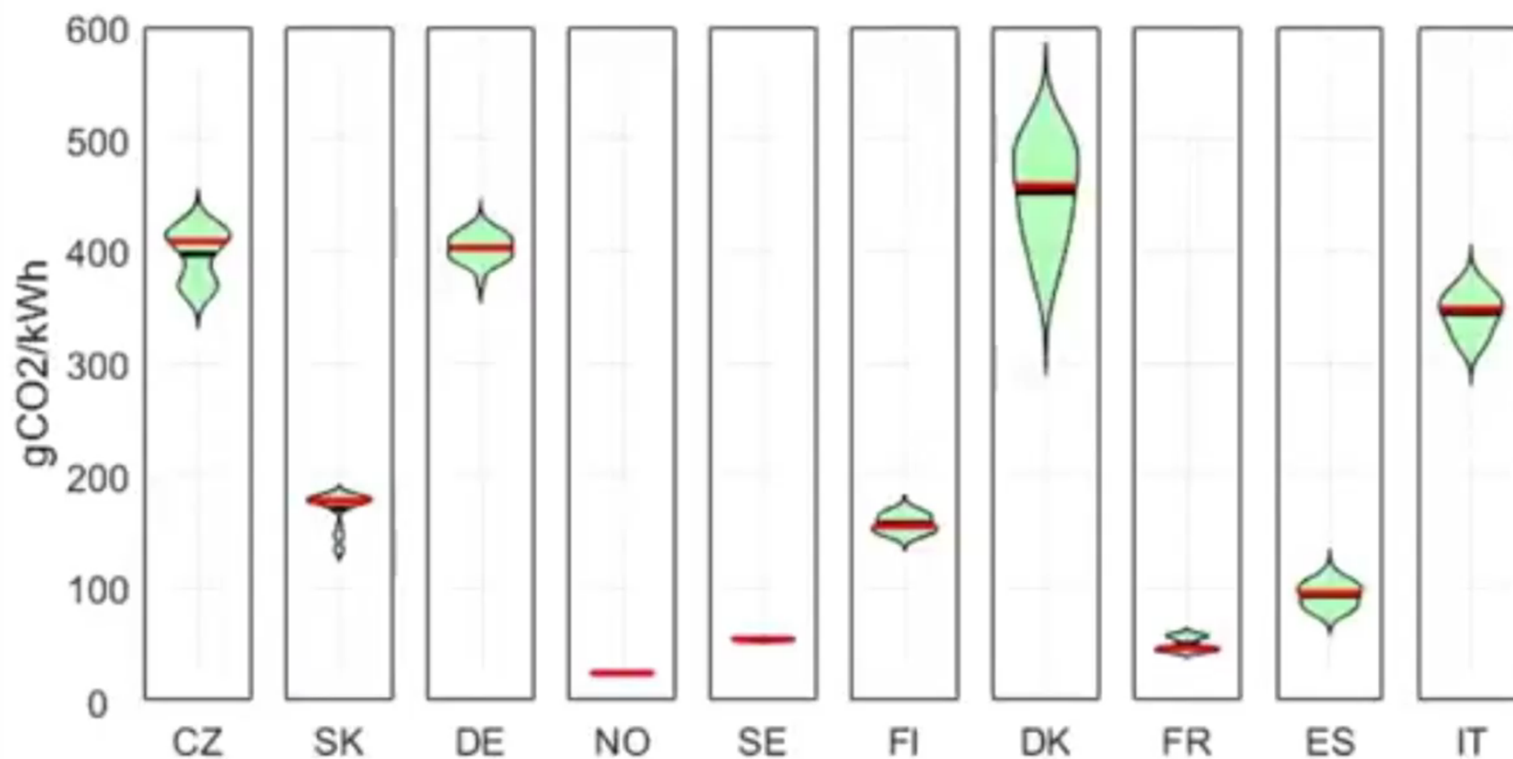
germauro@unisannio.it



Towards grid-responsive buildings

Daily carbon intensity of the grid across the EU

02-Jan-2021



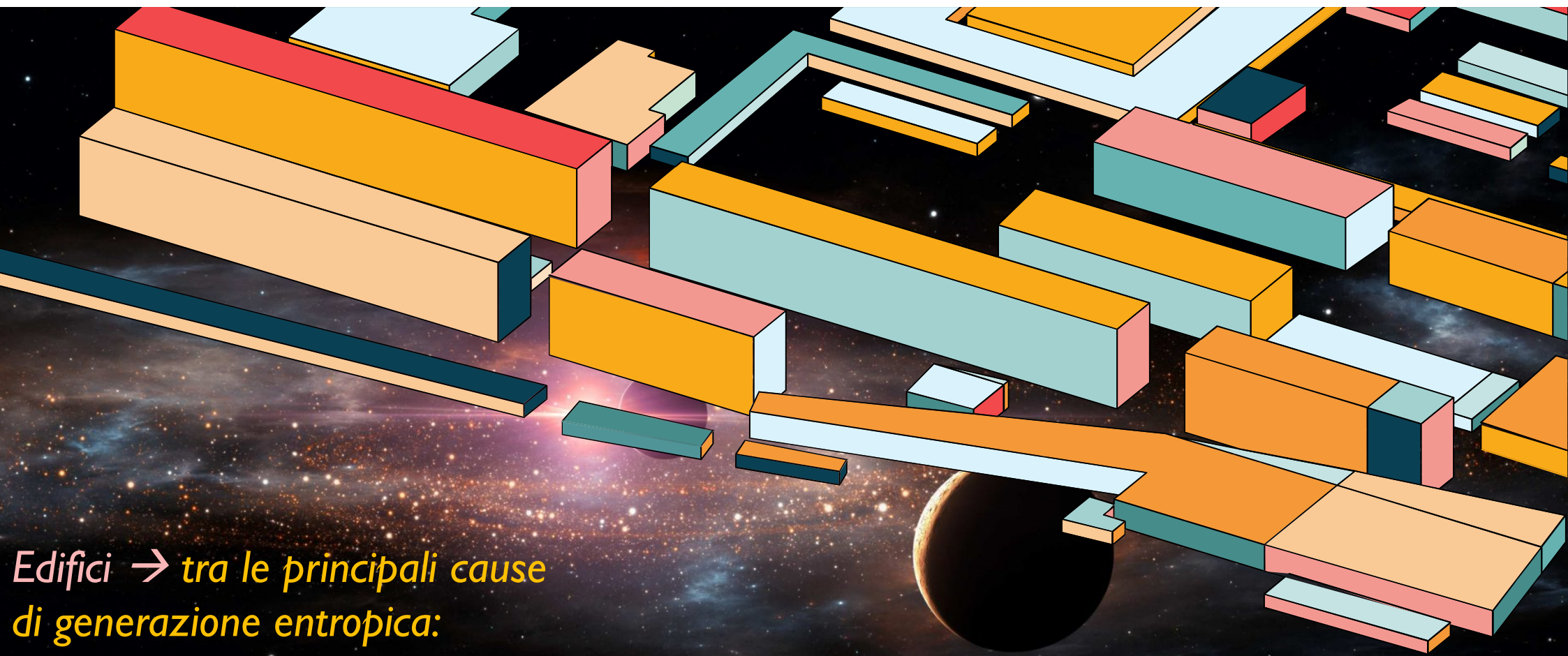
germauro@unisannio.it



Il legge:
«è impossibile realizzare
una trasformazione il cui unico risultato
sia quello di trasferire calore da un
corpo più freddo a uno più caldo»

(Rudolf Clausius 1822 $\rightarrow \infty$)

Entropia:
«measure of the loss of useful power»



*Edifici → tra le principali cause
di generazione entropica:
~ 40% dei consumi energetici ed emissioni CO₂-eq
(di cui ~ 35% per HVAC)*

Esercizio degli Edifici → tra le principali spese per le famiglie (~ 1300 €/anno)

Efficientare gli edifici significa:

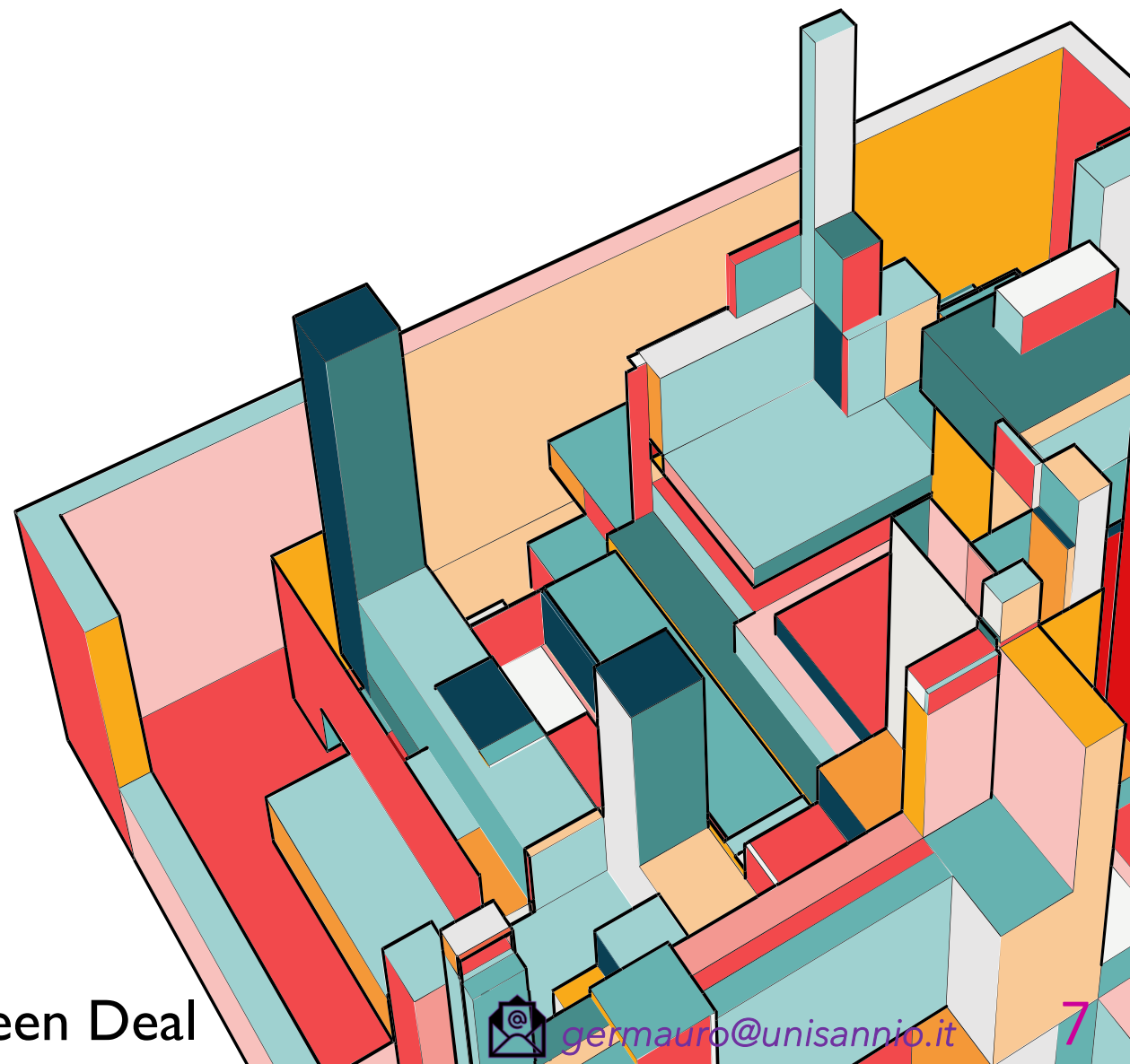
- 🎯 ridurre consumi ed emissioni:
prospettiva pubblica 😊
- 🎯 ridurre costi di esercizio:
prospettiva privata 😊

Problemi:

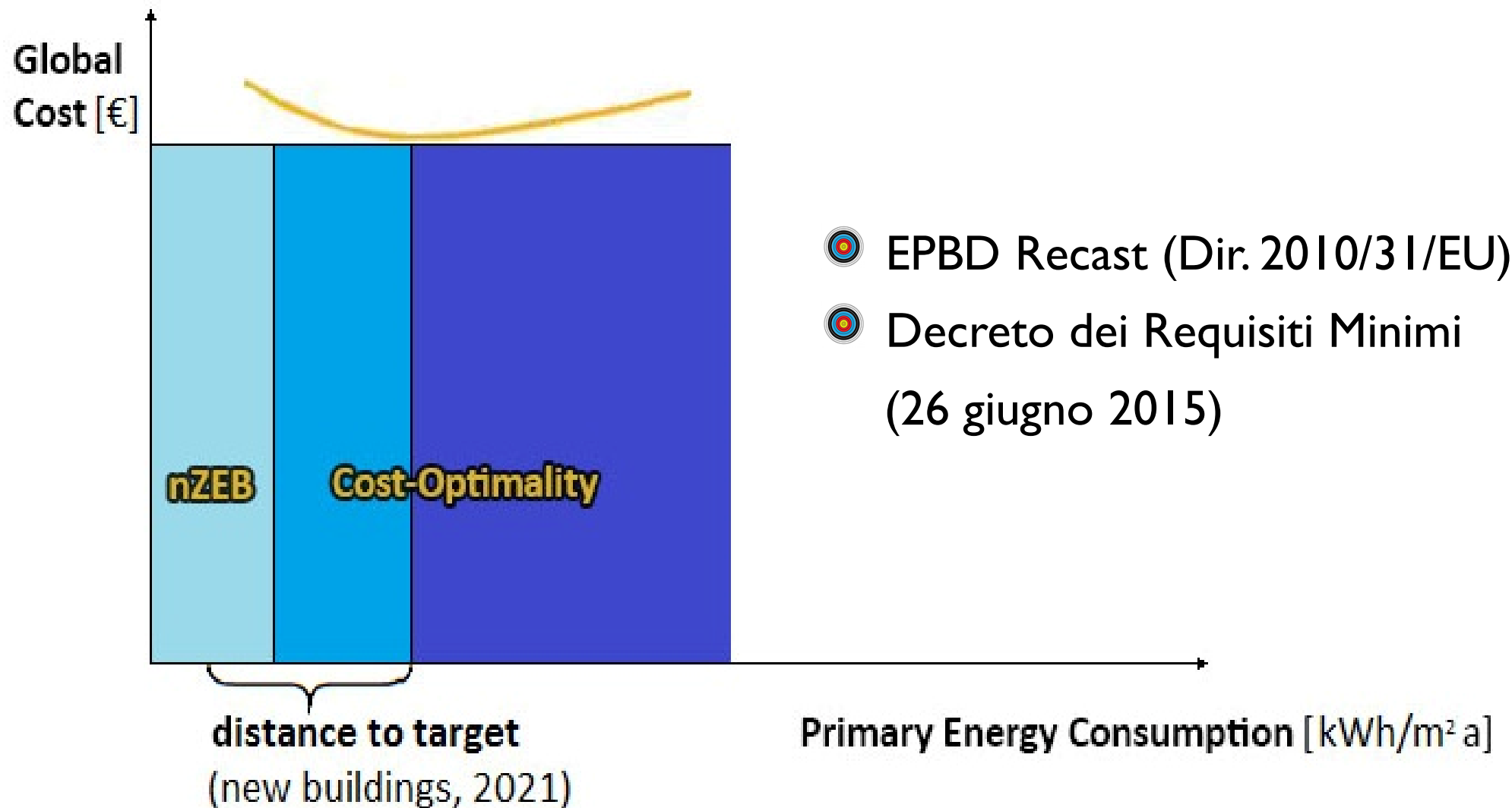
- 🛑 costi di investimento
- 🛑 mentalità/status quo

Gli incentivi devono:

- 🎯 coniugare le due prospettive
 - 🎯 vincere l'attrito/status quo
 - 🎯 ↑ «renovation rate»: 1% → 3%
- «carbon neutrality» entro 2050 – Green Deal



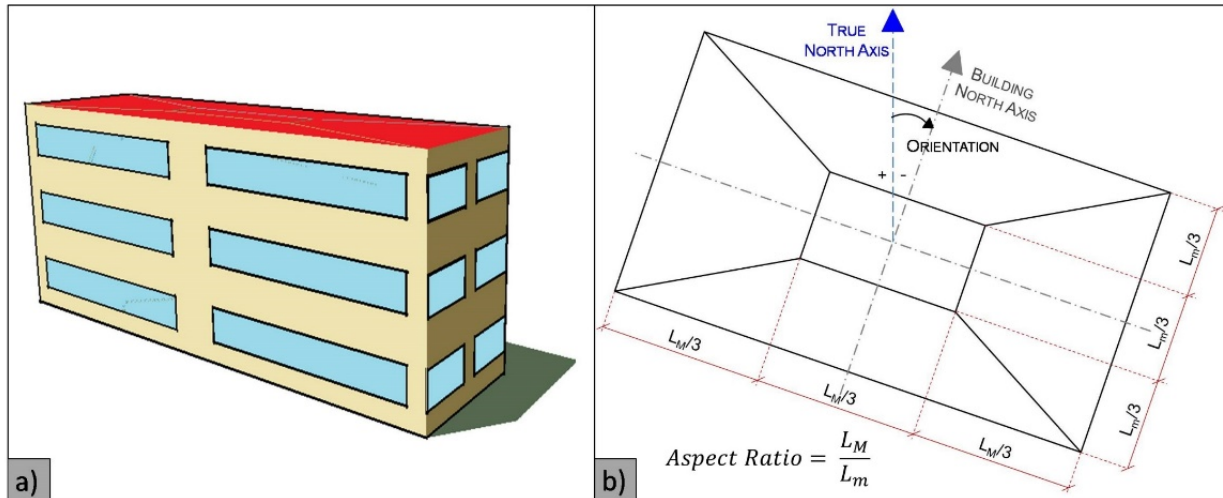
germauro@unisannio.it



Caso studio: Edifici ad uso ufficio costruiti nel Sud Italia nel periodo 1920-70

46 parametri

- 9 geometria
- 30 involucro
- 7 esercizio/impianti



	PARAMETERS	RefB	DISTRIBUTION	μ	σ	RANGE
GEOMETRY	p1 Orientation (North Axis)	0°	uniform	-	-	0; ±30; ±60; 90
	p2 Area of each Floor [m ²]	216	uniform	-	-	100 ÷ 500
	p3 Form Ratio	1.5	uniform	-	-	1 ÷ 5
	p4 Floor Height [m]	3.4	uniform	-	-	2.7 ÷ 4.2
	p5 Window to Wall Ratio: S	29 %	uniform	-	-	10 ÷ 40
	p6 Window to Wall Ratio: E	33 %	uniform	-	-	10 ÷ 40
	p7 Window to Wall Ratio: N	17 %	uniform	-	-	10 ÷ 40
	p8 Window to Wall Ratio: W	33 %	uniform	-	-	10 ÷ 40
	p9 Number of Floors	2	uniform	-	-	1; 2; 3; 4; 5
ENVELOPE	p10 Air Gap R. [m ² K/W]	0.156	normal	RefB	0.01	0.116 ÷ 0.196
	p11 Roof a	0.5	normal	RefB	0.2	0.1 ÷ 0.9
	p12 External Walls a	0.5	normal	RefB	0.2	0.1 ÷ 0.9
	p13 Thickness of Concrete [m]	0.15	normal	RefB	0.05	0.05 ÷ 0.25
	p14 Type of Glass	Single	uniform	-	-	Single/Double
	p15 Type of Frame	Wood	uniform	-	-	Wood/Aluminum
	p16 Clay t [m]	0.06	normal	RefB	0.2 μ	$(\mu - 3\sigma) \div (\mu + 3\sigma)$
	p17 Clay k [W/m K]	0.12	normal	RefB	0.2 μ	$(\mu - 3\sigma) \div (\mu + 3\sigma)$
	p18 Clay d [kg/m ³]	450	normal	RefB	0.2 μ	$(\mu - 3\sigma) \div (\mu + 3\sigma)$
	p19 Clay c [J/kg K]	1200	normal	RefB	0.2 μ	$(\mu - 3\sigma) \div (\mu + 3\sigma)$
	p20 Expanded Clay t [m]	0.05	normal	RefB	0.2 μ	$(\mu - 3\sigma) \div (\mu + 3\sigma)$
	p21 Expanded Clay k [W/m K]	0.27	normal	RefB	0.2 μ	$(\mu - 3\sigma) \div (\mu + 3\sigma)$
	p22 Expanded Clay d [kg/m ³]	900	normal	RefB	0.2 μ	$(\mu - 3\sigma) \div (\mu + 3\sigma)$
	p23 Expanded Clay c [J/kg K]	1000	normal	RefB	0.2 μ	$(\mu - 3\sigma) \div (\mu + 3\sigma)$
	p24 External Brick t [m]	0.12	normal	RefB	0.2 μ	$(\mu - 3\sigma) \div (\mu + 3\sigma)$
	p25 External Brick k [W/m K]	0.72	normal	RefB	0.2 μ	$(\mu - 3\sigma) \div (\mu + 3\sigma)$
	p26 External Brick d [kg/m ³]	1800	normal	RefB	0.2 μ	$(\mu - 3\sigma) \div (\mu + 3\sigma)$
	p27 External Brick c [J/kg K]	840	normal	RefB	0.2 μ	$(\mu - 3\sigma) \div (\mu + 3\sigma)$
	p28 Floor Block t [m]	0.18	normal	RefB	0.2 μ	$(\mu - 3\sigma) \div (\mu + 3\sigma)$
	p29 Floor Block k [W/m K]	0.66	normal	RefB	0.2 μ	$(\mu - 3\sigma) \div (\mu + 3\sigma)$
	p30 Floor Block d [kg/m ³]	1800	normal	RefB	0.2 μ	$(\mu - 3\sigma) \div (\mu + 3\sigma)$
	p31 Floor Block c [J/kg K]	840	normal	RefB	0.2 μ	$(\mu - 3\sigma) \div (\mu + 3\sigma)$
	p32 Internal Brick t [m]	0.08	normal	RefB	0.2 μ	$(\mu - 3\sigma) \div (\mu + 3\sigma)$
	p33 Internal Brick k [W/m K]	0.9	normal	RefB	0.2 μ	$(\mu - 3\sigma) \div (\mu + 3\sigma)$
	p34 Internal Brick d [kg/m ³]	2000	normal	RefB	0.2 μ	$(\mu - 3\sigma) \div (\mu + 3\sigma)$
	p35 Internal Brick c [J/kg K]	840	normal	RefB	0.2 μ	$(\mu - 3\sigma) \div (\mu + 3\sigma)$
OTHER	p36 Roof Block t [m]	0.22	normal	RefB	0.2 μ	$(\mu - 3\sigma) \div (\mu + 3\sigma)$
	p37 Roof Block k [W/m K]	0.66	normal	RefB	0.2 μ	$(\mu - 3\sigma) \div (\mu + 3\sigma)$
	p38 Roof Block d [kg/m ³]	1800	normal	RefB	0.2 μ	$(\mu - 3\sigma) \div (\mu + 3\sigma)$
	p39 Roof Block c [J/kg K]	840	normal	RefB	0.2 μ	$(\mu - 3\sigma) \div (\mu + 3\sigma)$
	p40 People Density [people/m ²]	0.12	normal	RefB	0.2 μ	$(\mu - 2\sigma) \div (\mu + 2\sigma)$
	p41 Light Load [W/m ²]	15	normal	RefB	0.2 μ	$(\mu - 2\sigma) \div (\mu + 2\sigma)$
	p42 Equipment Load [W/m ²]	15	normal	RefB	0.2 μ	$(\mu - 2\sigma) \div (\mu + 2\sigma)$
	p43 Infiltration Rate [h ⁻¹]	0.5	normal	RefB	0.2 μ	$(\mu - 2\sigma) \div (\mu + 2\sigma)$
	p44 Heating Set Point T [°C]	20	normal	RefB	1	19 ÷ 22
	p45 Cooling Set Point T [°C]	26	normal	RefB	1	24 ÷ 27
	p46 Heating Terminals	Fc ⁽¹⁾ /Rad ⁽²⁾	uniform	-	-	Fc/Rad

⁽¹⁾Fan Coils; ⁽²⁾Hot Water Radiators

Il ruolo degli incentivi: Esempio



germauro@unisannio.it

Misure di Retrofit Energetico

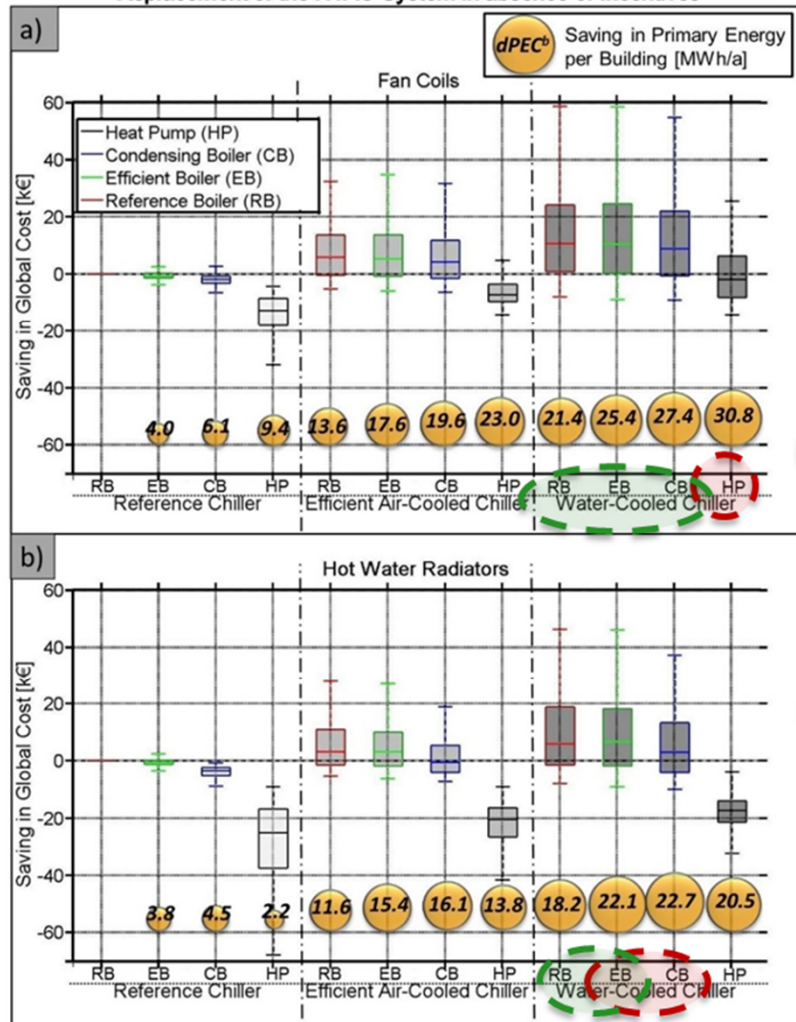
HEATING SYSTEM		DESCRIPTION	INVESTMENT Cost[€]
RB	Reference Boiler	Existing natural gas boiler, nominal LCV ⁽¹⁾ efficiency equal to 0.85	-
EB	Efficient Boiler	New natural gas boiler, nominal LCV efficiency equal to 0.95	$45 \times kW_p + 1500$
CB	Condensing Boiler	Condensing natural gas boiler, nominal LCV efficiency ($T_w^{(2)}=35/55^\circ\text{C}$) equal to 1.06	$80 \times kW_p + 1900$
HP	Heat Pump	Air-water heat pump, nominal COP ($T_w=40/45^\circ\text{C}$; $T_e^{(3)}=7^\circ\text{C}$) equal to 3.7	$150 \times kW_p + 5000$
COOLING SYSTEM		DESCRIPTION	INVESTMENT Cost[€]
RC	Reference Chiller	Existing air-cooled chiller, nominal COP ($T_w=12/7^\circ\text{C}$; $T_e=35^\circ\text{C}$) equal to 2.4	-
ACC	Efficient Air-Cooled Chiller	New air-cooled chiller, nominal COP ($T_w=12/7^\circ\text{C}$; $T_e=35^\circ\text{C}$) equal to 3.5	$150 \times kW_p + 5000$
WCC	Water-Cooled Chiller	Water-cooled chiller with cooling tower, nominal COP ($T_w=12/7^\circ\text{C}$; $T_c^{(4)}=28^\circ\text{C}$) equal to 5.0	$250 \times kW_p + 8000$



⁽¹⁾Lower Calorific Value; ⁽²⁾Water inlet/outlet temperatures; ⁽³⁾External Temperature; ⁽⁴⁾Water inlet temperature to condenser



Replacement of the HVAC System in absence of Incentives



INCENTIVI

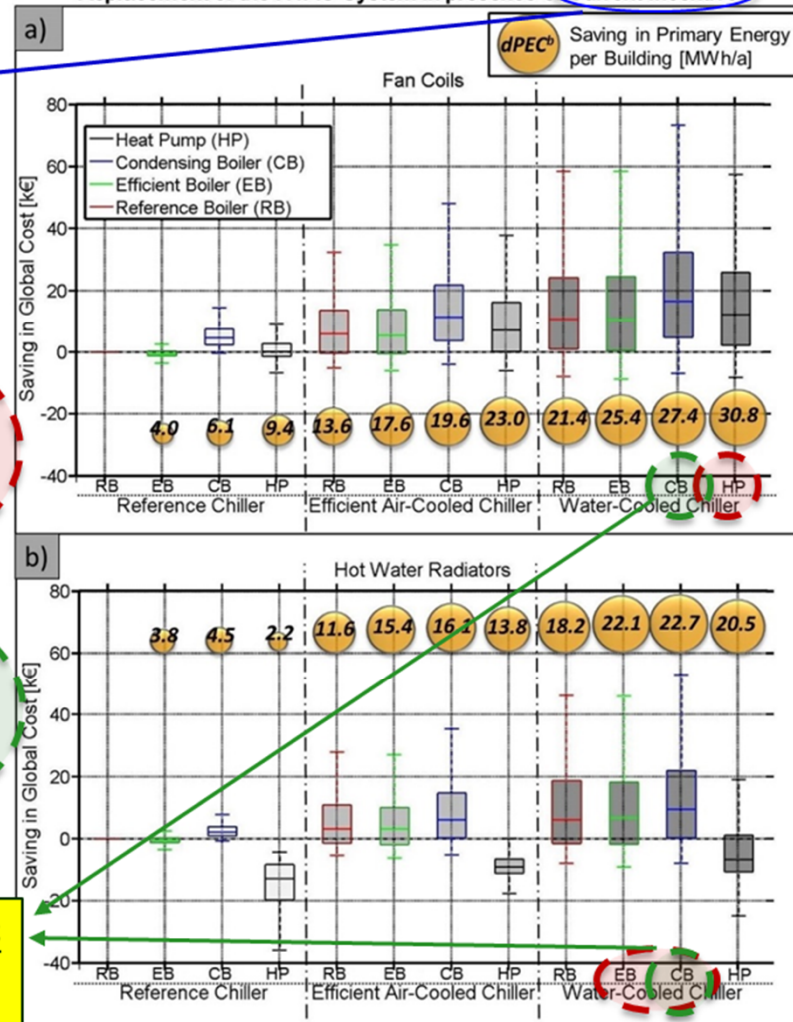
65% DEL COSTO DI
INVESTIMENTO PER:
-CALDAIA A
CONDENSAZIONE
-POMPA DI CALORE

MIGLIORE SOLUZIONE
PROSPETTIVA PEC
(COLLETTIVITÀ)

MIGLIORE SOLUZIONE
PROSPETTIVA GC
(SINGOLO)

FAN COILS E RADIATORI
COST-OPTIMAL HVAC
CB + WCC

Replacement of the HVAC System in presence of Current Incentives

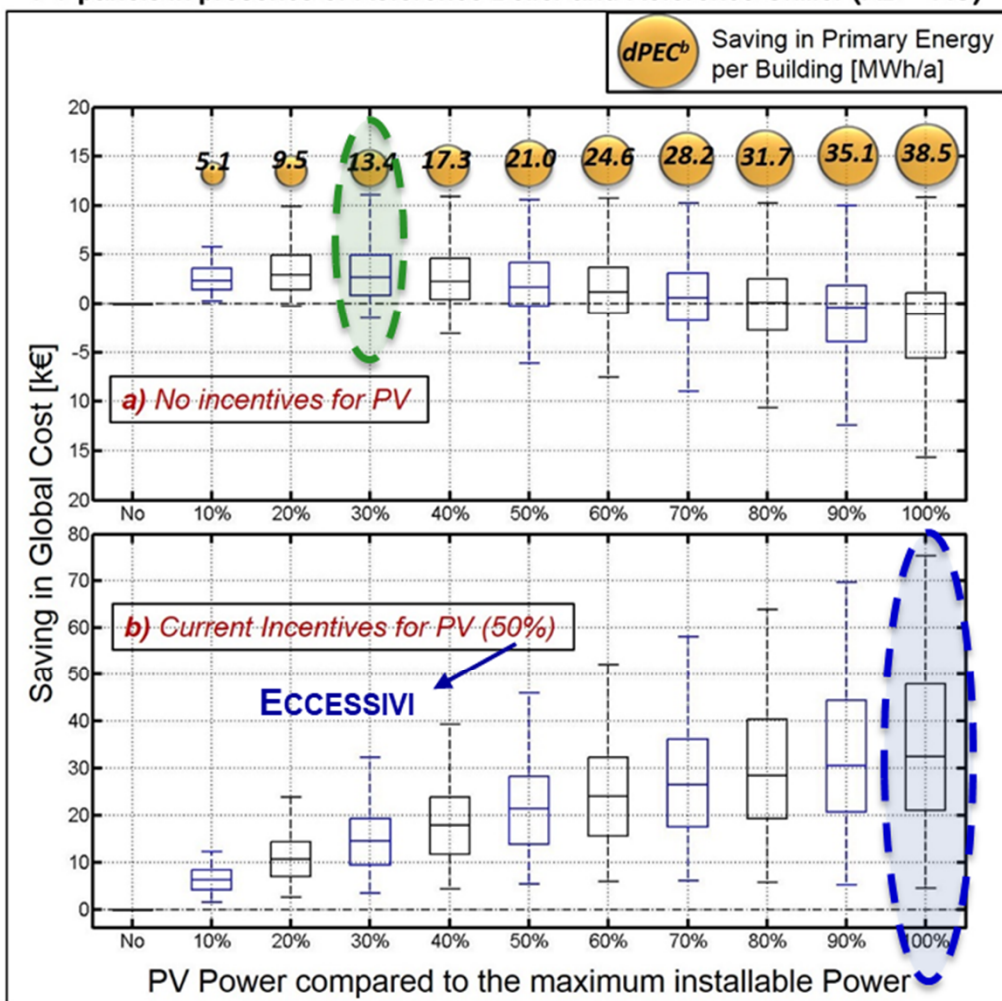


Il ruolo degli incentivi: **Esempio**



germauro@unisannio.it

PV panels in presence of Reference Boiler and Reference Chiller (RB + RC)



INCENTIVI ASSUNTI

-65% DELL'INVESTIMENTO PER POMPE DI CALORE

-65% DELL'INVESTIMENTO PER CALDAIE A CONDENSAZIONE

-50% DELL'INVESTIMENTO PER PANNELLI FOTOVOLTAICI

INCENTIVI PROPOSTI

-70% DELL'INVESTIMENTO PER POMPE DI CALORE IN PRESENZA DI **FAN COILS**

-65% DELL'INVESTIMENTO PER CALDAIE EFFICIENTI IN PRESENZA DI **RADIATORI**

-40% DELL'INVESTIMENTO PER PANNELLI FOTOVOLTAICI

REPLACEMENT OF THE HVAC SYSTEM + PV PANELS	p	dPEC _b MWh/a per building	D _b k€ per building	π kWh/€
CURRENT INCENTIVES	0.99	62.7	44.6	1.41
PROPOSED INCENTIVES	0.96	62.8	37.8	1.66

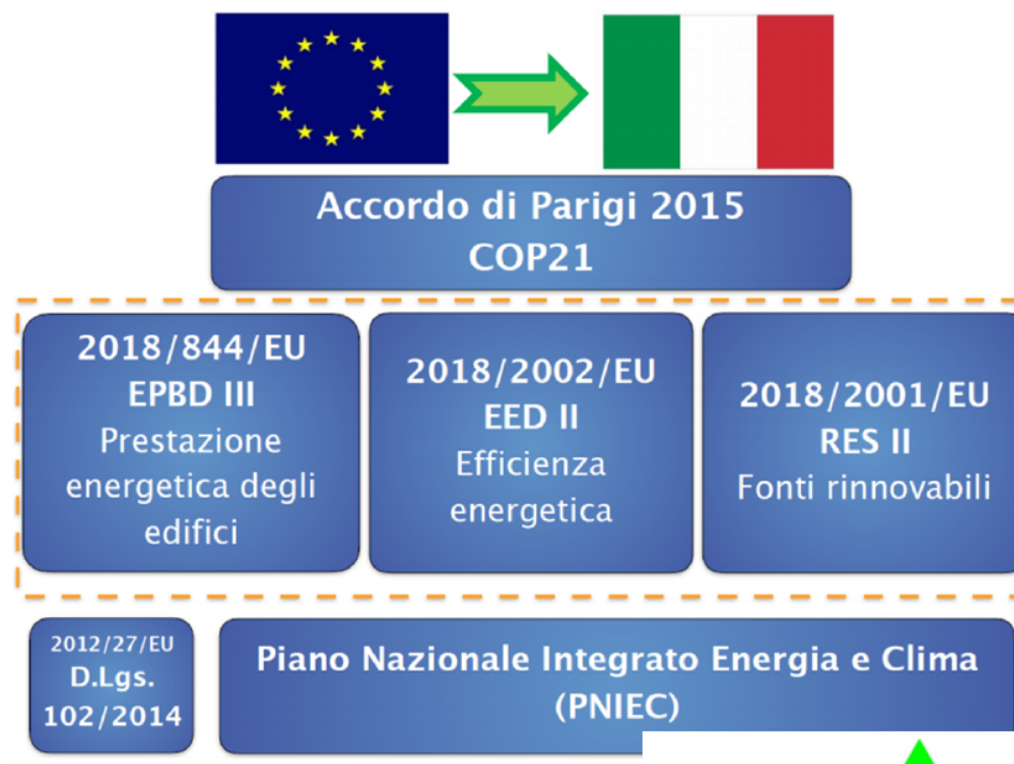
PERCENTUALE DI EDIFICI CON RISPARMIO SUL **GC** RISPARMIO DI PEC EFFETTIVO PER EDIFICIO ESBORSO STATALE EFFETTIVO PER EDIFICIO PROFITTO STATALE dPEC_b/D_b

Il ruolo degli incentivi: **Esempio**



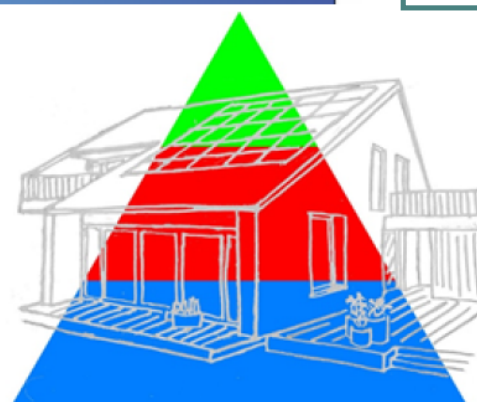
germauro@unisannio.it

12



Le Disposizioni
normative agiscono su
tutte le leve per
l'efficienza energetica:

1. l'involucro
2. gli impianti
esistenti
3. l'integrazione delle
fonti energetiche
rinnovabili



Fonti rinnovabili

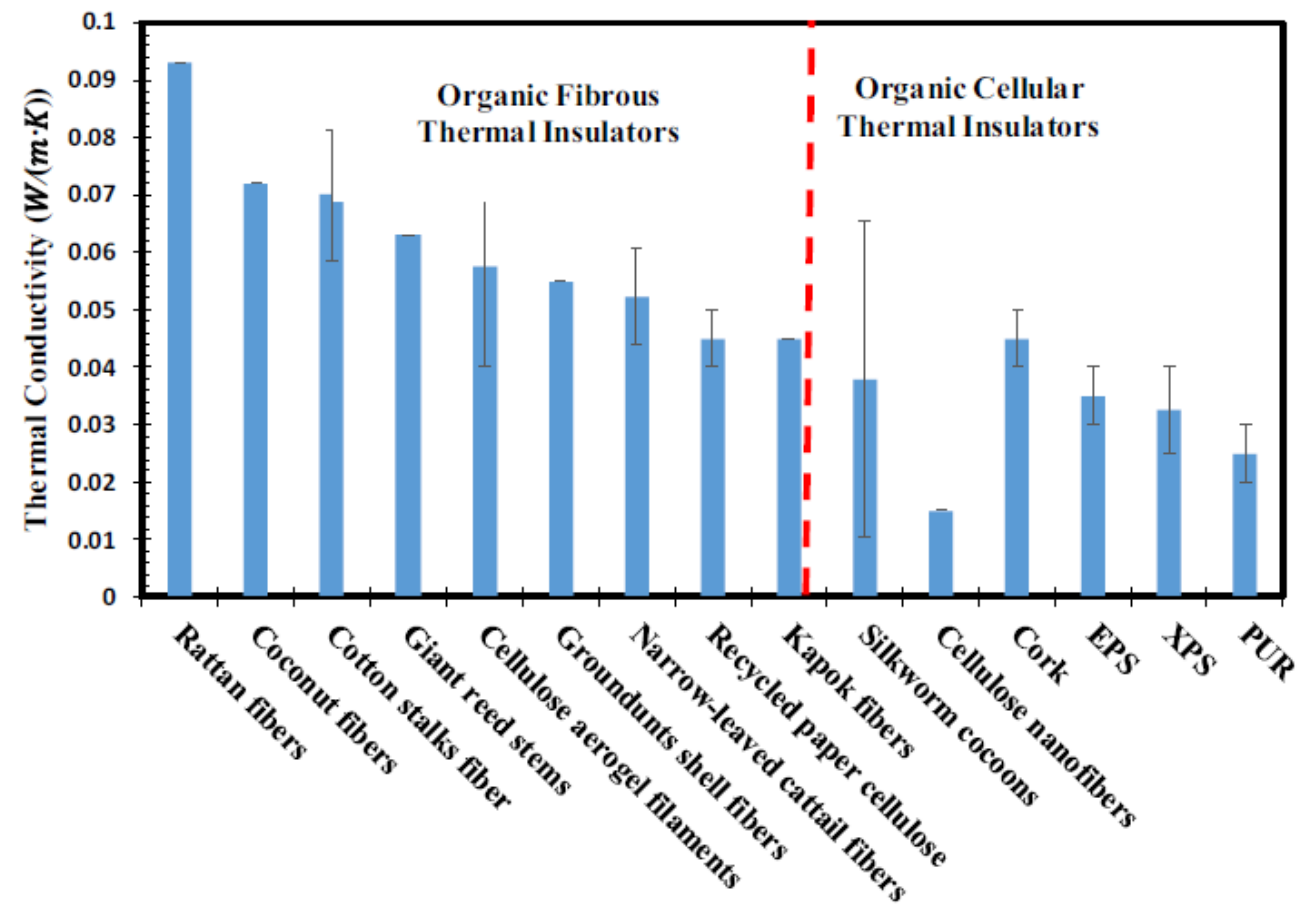
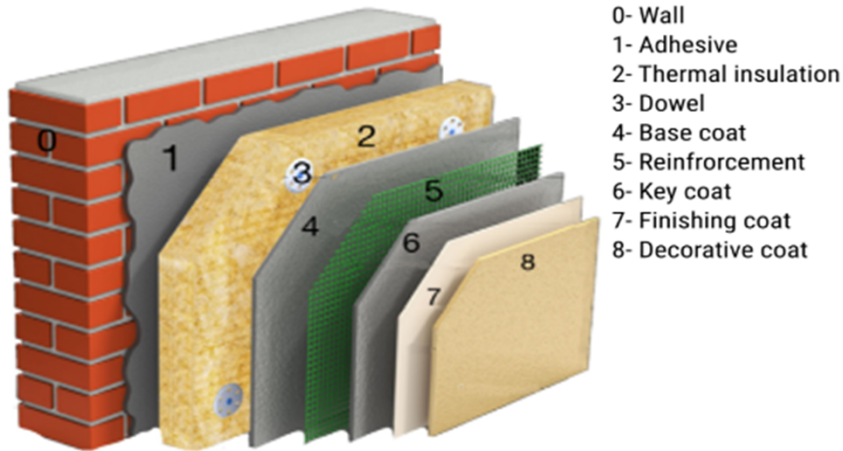
Impianti efficienti

Riduzione dei fabbisogni
dell'involucro

Ing. Claudia COLOSIMO



Cappotto Termico

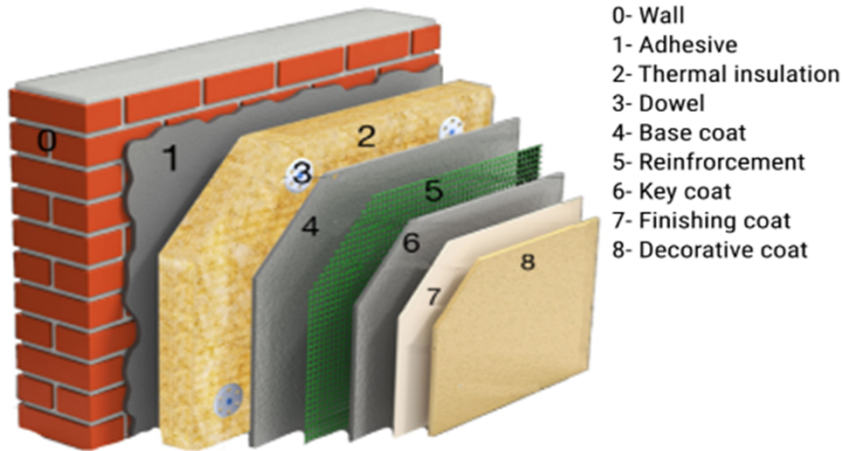


$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{int}} + \sum_i \frac{s_i}{k_i} + \sum_j R_{s,NO\ LA STRA,j} + \frac{1}{\alpha_{est}}}$$

$$s_{is,min} = k_{is} \left(\frac{1}{U_{limite}} - \frac{1}{U_{esistente}} \right) \rightarrow \text{Esempio: } U_{esistente} = 1.1 \frac{W}{m^2 K}; U_{limite} = 0.36 \frac{W}{m^2 K}; k_{is} = 0.04 \frac{W}{m K} :$$

$$s_{is,min} = 7.5 \text{ cm}$$

Cappotto Termico

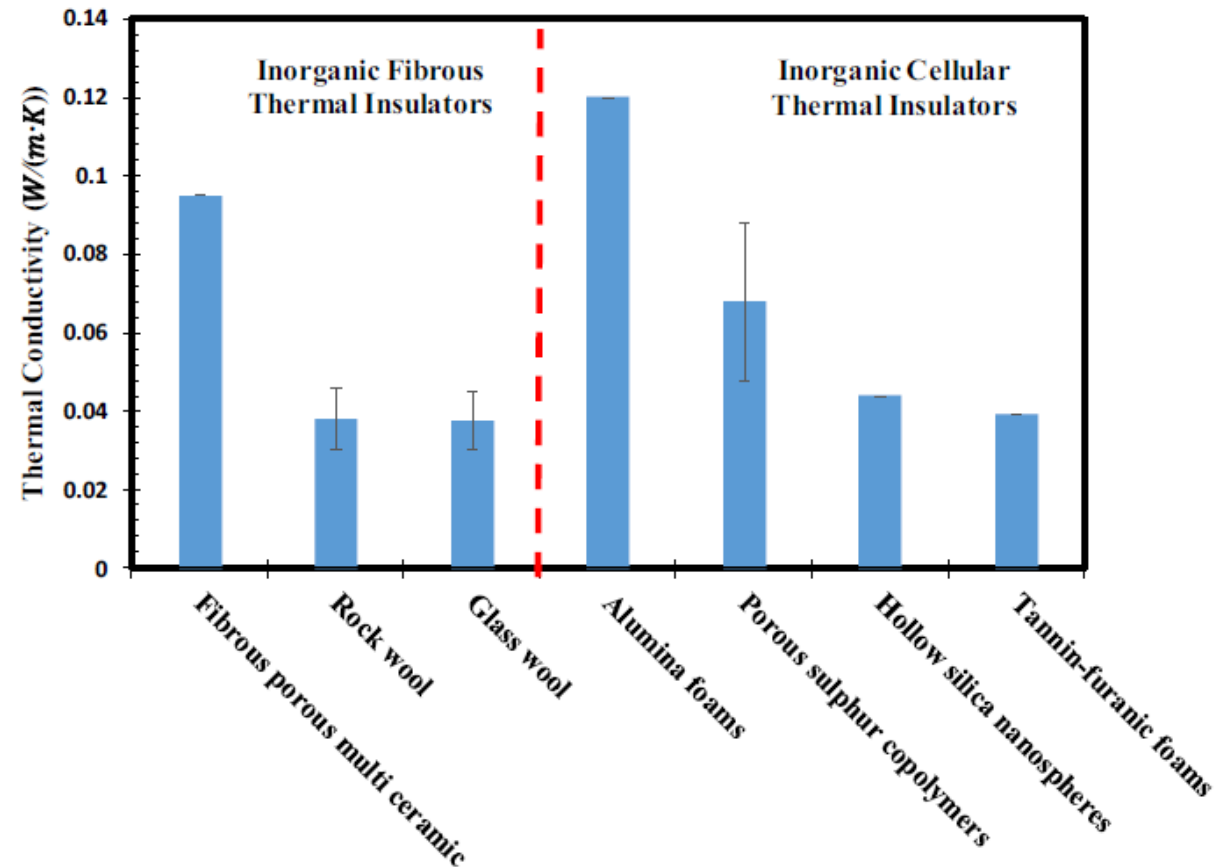


$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{int}} + \sum_i \frac{s_i}{k_i} + \sum_j R_{s,NO\ LA STRA,j} + \frac{1}{\alpha_{est}}}$$

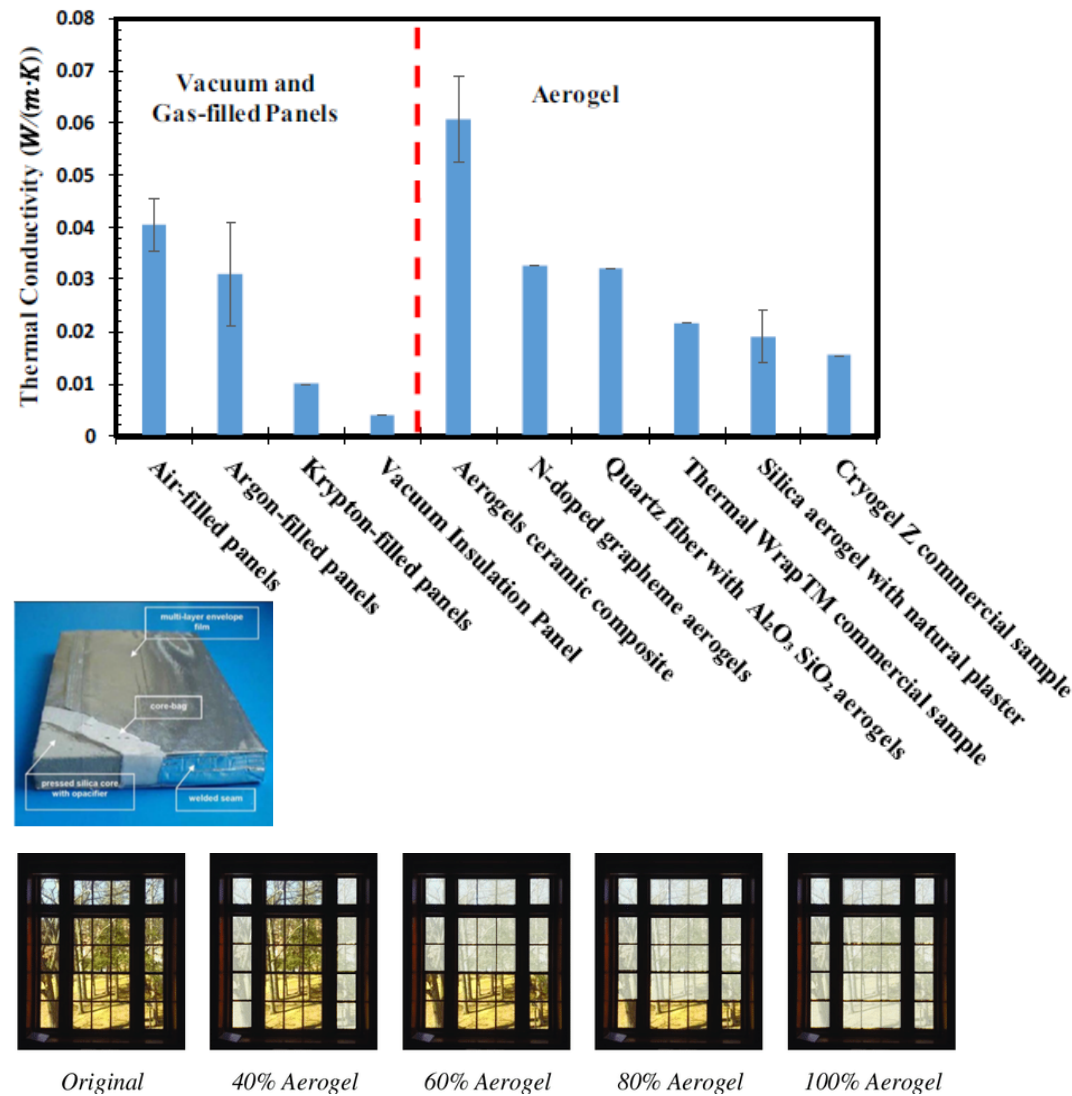
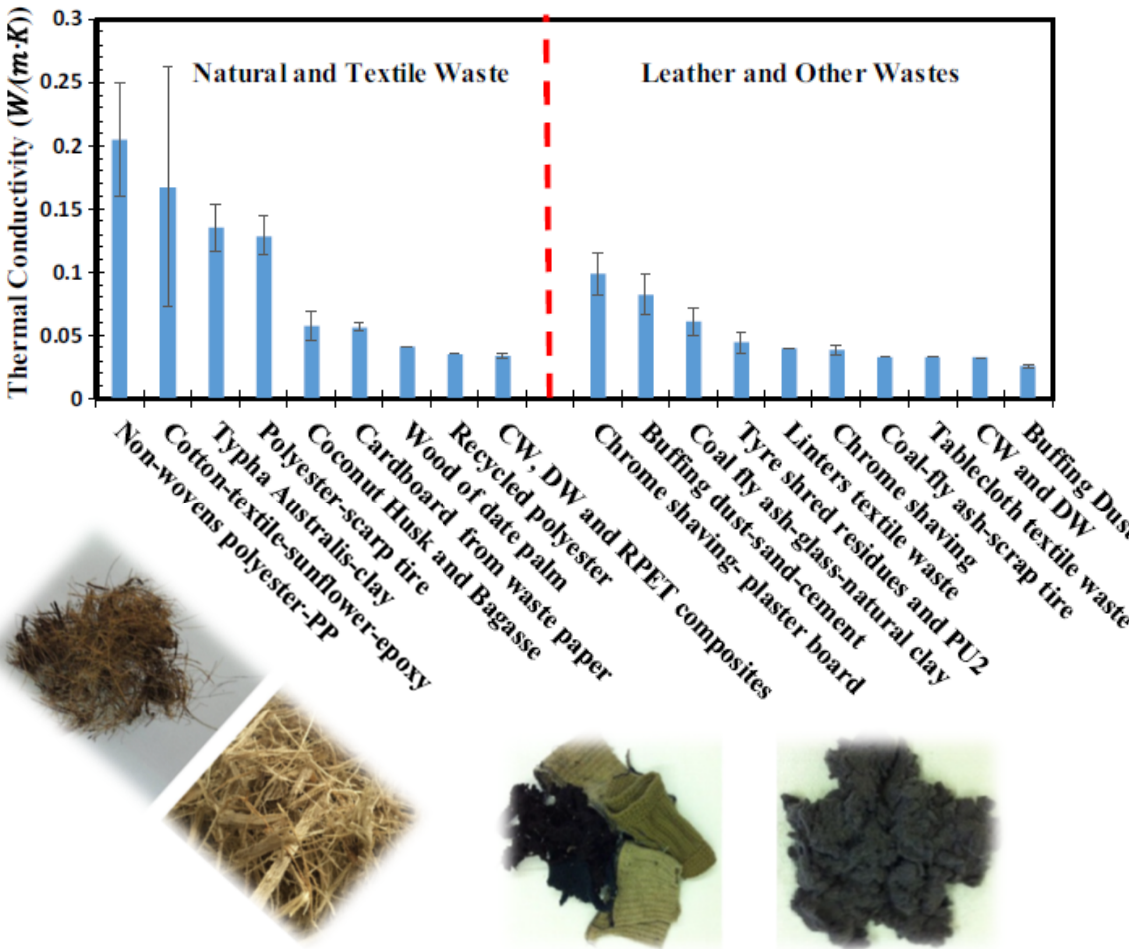
$$s_{is,min} = k_{is} \left(\frac{1}{U_{limite}} - \frac{1}{U_{esistente}} \right)$$

→ Esempio: $U_{esistente} = 1.1 \frac{W}{m^2 K}$; $U_{limite} = 0.36 \frac{W}{m^2 K}$; $k_{is} = 0.04 \frac{W}{m K}$:

$$s_{is,min} = 7.5 \text{ cm}$$



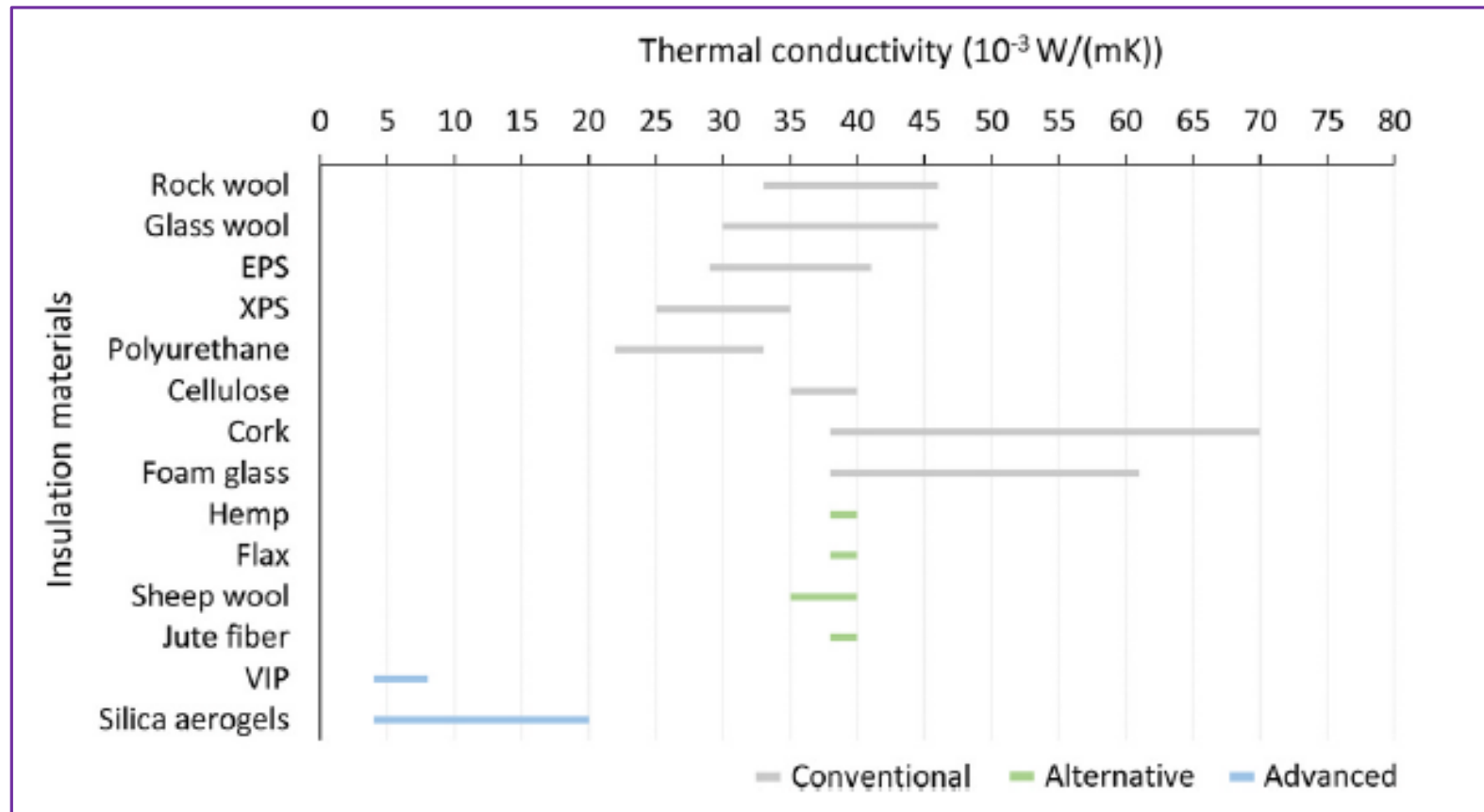
Termoisolanti Innovativi



Tecnologie Innovative

 germauro@unisannio.it

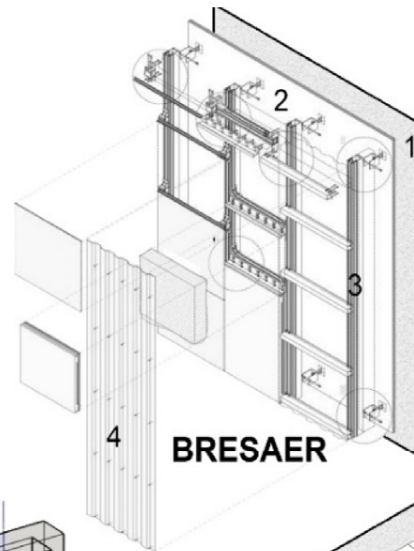
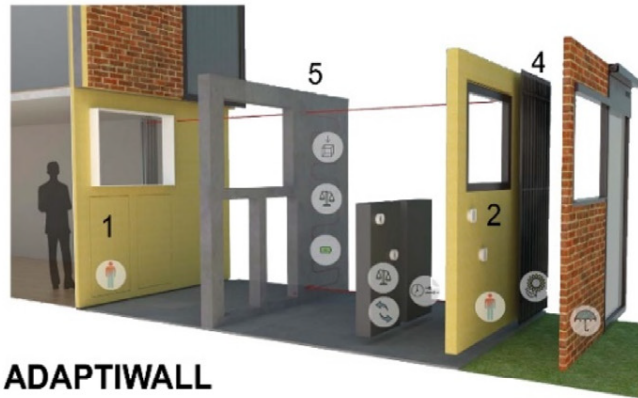
Termoisolanti Innovativi



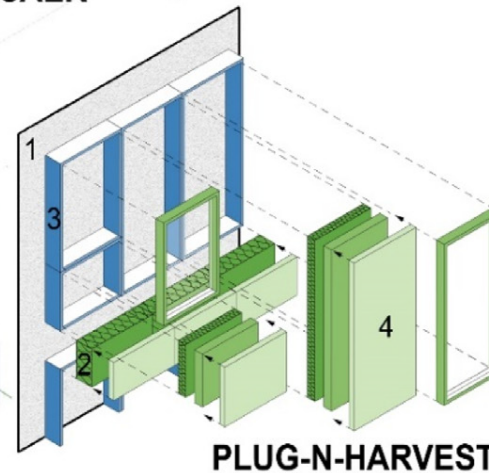
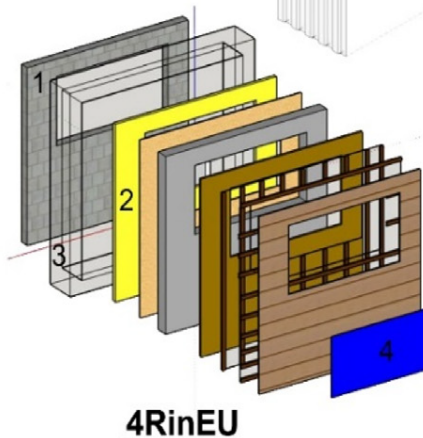
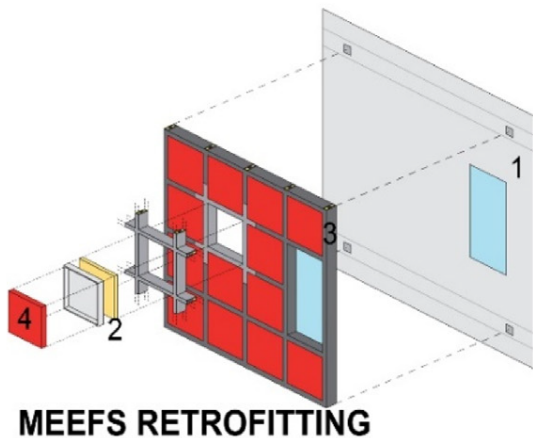
Esempio VIP: $U_{esistente} = 1.1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$; $U_{limite} = 0.36 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$; $k_{is} = 0.005 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$:

$S_{is,min} = 0.9 \text{ cm}$

Facciate Integrate



- 1 - Existing facade
- 2 - Insulation
- 3 - Frame
- 4 - Renewable
- 5 - Structure layer



«Integrano»:

- ✓ isolamento termico
- ✓ ombreggiamento
- ✓ PCM's
- ✓ impianti/recuperatori
- ✓ rinnovabile

Facciate Responsive/Adattive



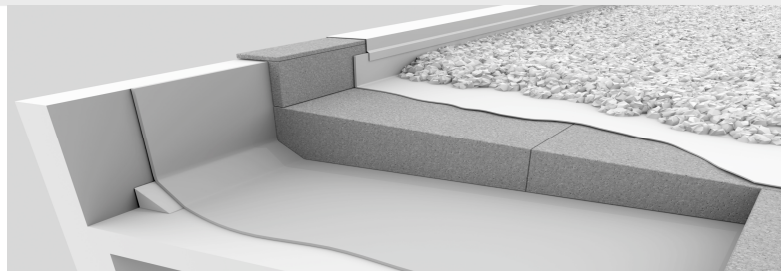
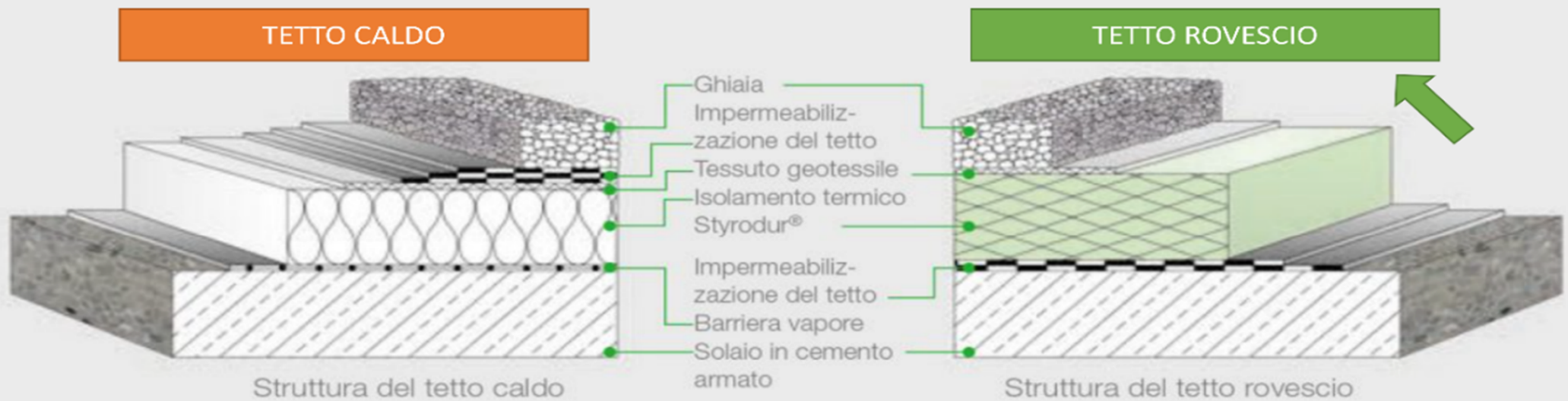
Example of intelligent façade [60]: GSW Headquarters in Berlin (Germany).

«Adattano» al clima:

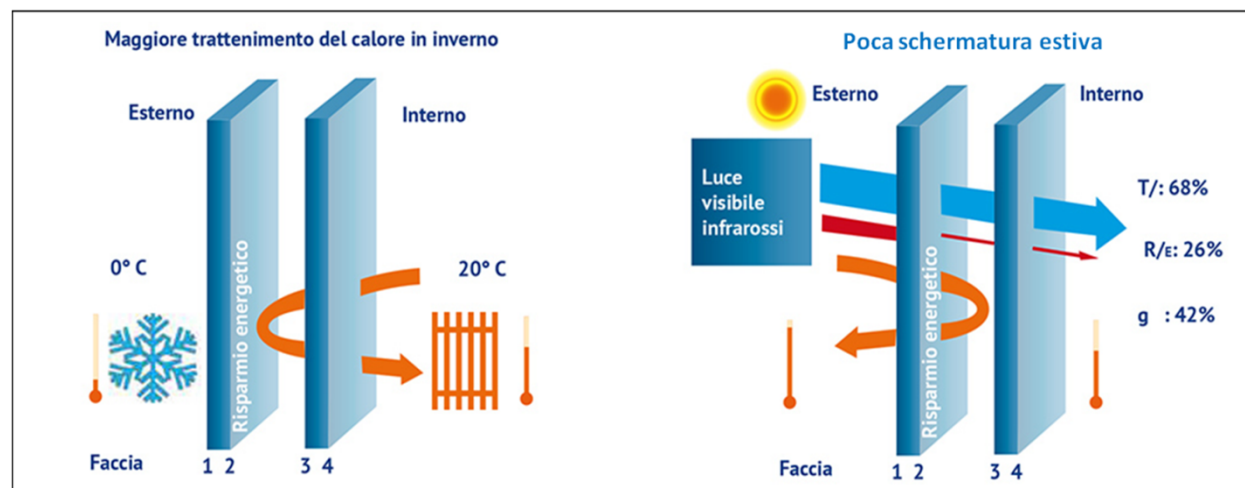
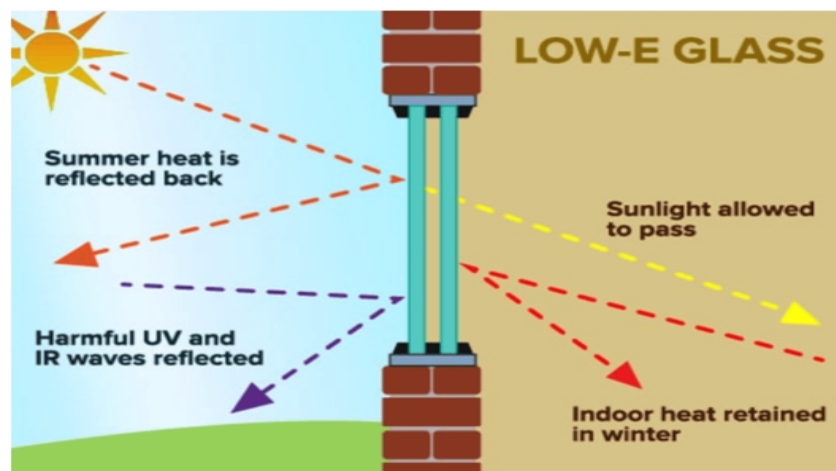
- ✓ isolamento termico
- ✓ capacità termica
- ✓ ombreggiamento
- ✓ ventilazione



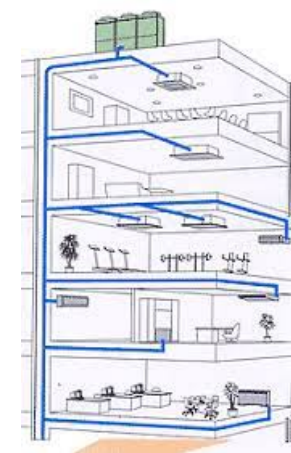
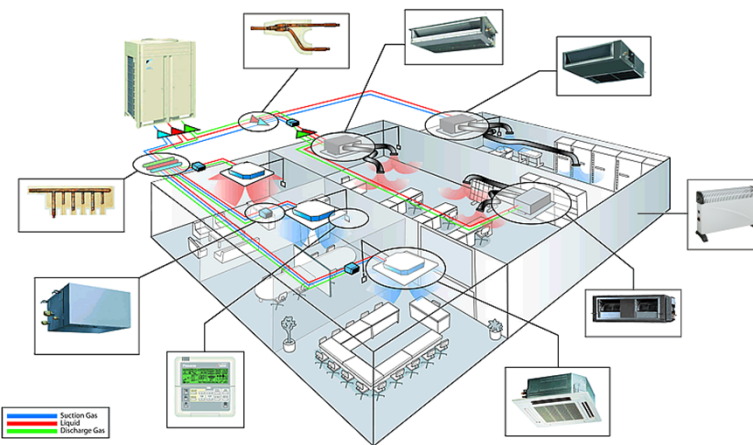
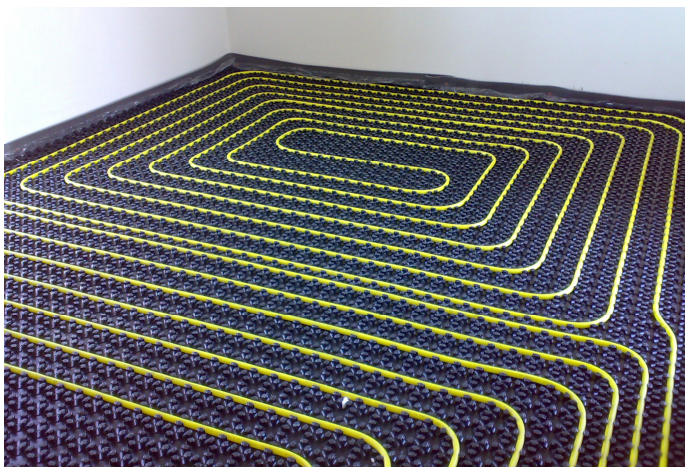
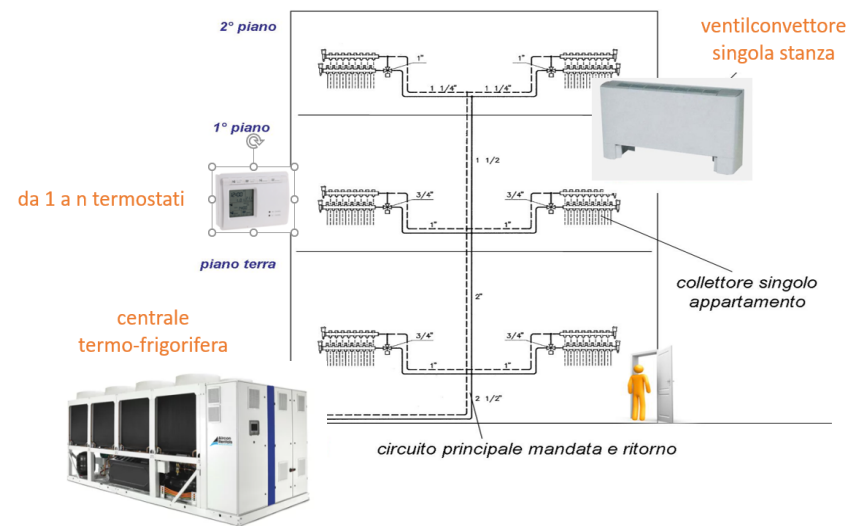
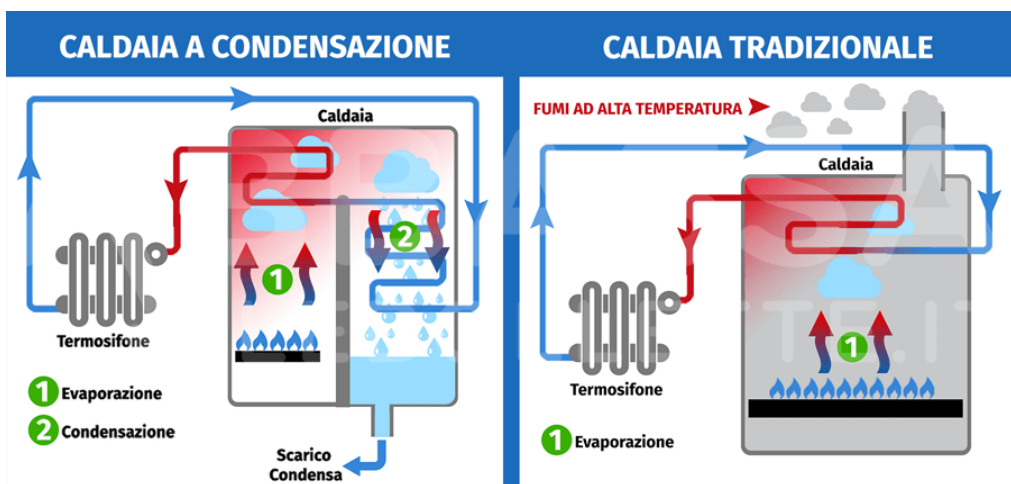
Isolamento Coperture



Sostituzione Serramenti



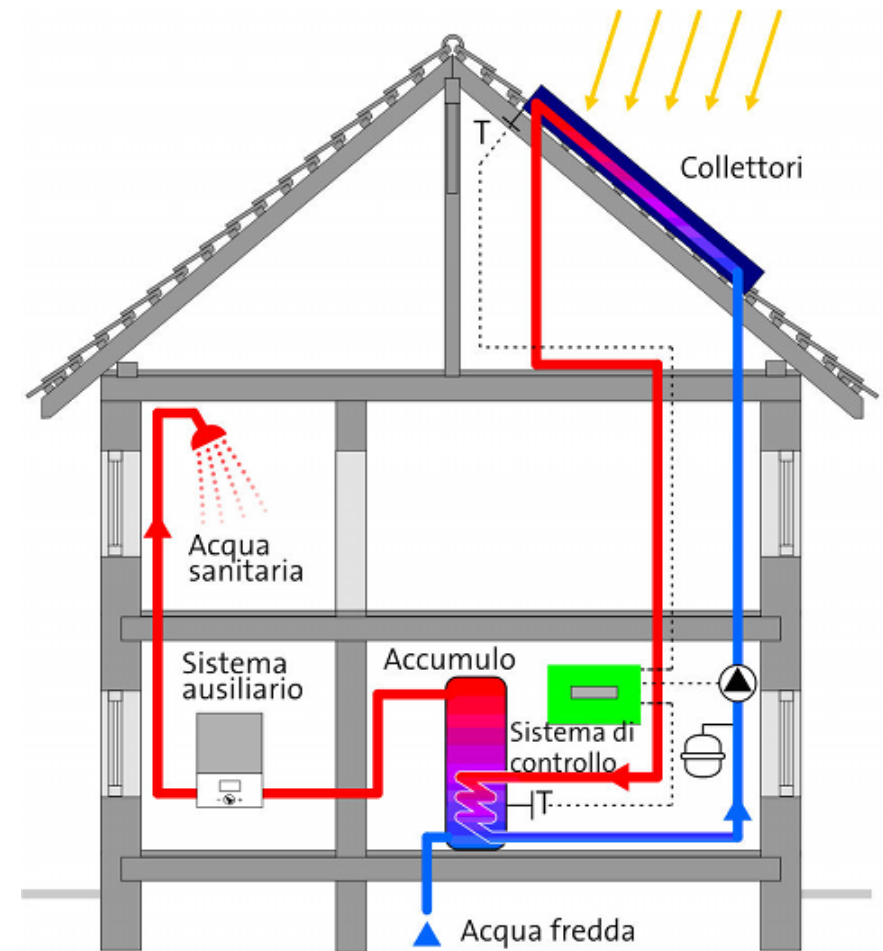
Sostituzione Impianti di Riscaldamento/Raffrescamento



Caldaie a condensazione/ Pompe di Calore per ACS



Payback period < 5 anni



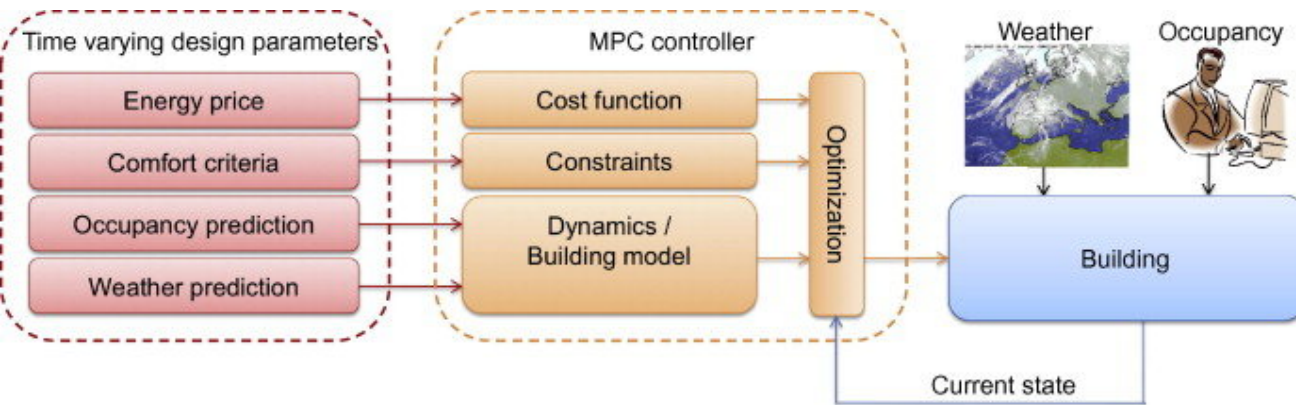
Impianto Fotovoltaico Integrato



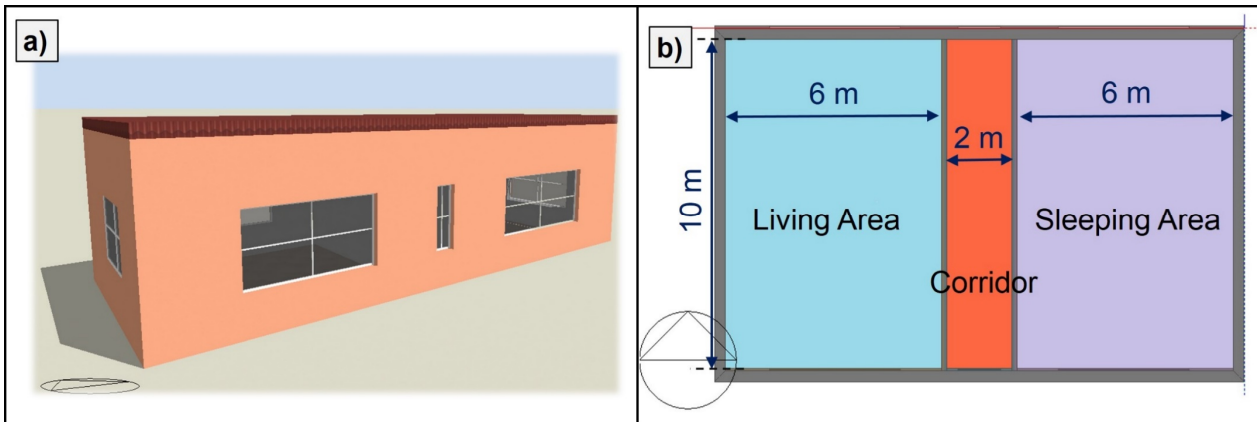
Payback period < 10 anni



Model Predictive Control



Caso studio



Il controllo è **ottimizzato** in base a:

- previsioni meteo
- previsioni di occupazione

Consente di:

- ✓ sfruttare inerzia termica
- ✓ massimizzare efficienza impianti
- ✓ consumare energia razionalmente

Vantaggi:

- ✓ ↓ consumi
- ✓ ↑ comfort

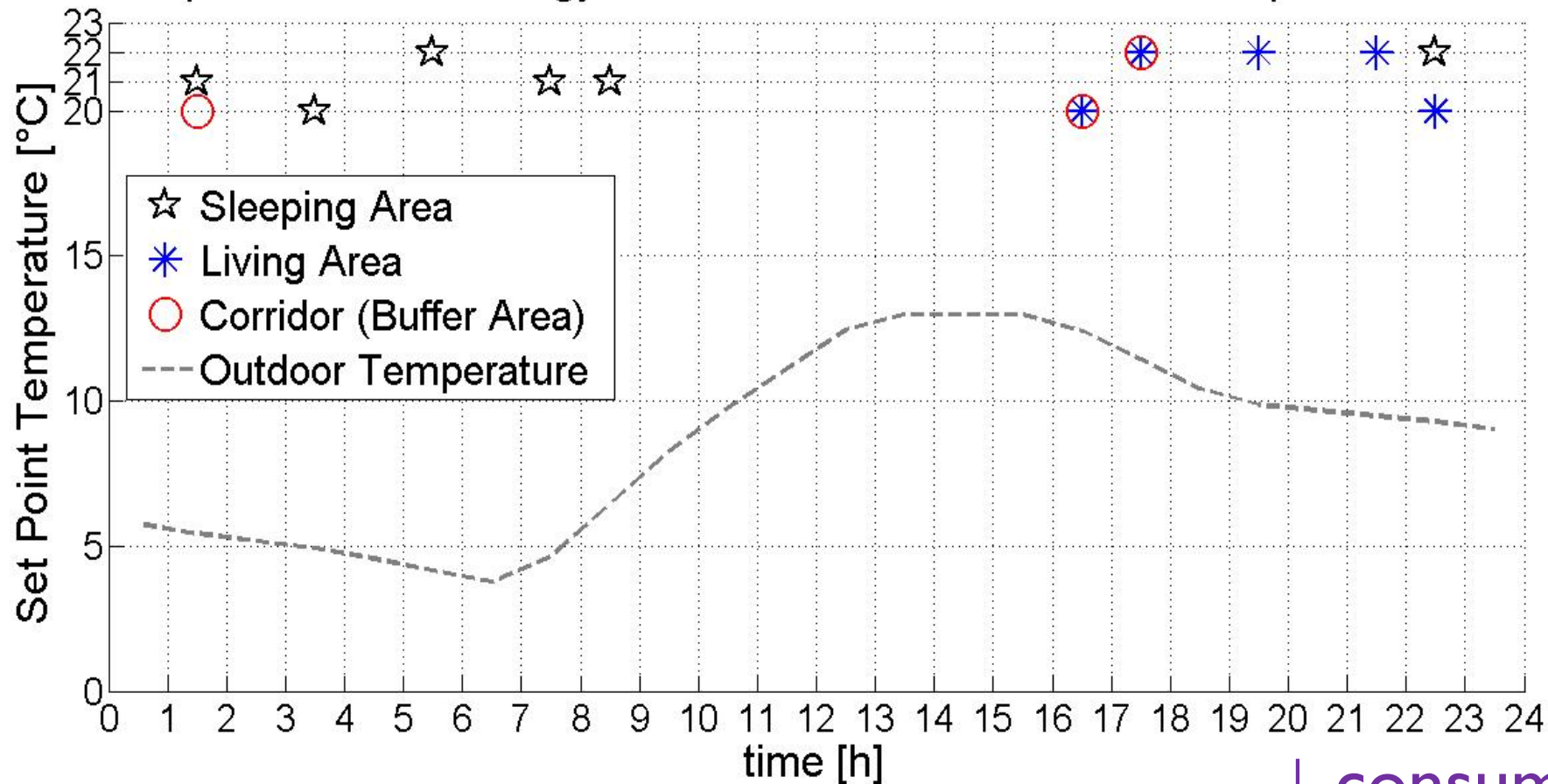
Svantaggi:

- ✓ complessità → simulatore + ottimizzatore



Model Predictive Control

Optimal control strategy for a maximum value of PPD^{MAX} equal to 20%



😊
↓ consumi > 50%

Comunità Energetiche



DATI DI INPUT DI MASSIMA	APE	PROG	DE
rilevamento geometrico	X	X	X
rilevamento materico (pareti verticali, coperture, infissi, ...)	X	X	X
indagini sull'involucro		X	X
target generatori di calore	X	X	X
progetto di impianto termico (riscaldamento/raffrescamento, ventilazione, acs)	X	X	X
libretto di impianto	X	X	X
elenco apparecchiature elettriche ed elettroniche			X
progetto/caratteristiche impianto di illuminazione esistente		X	X
progetto/caratteristiche impianto di sollevamento cose/persone		X	X
progetto/caratteristiche eventuali impianti f.e.r esistenti	X	X	X
caratteristiche d'uso della struttura (uso vani, orari di apertura,...)			X
caratteristiche di conduzione degli impianti (ore di accensione, tipo di conduzione,...)			X
dati climatici interni ed esterni			X
dati storici di consumo dei vettori energetici (gas, energia elettrica,...)			X
dati storici di eventuali sistemi di monitoraggio dei consumi			X

Ape = Attestato di prestazione energetica Prog = Progetto energetico DE = Diagnosi energetica



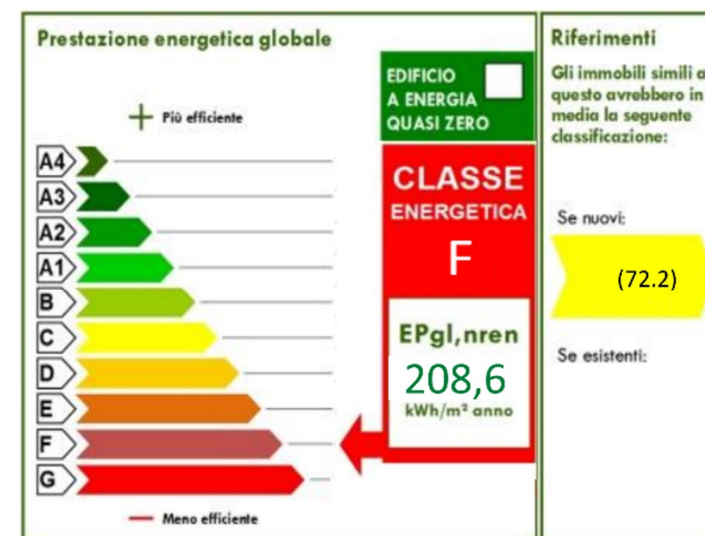
O

metodo dinamico orario
UNI EN ISO 52016-1

simulazione
dinamica

Tipo di valutazione	Dati di ingresso			Scopo della valutazione
	Uso	Clima	Edificio	
di Progetto (Design rating)	Standard	Standard	Progetto	Permesso di costruire Certificazione o Qualificazione energetica del progetto
Standard (Asset rating)	Standard	Standard	Reale	Certificazione o Qualificazione energetica
Adattata all'utenza (Tailored rating)	In funzione dello scopo		Reale	Ottimizzazione, Validazione, Diagnosi e programmazione di interventi di riqualificazione

audia COLOSIMO



Come simulare le prestazioni dell'edificio?



germauro@unisannio.it

28



Come simulare le prestazioni dell'edificio?



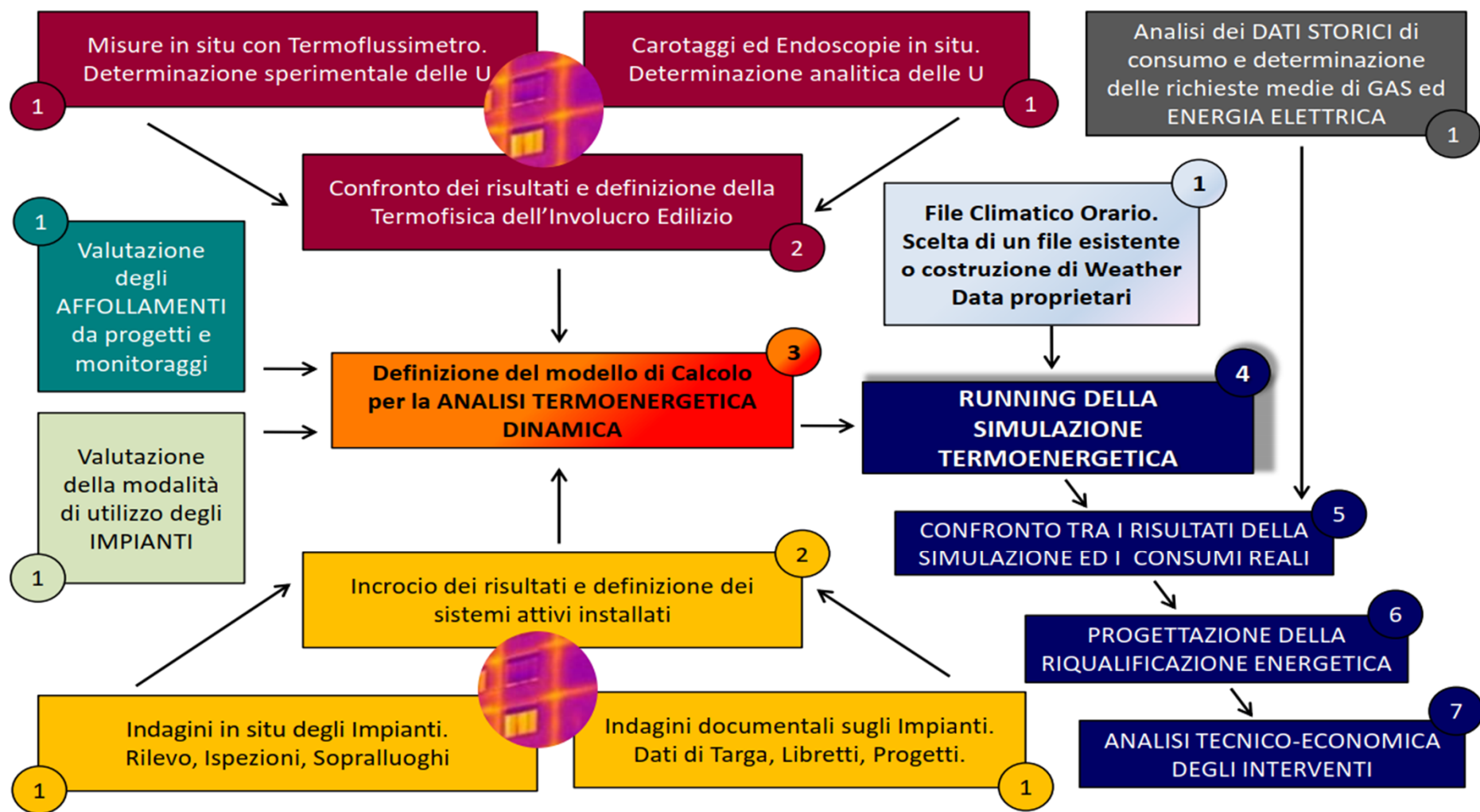
germauro@unisannio.it



Come simulare le prestazioni dell'edificio?



germauro@unisannio.it

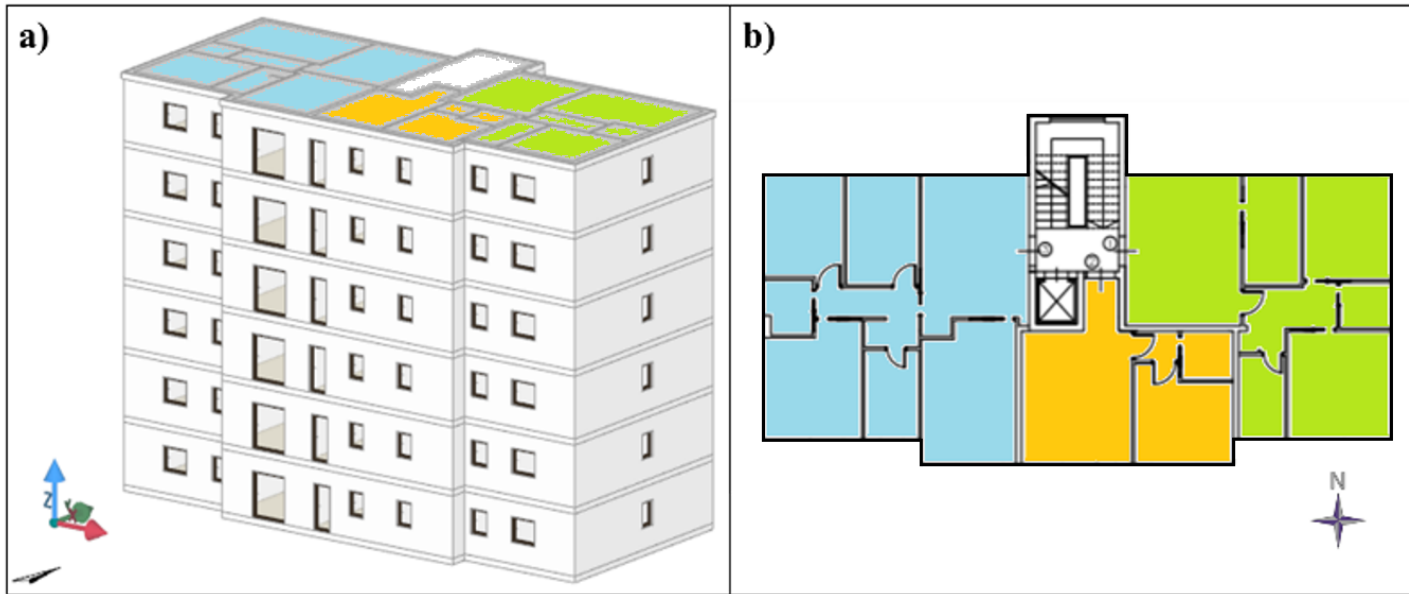


Come simulare le prestazioni dell'edificio?



germauro@unisannio.it

Edificio Esistente in c.a., 63 comuni



HDD	climatic zone	heating period (mm/dd)	daily heating
< 600	A	12/1 - 03/15	6 hours/day
601 - 900	B	12/1 - 03/31	8 hours/day
901 - 1400	C	11/15 - 03/31	10 hours/day
1401 - 2100	D	11/1 - 04/15	12 hours/day
2101 - 3000	E	10/15 - 04/15	14 hours/day
> 3001	F	no limitations	no limitations

- edificio rappresentativo parco esistente
- tamponature in doppia pelle → $U = 1.10 \text{ W/m}^2\text{K}$
- solaio latero-cementizio → $U = 1.65 \text{ W/m}^2\text{K}$
- superficie finestrata = 15%; singolo vetro + legno → $U = 4.9 \text{ W/m}^2\text{K}$
- radiatori + caldaia ($\eta_{\text{caldaia}} = 0.80$); setpoint = 20°C

Edificio di Riferimento: TABULA

Regione/Zona climatica: **Area climatica media**

Classe di epoca di costruzione: **5 (1961-1975)**

Classe di dimensione edilizia: **Edificio multifamiliare**



V [m³]	S/V [m⁻¹]	A _{r,i} [m²]	Numero di appartamenti	Numero di piani climatizzati
3074	0,54	934	10	5

STATO ORIGINARIO

TIPOLOGIA COSTRUTTIVA

COPERTURA



Tetto a falde in laterizio [sottotetto non climatizzato]

PARETI



1. Muratura a cassa-vuota con mattoni forati (30 cm)



2. Muratura in mattoni forati (25 cm) (verso ambiente non riscaldato)

SOLAIO

(superiore, verso ambiente non riscaldato)



Solaio latero-cementizio

SOLAIO

(inferiore, su ambiente non riscaldato)



Solaio latero-cementizio

SERRAMENTO



Vetro singolo, telaio in legno

COPERTURA	PARETI		SOLAIO (superiore)	SOLAIO (inferiore)	SERRAMENTO	
U [W/(m²K)]	U_1 [W/(m²K)]	U_2 [W/(m²K)]	U [W/(m²K)]	U [W/(m²K)]	U [W/(m²K)]	$g_{gl,n}$ [-]
2,20	1,15	1,52	1,65	1,30	4,90	0,85

Regione/Zona climatica: **Area climatica media**

Classe di epoca di costruzione: **5 (1961-1975)**

Classe di dimensione edilizia: **Blocco di appartamenti**



V [m³]	S/V [m⁻¹]	A _{r,i} [m²]	Numero di appartamenti	Numero di piani climatizzati
9438	0,46	2869	40	8

STATO ORIGINARIO

TIPOLOGIA COSTRUTTIVA

COPERTURA



Tetto a falde in laterizio [sottotetto non climatizzato]

PARETI



1. Muratura a cassa-vuota con mattoni forati (40 cm)



2. Muratura in mattoni forati (40 cm) (verso ambiente non riscaldato)

SOLAIO

(superiore, verso ambiente non riscaldato)



Solaio latero-cementizio

SOLAI

(inferiori)



1. Solaio latero-cementizio (su ambiente esterno)



2. Solaio latero-cementizio (su ambiente non riscaldato)

SERRAMENTO

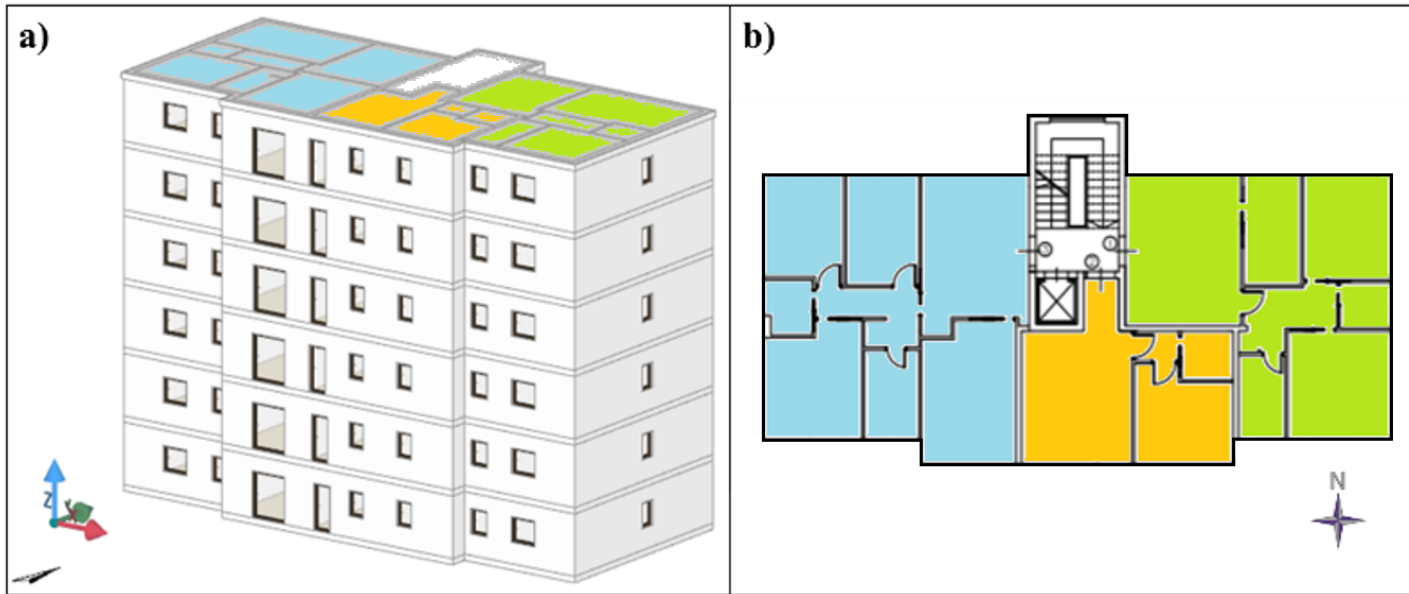


Vetro singolo, telaio in legno

COPERTURA	PARETI		SOLAIO (superiore)	SOLAI (inferiori)		SERRAMENTO	
U [W/(m²K)]	U_1 [W/(m²K)]	U_2 [W/(m²K)]	U [W/(m²K)]	U_1 [W/(m²K)]	U_2 [W/(m²K)]	U [W/(m²K)]	$g_{gl,n}$ [-]
2,20	1,10	1,13	1,65	1,56	1,30	4,90	0,85



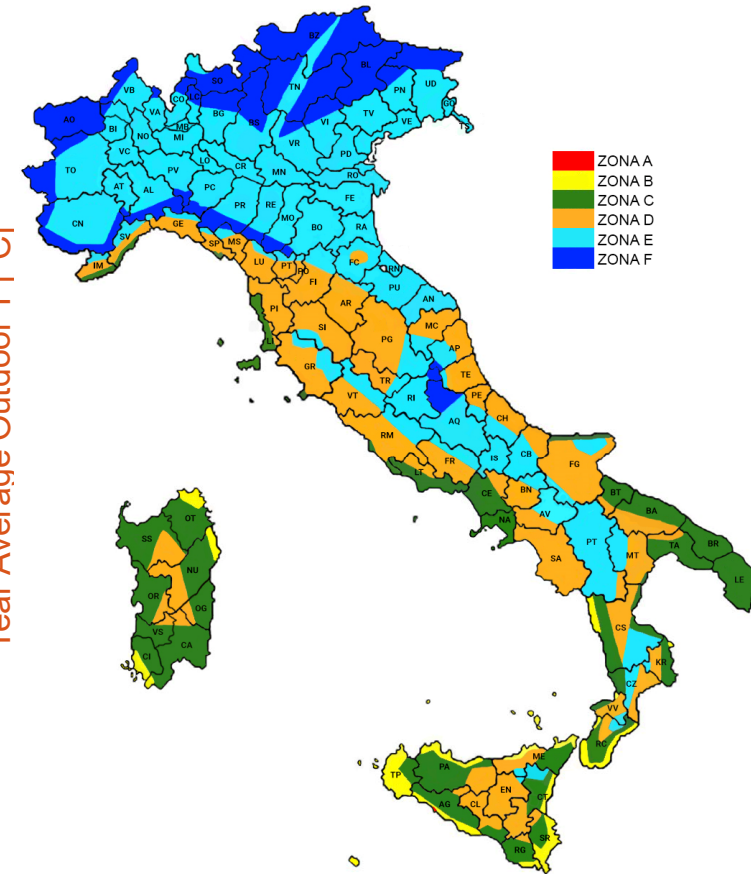
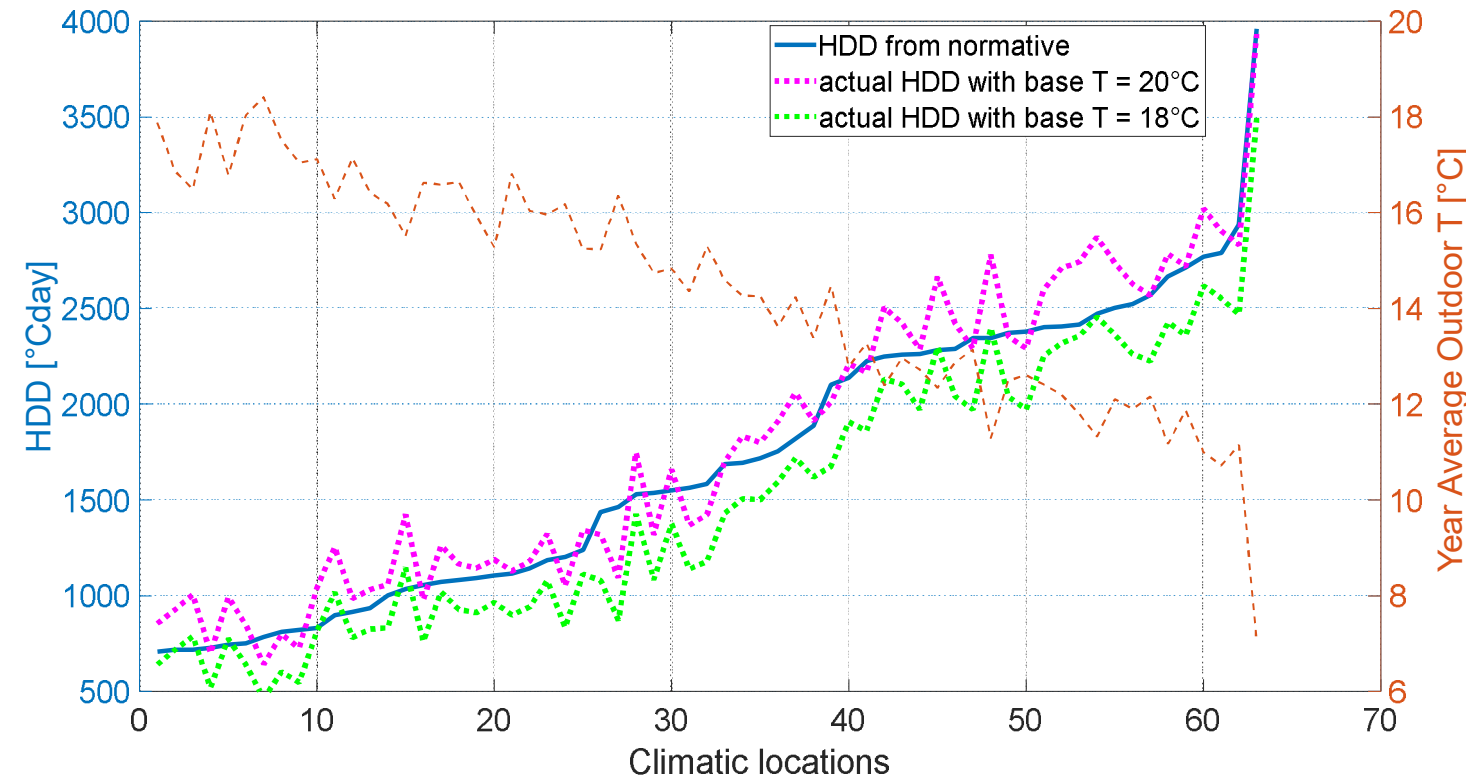
Edificio di Nuova Costruzione in c.a., 63 comuni

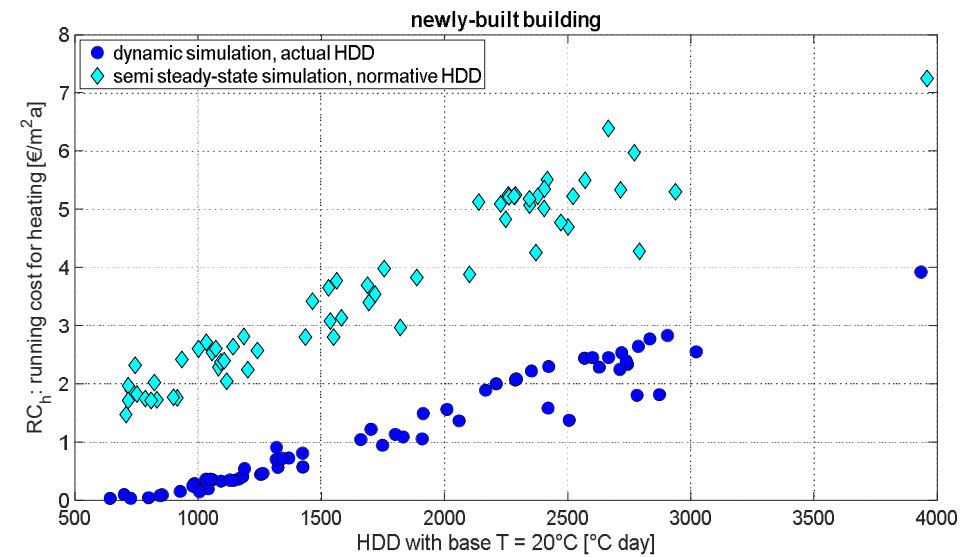
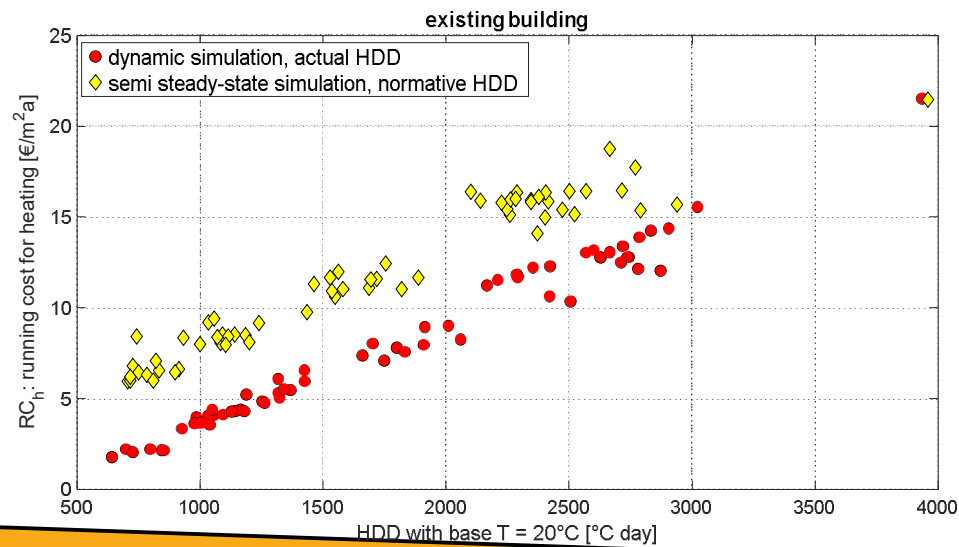
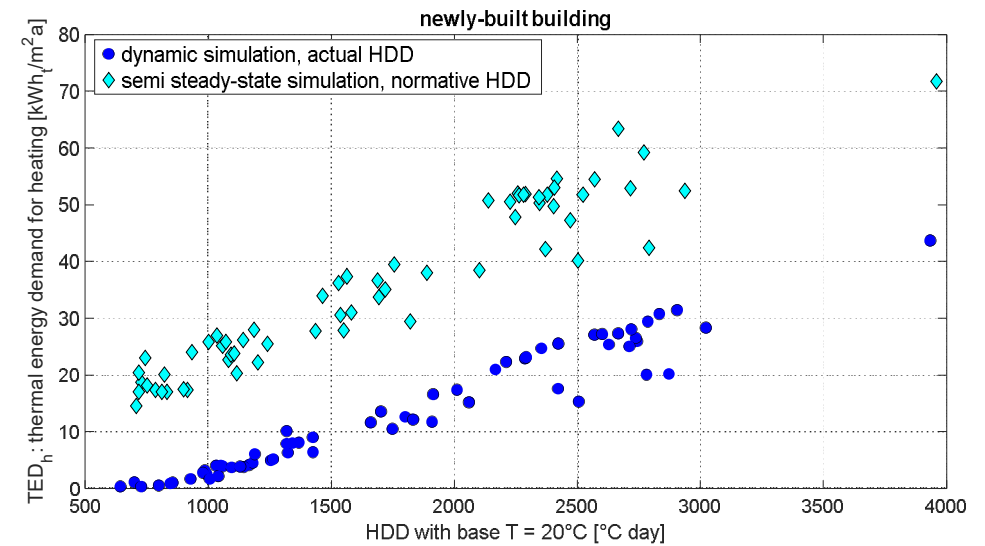
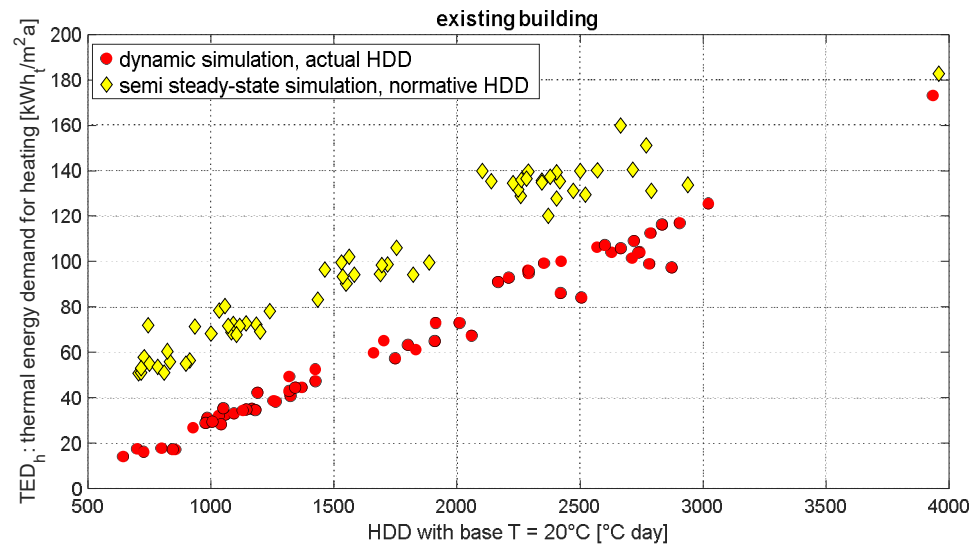


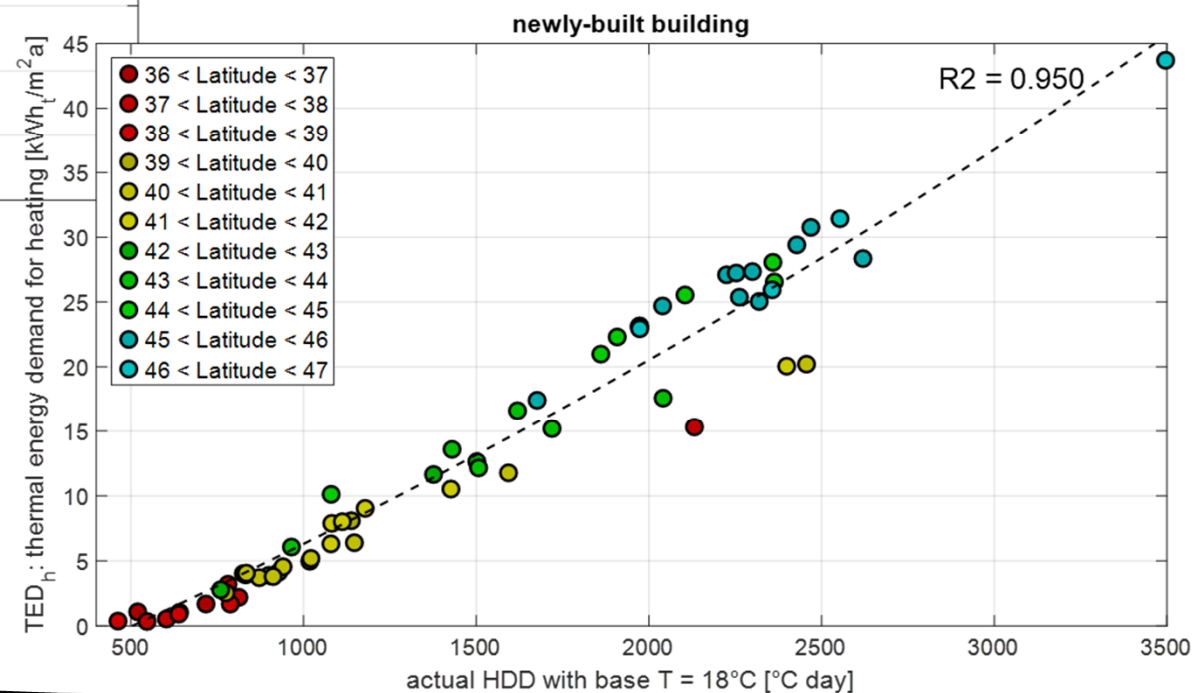
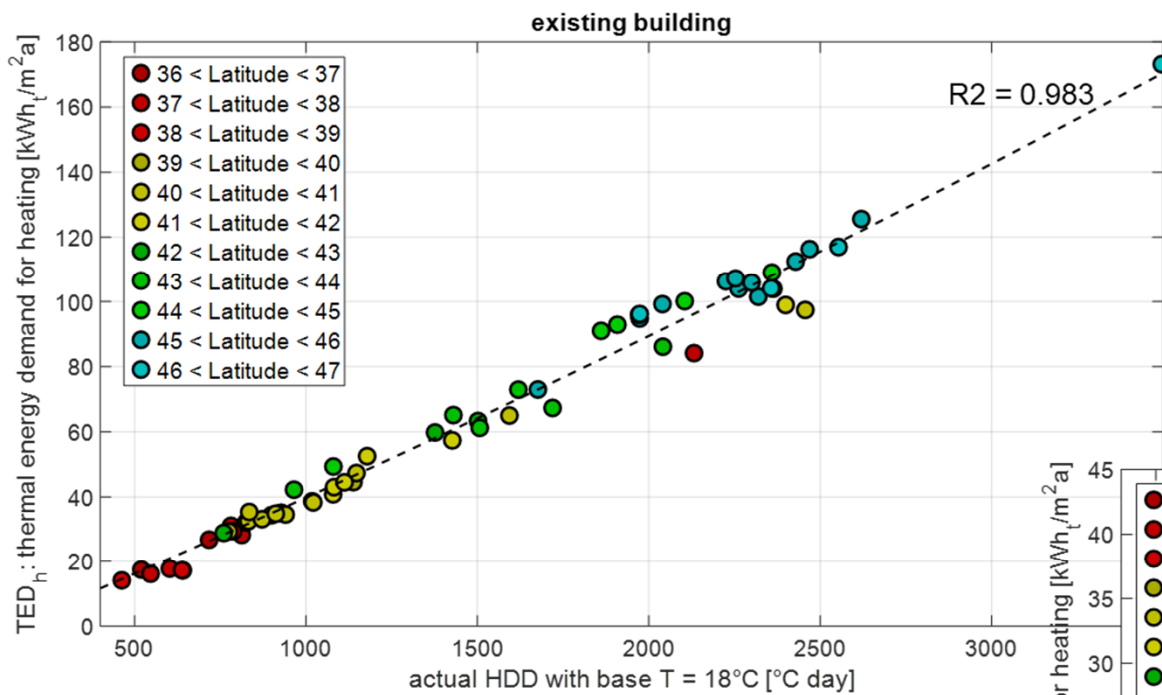
HDD	climatic zone	heating period (mm/dd)	daily heating
< 600	A	12/1 - 03/15	6 hours/day
601 - 900	B	12/1 - 03/31	8 hours/day
901 - 1400	C	11/15 - 03/31	10 hours/day
1401 - 2100	D	11/1 - 04/15	12 hours/day
2101 - 3000	E	10/15 - 04/15	14 hours/day
> 3001	F	no limitations	no limitations

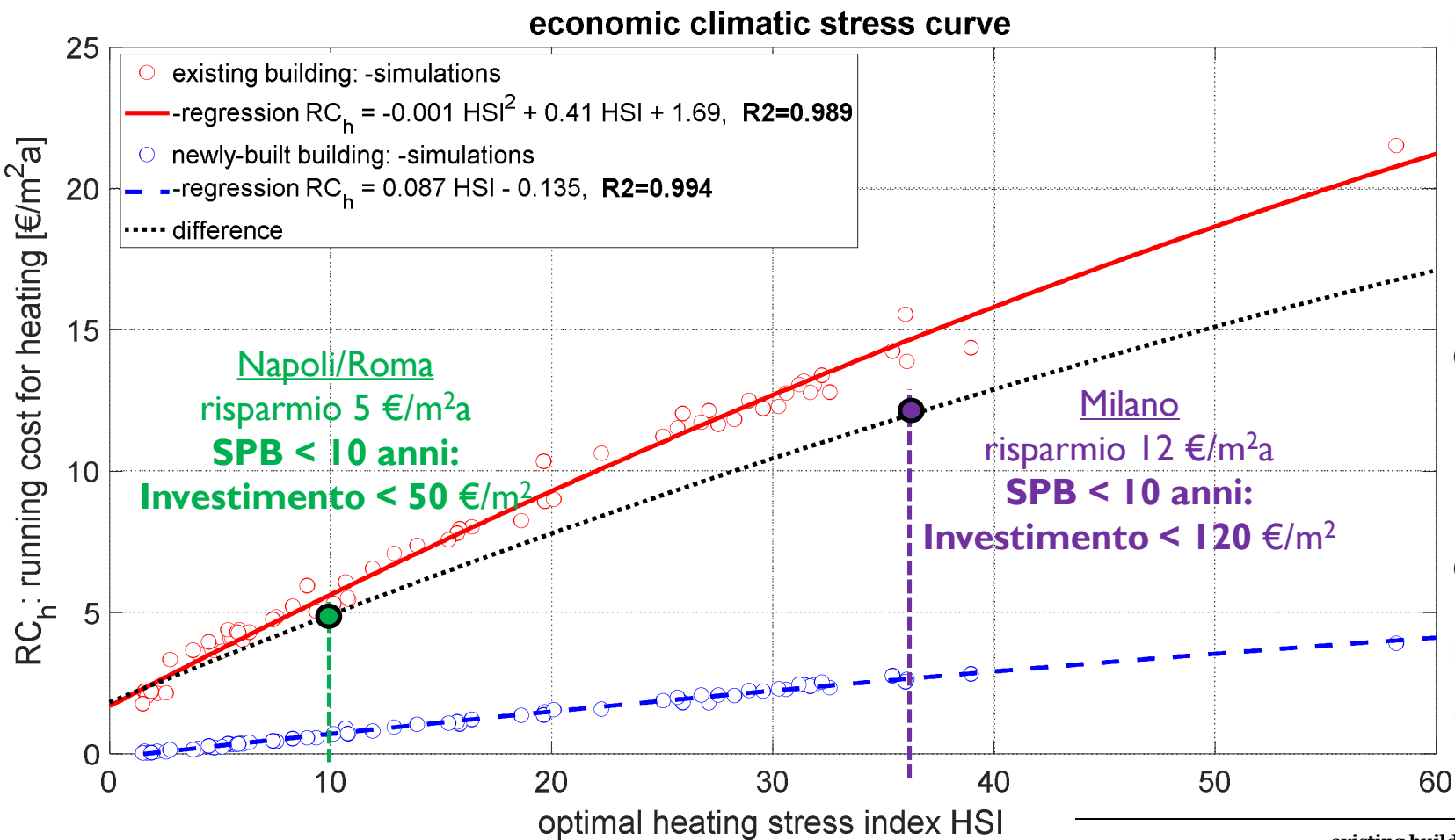
- edificio rappresentativo nuove costruzioni
- tamponature in doppia pelle **isolate** → $U = 0.28 \text{ W/m}^2\text{K}$
- solaio latero-cementizio **isolato** → $U = 0.17 \text{ W/m}^2\text{K}$
- superficie finestrata = **15%**; doppio vetro con Argon low-e + PVC → $U = 1.6 \text{ W/m}^2\text{K}$
- radiatori + caldaia a **condensazione** ($\eta_{\text{caldaia}} = 1.05$); setpoint = 20°C

Gradi Giorno









Interventi:

- ✓ cappotto termico
- ✓ serramenti nuovi
- ✓ caldaie a condensazione
- ✓ valvole termostatiche

Consumi:

- ↓ **90%(zone B)**
- ↓ **80% (zone E)**

Costo ~ 150 €/m²

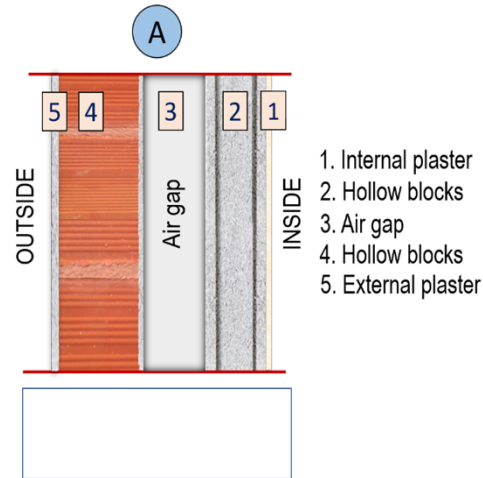
Incentivo per SPB < 10 anni:

- **Napoli/Roma → 65%**
- **Milano → 20%**

location	HSI (eq. 7)	existing building		newly-built building (nZEB)		difference (retrofit potential)	
		TED _h [kWh/m²a]	RC _h [€/m²a]	TED _h [kWh/m²a]	RC _h [€/m²a]	TED _h [kWh/m²a]	RC _h [€/m²a]
Napoli	8.9	42.1	5.21	6.9	0.62	35.2	4.59
Roma	10.8	48.0	5.94	8.6	0.78	39.4	5.16
Milano	35.4	117.0	14.4	29.0	2.60	88.0	11.8

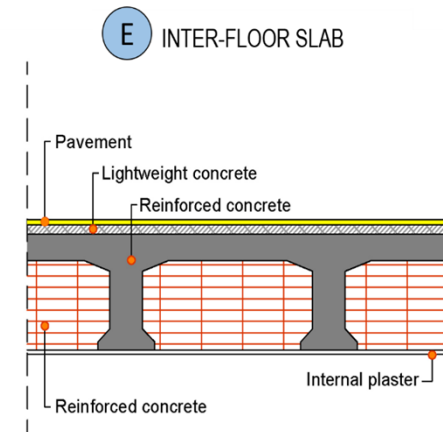
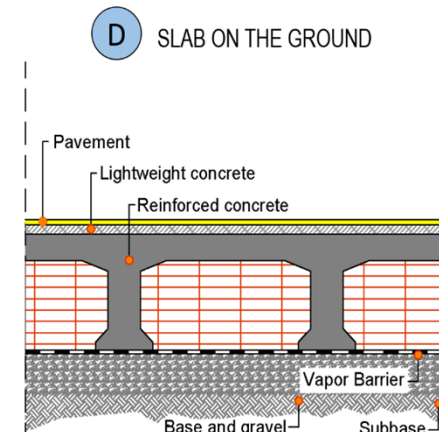
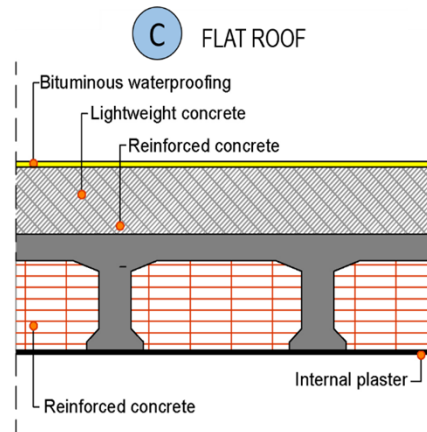


Complesso residenziale in c.a., Roma, 8 piani

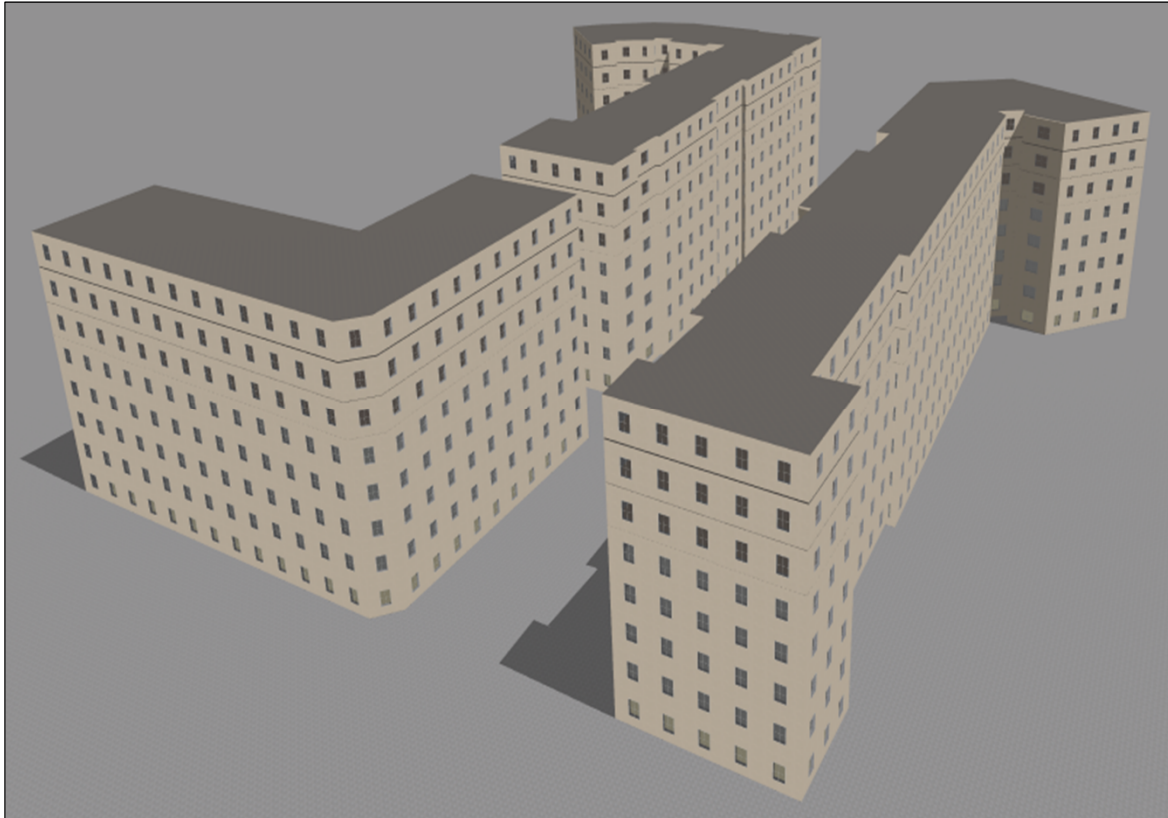


WINTER HEATING:
centralized boiler and
in-room hot water
radiators.

SUMMER COOLING:
DX split systems.



Complesso residenziale in c.a., Roma, 8 piani



Geometria & Involucro Edilizio

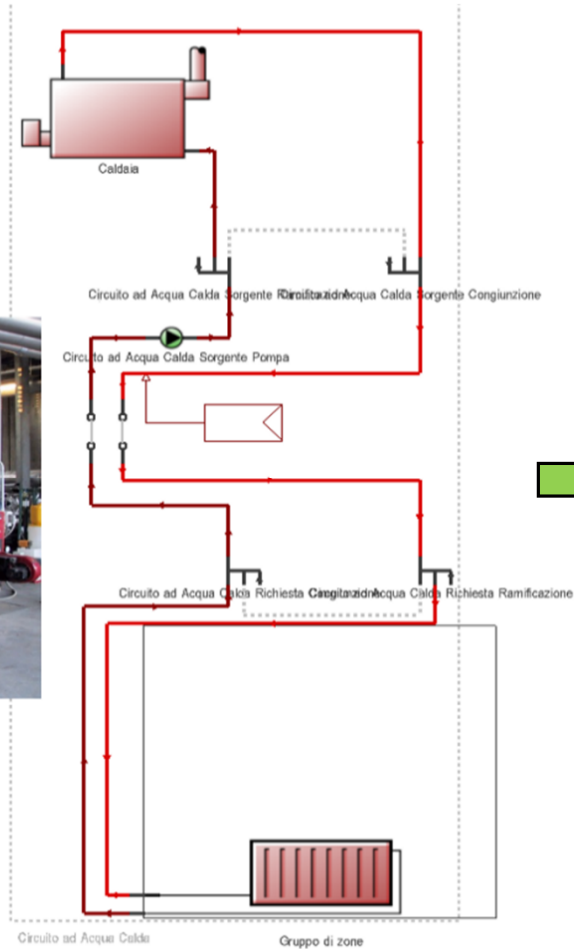
DIMENSIONI E GEOMETRIA DEI PRINCIPALI EDIFICI					
Superficie totale dell'edificio	27'726 m ²	Lunghezza Lotto	125 m	Volume lordo	94'908 m ³
Altezza interpiano	3.50 m	Larghezza Lotto	65 m	Superficie copertura	3464 m ²
INVOLUCRO EDILIZIO					
U _{PARETI ESTERNE}	0.95 W/m ² K	U _{COPERTURA}	2.86 W/m ² K	Windows SHGC	0.75
U _{PIANO TERRA}	2.68 W/m ² K	U _{WINDOWS}	5.7 – 3.2 W/m ² K	Portata di infiltrazione	0.75 h ⁻¹
Area opaca, finestrata ed esposizioni					
	Total	North	Est	Sud	
Area Lorda Muri [m ²]	17'919	5'041	4'149	4'767	
Area Lorda Finestre [m ²]	2'618	740	605	690	
Percentuale verticale vetrato/opaco [%]	14.6	14.7	14.6	14.5	

Impianti

3 caldaie a basamento
gas naturale
800 kW



Raffrescamento:
«dual split» autonomi
COP = 2.5



$$\eta_g = \eta_e \times \eta_{rg} \times \eta_d \times \eta_{gn}$$

1. Rendimento di emissione (η_e)

Radiatori	0,94
Ventilconvettori	0,95
Termoconvettori e bocchette aria calda	0,92
Pannelli a pavimento	0,96
Pannelli a soffitto e parete	0,95
Altri	0,92

2. Rendimento di regolazione (η_{rg})

Regolazione On-Off	0,94
Altre regolazioni	0,96

3. Rendimento di distribuzione (η_d)

Impianti centralizzati con montanti di distribuzione	0,92
Impianti centralizzati a distribuzione orizzontale	0,94
Impianti autonomi	0,96
Altre tipologie	0,92

$$\eta_{gn} = \text{Valore di base} - F1 - F2 - F3 - F4 - F5 - F6$$

dove i riduttivi F rappresentano:

F1 = Riduzione che tiene conto del rapporto tra potenza del generatore e potenza di progetto richiesta;

F2 = Riduzione per installazione all'esterno;

F3 = Riduzione per camini di altezza superiore a 10 m.;

F4 = Riduzione che tiene conto della Temperatura media di caldaia;

F5 = Riduzione da considerare se il generatore è monostadio;

F6 = Riduzione che tiene conto della Temperatura di ritorno in caldaia;

Generatori di calore atmosferici tipo B classificati **

Valore di base	F1	F2	F4
0,90	-0,03	-0,09	-0,02

Generatori di calore a gas o gasolio, bruciatore ad aria soffziata o premiscelati, modulanti, classificati **

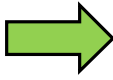
$$\eta_g = \eta_e \times \eta_{rg} \times \eta_d \times \eta_{gn}$$

Eta globale stagionale = 0.63



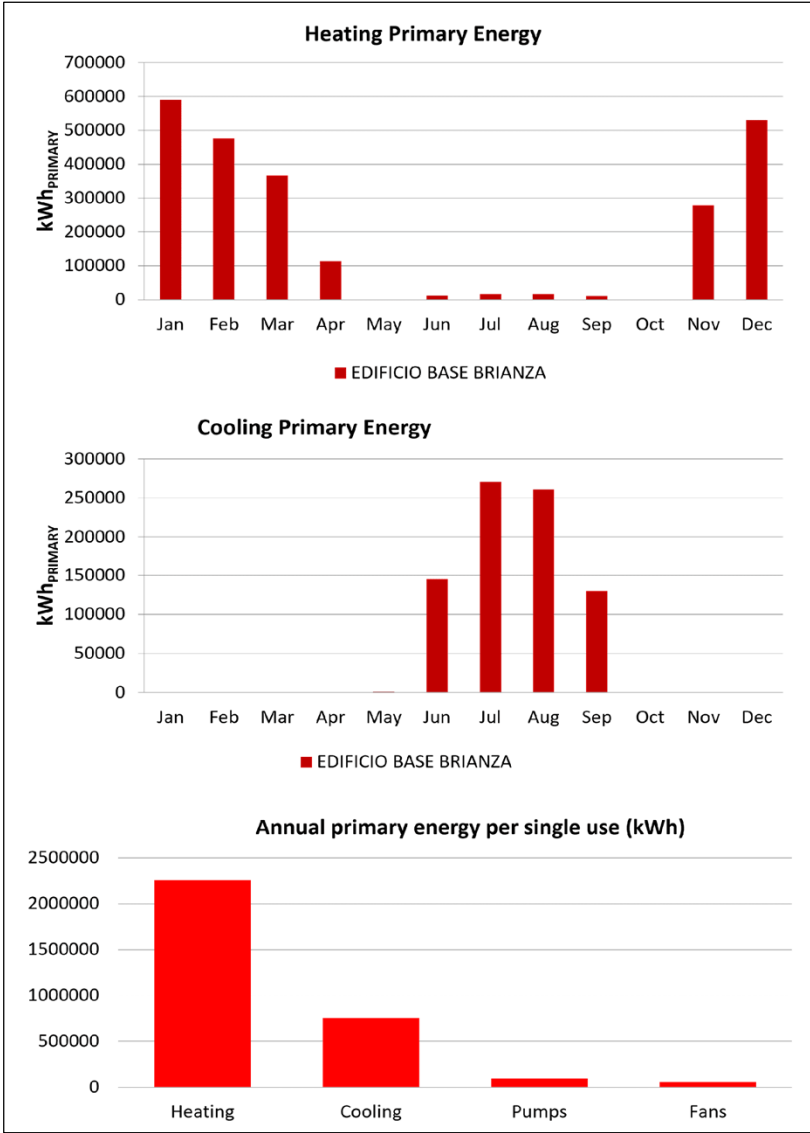
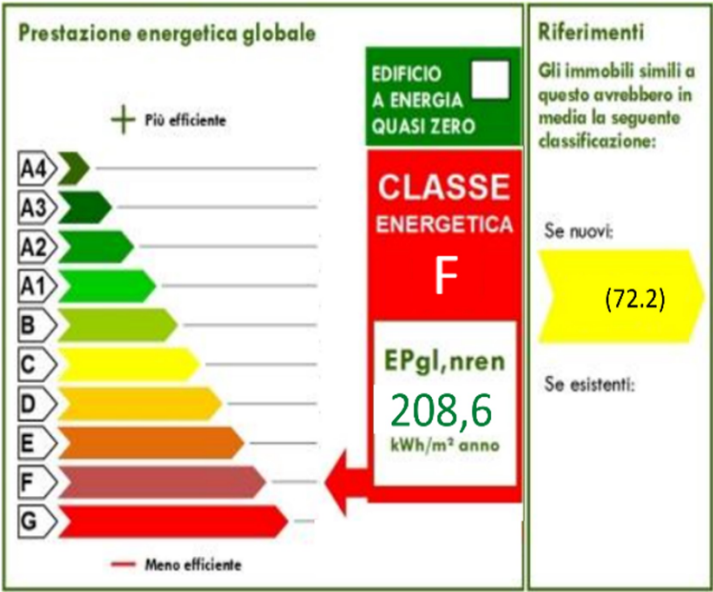
Analisi dinamica «tailored»

- **Riscaldamento:** **87** kWh_p/m²a
costo gas = 1.34 €/m³ → ~**1200 €/anno per 100 m²**
- **Raffrescamento:** **29** kWh_p/m²a
costo elettricità = 0.39 €/kWh → ~ **600 €/anno per 100 m²**



Analisi semi-stazionaria «standard»

- **Riscaldamento:**
150 kWh_p/m²a
- **Raffrescamento:**
28 kWh_p/m²a
- ACS:** **31** kWh_p/m²a



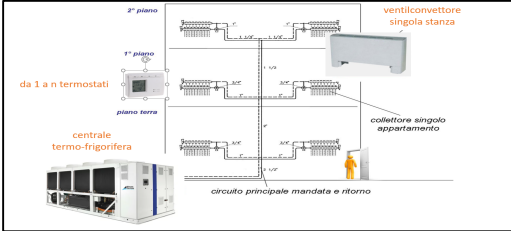
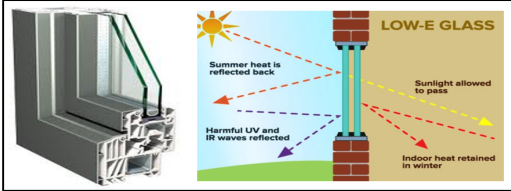
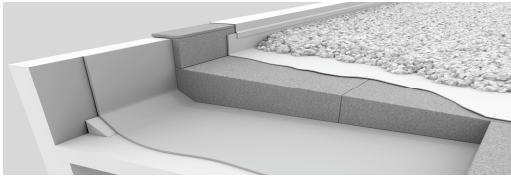
Caso studio 2

Interventi di Retrofit

- ✦ cappotto verticale
- ✦ tetto rovescio
- ✦ sostituzione dei serramenti
- ✦ pompa di calore reversibile con ventilconvettori
- ✦ scalda acqua a pompa di calore
- ✦ impianto fotovoltaico in copertura

Parameter	Lifetime considered in calculation
Thermal insulation	50 years
Windows	30 years
Technical installation	15 years

Durata interventi di efficientamento energetico, DIN 15459



Cappotto verticale (12 cm PUR $\rightarrow U = 0.19 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Vita Utile	50
------------	----

Analisi Energetica

Riscaldamento	
Riduzione Consumi	12%
Risparmio [€/100m ² a]	136
Raffrescamento	
Riduzione Consumi	3.4%
Risparmio [€/100m ² a]	20

Analisi Economica

Costo unitario [€/m ²]	95
Costo per Sup. Calp. [€/m ²]	52
SPB (no incentivi) [anni]	34
SPB (20% incentivo) [anni]	27
SPB (40% incentivo) [anni]	20
SPB (60% incentivo) [anni]	13
SPB (80% incentivo) [anni]	7

costo gas 1.34 €/m³
costo en. el. 0.39 €/kWh

Vita Utile	50
------------	----

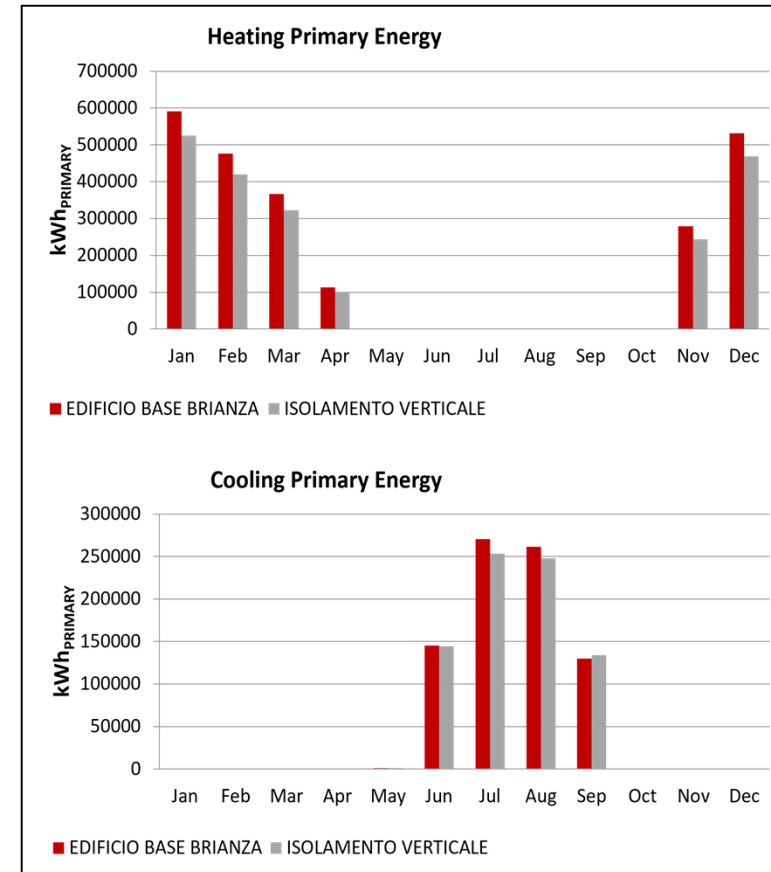
Analisi Energetica

Riscaldamento	
Riduzione Consumi	12%
Risparmio [€/100m ² a]	91
Raffrescamento	
Riduzione Consumi	3.4%
Risparmio [€/100m ² a]	12

Analisi Economica

Costo unitario [€/m ²]	95
Costo per Sup. Calp. [€/m ²]	52
SPB (no incentivi) [anni]	51
SPB (20% incentivo) [anni]	40
SPB (40% incentivo) [anni]	30
SPB (60% incentivo) [anni]	20
SPB (80% incentivo) [anni]	10

costo gas 0.9 €/m³
costo en. el. 0.24 €/kWh



Tetto rovescio (12 cm PUR $\rightarrow U = 0.27 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Vita Utile	50
------------	----

Analisi Energetica

Riscaldamento	
Riduzione Consumi	19%
Risparmio [€/100m ² a]	223
Raffrescamento	
Riduzione Consumi	3.4%
Risparmio [€/100m ² a]	61

Analisi Economica

Costo unitario [€/m ²]	125
Costo per Sup. Calp. [€/m ²]	16
SPB (no incentivi) [anni]	5
SPB (20% incentivo) [anni]	4
SPB (40% incentivo) [anni]	3
SPB (60% incentivo) [anni]	2
SPB (80% incentivo) [anni]	1

costo gas 1.34 €/m³
costo en. el. 0.39 €/kWh

Vita Utile	50
------------	----

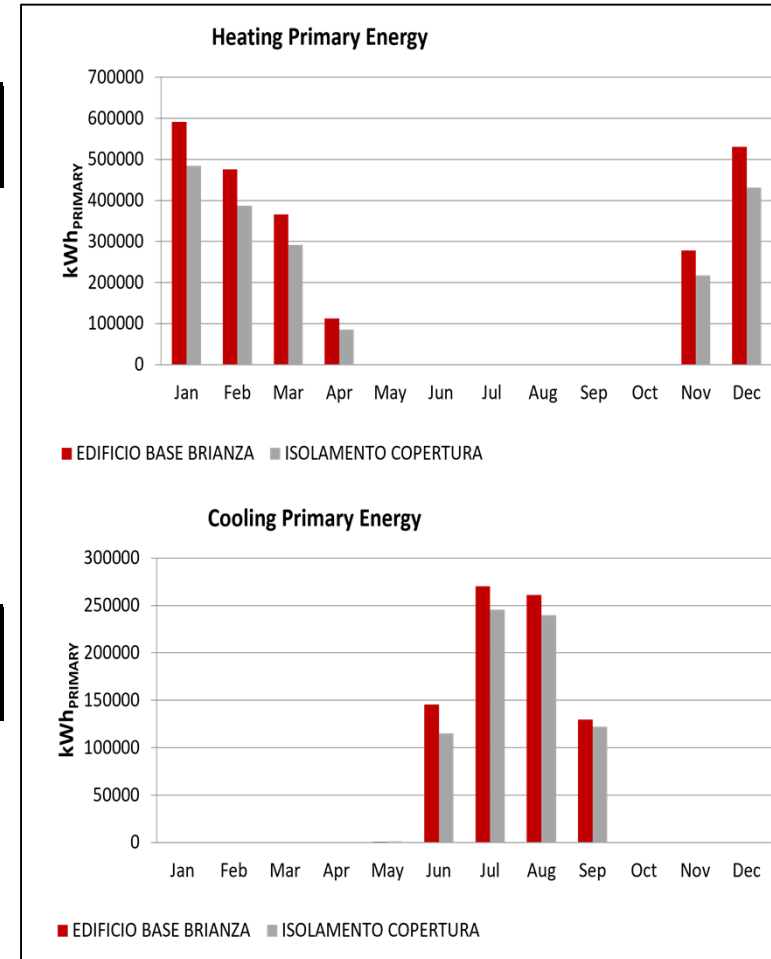
Analisi Energetica

Riscaldamento	
Riduzione Consumi	19%
Risparmio [€/100m ² a]	150
Raffrescamento	
Riduzione Consumi	3.4%
Risparmio [€/100m ² a]	38

Analisi Economica

Costo unitario [€/m ²]	125
Costo per Sup. Calp. [€/m ²]	16
SPB (no incentivi) [anni]	8
SPB (20% incentivo) [anni]	7
SPB (40% incentivo) [anni]	5
SPB (60% incentivo) [anni]	3
SPB (80% incentivo) [anni]	2

costo gas 0.9 €/m³
costo en. el. 0.24 €/kWh



Serramenti (doppio vetro, low-e, con Argon, PVC → $U = 1.6 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Vita Utile	30
------------	----

Analisi Energetica	
Riscaldamento	
Riduzione Consumi	58%
Risparmio [€/100m ² a]	670
Raffrescamento	
Incremento Consumi	8%
Incremento costi [€/100m ² a]	48

Vita Utile	30
------------	----

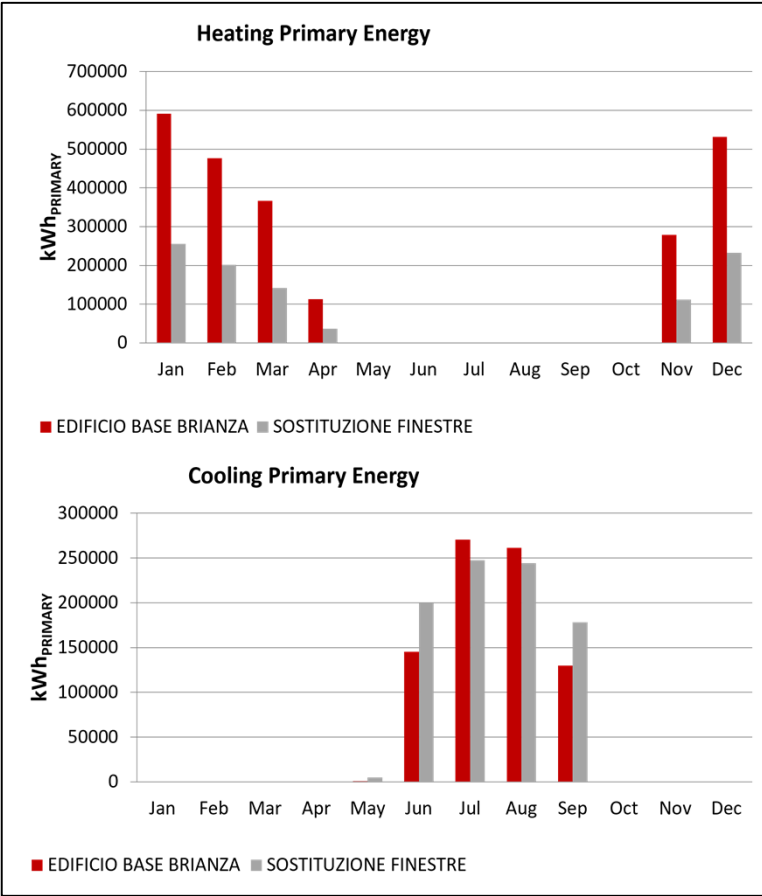
Analisi Energetica	
Riscaldamento	
Riduzione Consumi	58%
Risparmio [€/100m ² a]	450
Raffrescamento	
Incremento Consumi	8%
Incremento costi [€/100m ² a]	30

Analisi Economica	
Costo unitario [€/m ²]	550
Costo per Sup. Calp. [€/m ²]	52
SPB (no incentivi) [anni]	8
SPB (20% incentivo) [anni]	7
SPB (40% incentivo) [anni]	5
SPB (60% incentivo) [anni]	3
SPB (80% incentivo) [anni]	2

costo gas	1.34 €/m ³
costo en. el.	0.39 €/kWh

Analisi Economica	
Costo unitario [€/m ²]	550
Costo per Sup. Calp. [€/m ²]	52
SPB (no incentivi) [anni]	12
SPB (20% incentivo) [anni]	10
SPB (40% incentivo) [anni]	7
SPB (60% incentivo) [anni]	5
SPB (80% incentivo) [anni]	2

costo gas	0.9 €/m ³
costo en. el.	0.24 €/kWh



Pompa di Calore reversibile e ventilconvettori

Vita Utile	15
------------	----

Analisi Energetica

Riscaldamento	
Riduzione Consumi	56%
Risparmio [€/100m ² a]	405
Raffrescamento	
Riduzione Consumi	23%
Risparmio [€/100m ² a]	136

Vita Utile	15
------------	----

Analisi Energetica

Riscaldamento	
Riduzione Consumi	56%
Risparmio [€/100m ² a]	272
Raffrescamento	
Riduzione Consumi	23%
Risparmio [€/100m ² a]	84

Analisi Economica

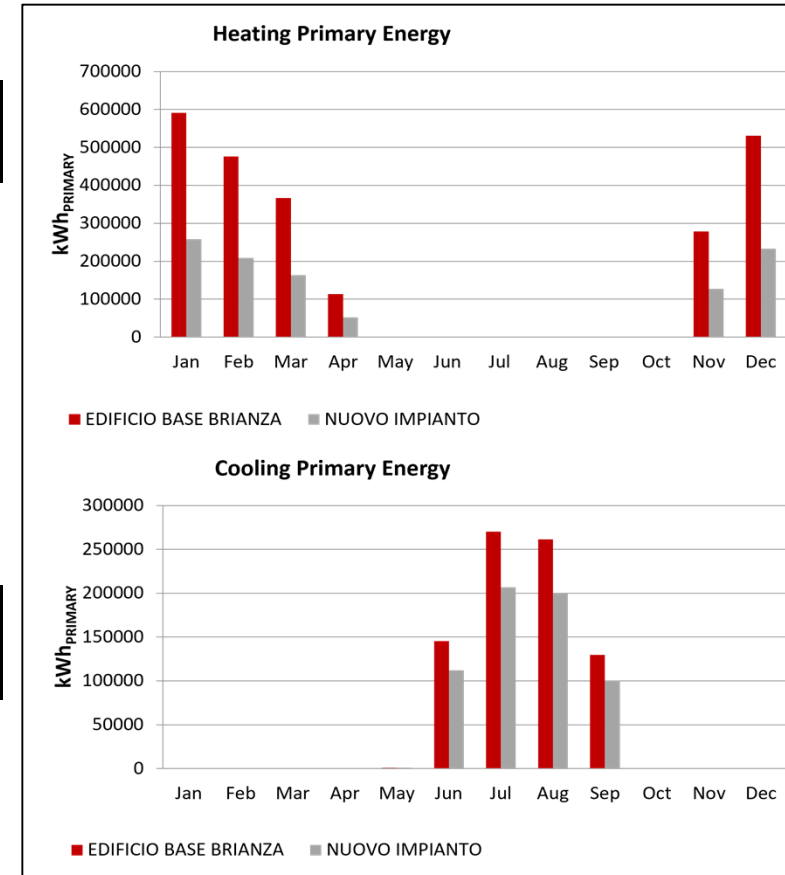
Costo per Sup. Calp. [€/m ²]	56
SPB (no incentivi) [anni]	10
SPB (20% incentivo) [anni]	8
SPB (40% incentivo) [anni]	6
SPB (60% incentivo) [anni]	4
SPB (80% incentivo) [anni]	2

costo gas	1.34 €/m ³
costo en. el.	0.39 €/kWh

Analisi Economica

Costo per Sup. Calp. [€/m ²]	56
SPB (no incentivi) [anni]	16
SPB (20% incentivo) [anni]	13
SPB (40% incentivo) [anni]	9
SPB (60% incentivo) [anni]	6
SPB (80% incentivo) [anni]	3

costo gas	0.9 €/m ³
costo en. el.	0.24 €/kWh



Pompa di Calore per ACS

Analisi Economica

Costo per Sup. Calp. [€/m ²]	15
SPB (no incentivi) [anni]	2
SPB (20% incentivo) [anni]	2
SPB (40% incentivo) [anni]	1
SPB (60% incentivo) [anni]	1
SPB (80% incentivo) [anni]	0

costo en. el. 0.39 €/kWh

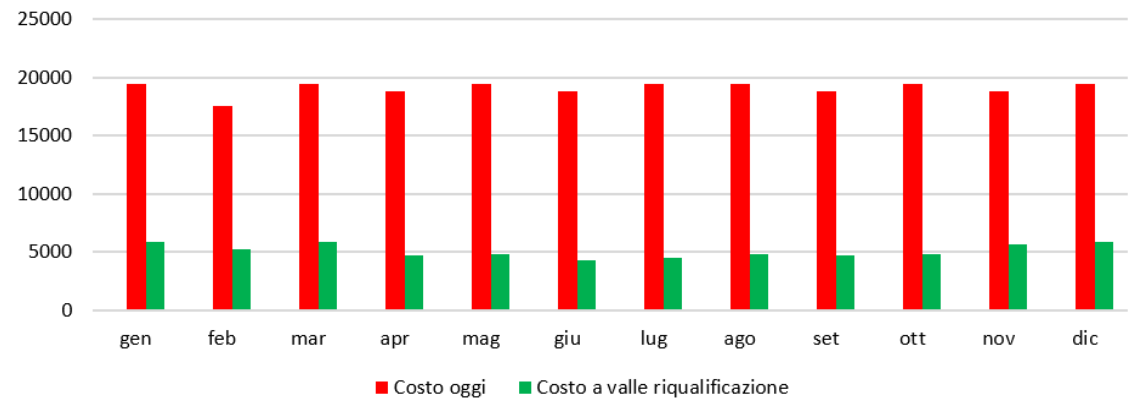
↓ consumi ACS ~ 70%

Analisi Economica

Costo per Sup. Calp. [€/m ²]	15
SPB (no incentivi) [anni]	4
SPB (20% incentivo) [anni]	3
SPB (40% incentivo) [anni]	2
SPB (60% incentivo) [anni]	2
SPB (80% incentivo) [anni]	1

costo en. el. 0.24 €/kWh

Costi attuali e potenziali €



Impianto Fotovoltaico in copertura

Analisi Economica

Costo unitario [€/kW]	1840
Costo per Sup. Calp. [€/m ²]	19
SPB (no incentivi) [anni]	4
SPB (20% incentivo) [anni]	3
SPB (40% incentivo) [anni]	2
SPB (60% incentivo) [anni]	2
SPB (80% incentivo) [anni]	1

costo en. el. 0.39 €/kWh

- 75% tetto (spazio per macchine, manutenzione, camminamento) → 2600 m² → **290 kW** (9 m²/kW)
- Orientati Sud, tilt = 5% → + pannelli, - impatto visivo
- batterie di accumulo 0.8 kWh/kW
- 90% autoconsumo

Analisi Economica

Costo unitario [€/m ²]	1840
Costo per Sup. Calp. [€/m ²]	19
SPB (no incentivi) [anni]	6
SPB (20% incentivo) [anni]	5
SPB (40% incentivo) [anni]	4
SPB (60% incentivo) [anni]	3
SPB (80% incentivo) [anni]	1

costo en. el. 0.24 €/kWh



Intervento cumulato



Analisi Economica

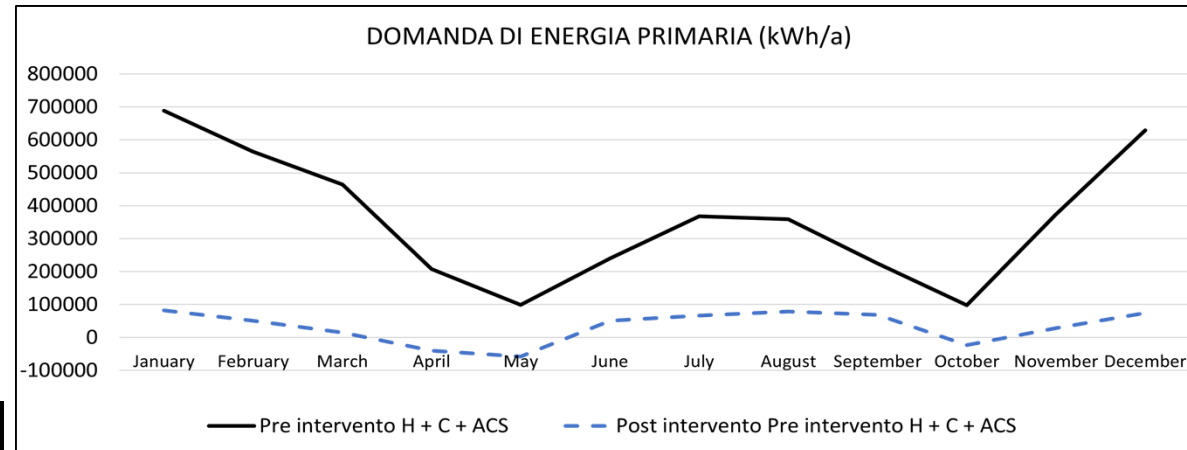
Costo per Sup. Calp. [€/m ²]	210
SPB (no incentivi) [anni]	13
SPB (20% incentivo) [anni]	10
SPB (40% incentivo) [anni]	8
SPB (60% incentivo) [anni]	5
SPB (80% incentivo) [anni]	3

costo gas	1.34 €/m ³
costo en. el.	0.39 €/kWh

Analisi Economica

Costo per Sup. Calp. [€/m ²]	210
SPB (no incentivi) [anni]	20
SPB (20% incentivo) [anni]	16
SPB (40% incentivo) [anni]	12
SPB (60% incentivo) [anni]	8
SPB (80% incentivo) [anni]	4

costo gas	0.9 €/m ³
costo en. el.	0.24 €/kWh



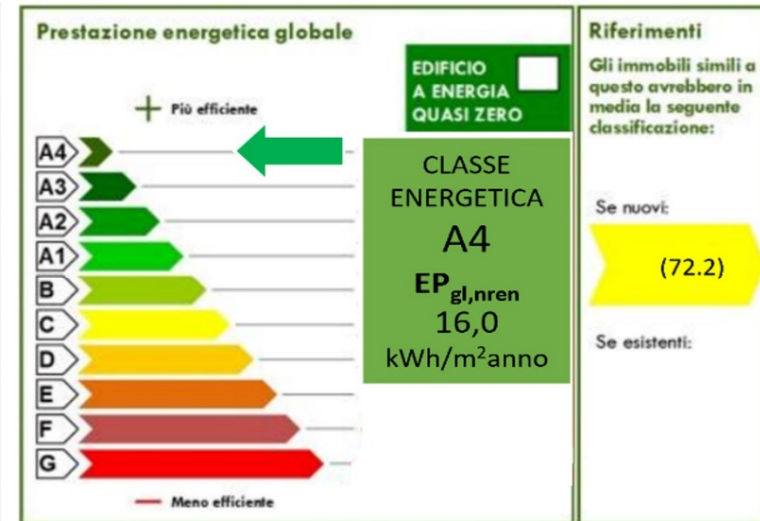
L'edificio ha ridotto del 90% la sua domanda di energia primaria, risultando quindi «de-carbonizzato»



Intervento cumulato



	Classe A4	$\leq 0,40 \text{ EP}_{\text{gl,nren,rif,standard}}$
$0,40 \text{ EP}_{\text{gl,nren,rif,standard}} <$	Classe A3	$\leq 0,60 \text{ EP}_{\text{gl,nren,rif,standard}}$
$0,60 \text{ EP}_{\text{gl,nren,rif,standard}} <$	Classe A2	$\leq 0,80 \text{ EP}_{\text{gl,nren,rif,standard}}$
$0,80 \text{ EP}_{\text{gl,nren,rif,standard}} <$	Classe A1	$\leq 1,00 \text{ EP}_{\text{gl,nren,rif,standard}}$
$1,00 \text{ EP}_{\text{gl,nren,rif,standard}} <$	Classe B	$\leq 1,20 \text{ EP}_{\text{gl,nren,rif,standard}}$
$1,20 \text{ EP}_{\text{gl,nren,rif,standard}} <$	Classe C	$\leq 1,50 \text{ EP}_{\text{gl,nren,rif,standard}}$
$1,50 \text{ EP}_{\text{gl,nren,rif,standard}} <$	Classe D	$\leq 2,00 \text{ EP}_{\text{gl,nren,rif,standard}}$
$2,00 \text{ EP}_{\text{gl,nren,rif,standard}} <$	Classe E	$\leq 2,60 \text{ EP}_{\text{gl,nren,rif,standard}}$
$2,60 \text{ EP}_{\text{gl,nren,rif,standard}} <$	Classe F	$\leq 3,50 \text{ EP}_{\text{gl,nren,rif,standard}}$
	Classe G	$> 3,50 \text{ EP}_{\text{gl,nren,rif,standard}}$



Classe A4 ma non **nZEB**:

1. ACS per almeno il **50%** da rinnovabile: **Sì** → **pompa di calore + fotovoltaico**
2. Riscaldamento + raffrescamento + ACS per almeno il **50%** da rinnovabile: **NO, ci fermiamo al 39%!**
3. Fotovoltaico per almeno **70 kW** (su copertura di 3450 m²): **Sì** → **290 kW**

Caso studio 2



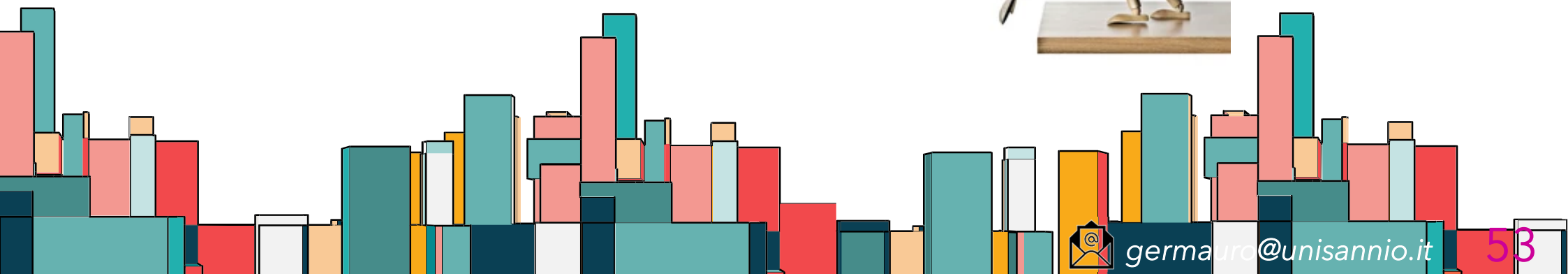
germauro@unisannio.it

De-carbonizzare il parco immobiliare entro il 2050. **Possibile?**

In 30 anni con un «renovation rate» del 3-4%, **Sì.**

Gli incentivi danno una spinta,

ma le nostre **menti** devono spiccare il volo.



germauro@unisannio.it

53

TRANSIZIONE:

«periodo che segna il passaggio da una civiltà a un'altra, durante il quale si maturano nuove forme sociali e di costume, nuove concezioni e produzioni culturali, letterarie, artistiche: **l'età di t. tra il Medioevo e il Rinascimento**»

Gerardo Maria Mauro
germauro@unisannio.it



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DEL SANNIO Benevento