



# SVILUPPO DI MODELLI PER LA REALIZZAZIONE DI INTERVENTI DI EFFICIENZA ENERGETICA SUL PATRIMONIO IMMOBILIARE PUBBLICO

Roma, 1° Luglio 2015

Sviluppo  
della metodologia comparativa *cost-optimal*  
per edifici residenziali e ad uso uffici

Prof. Vincenzo Corrado  
Politecnico di Torino

# EDIFICI DI RIFERIMENTO

Tipologie di edifici per l'applicazione della metodologia comparativa al caso italiano.

CATEGORIA	PERIODO DI RIFERIMENTO		ZONE CLIMATICHE	NUMERO DI MODELLI
<b>Abitazione monofamiliare</b>	esistente	1946-76 1977-97	B - E	4
	nuova	2014	B - E	4
<b>Piccolo condominio</b>	esistente	1946-76 1977-97	B - E	4
	nuova	2014	B - E	4
<b>Grande condominio</b>	esistente	1946-76 1977-97	B - E	4
	nuovo	2014	B - E	4
<b>Edificio ad uso ufficio</b>	esistente	1946-76 1977-97	B - E	4
	nuovo	2014	B - E	4
<b>RESIDENZIALE NUOVI</b>				12
<b>TOTALE RESIDENZIALE</b>				24
<b>UFFICI NUOVI</b>				4
<b>TOTALE UFFICI</b>				8
<b>TOTALE NUOVI</b>				16
<b>TOTALE</b>				32

# EDIFICI DI RIFERIMENTO

Matrice della Tipologia Edilizia della zona climatica E italiana  
(Building Typology Brochure – Italy, progetto TABULA)

## CLASSE DI DIMENSIONE EDILIZIA

<i>Area climatica media</i>		CASE MONOFAMILIARI	CASE A SCHIERA	EDIFICI MULTIFAMILIARI	BLOCCHI DI APPARTAMENTI
<b>CLASSE DI EPOCA DI COSTRUZIONE</b>	<b>1</b> Fino al 1900				
	<b>2</b> 1901-1920				
	<b>3</b> 1921-1945				
	<b>4</b> 1946-1960				
	<b>5</b> 1961-1975				
	<b>6</b> 1976-1990				
	<b>7</b> 1991-2005				
	<b>8</b> Dopo il 2005				

# PICCOLO CONDOMINIO

## Edificio esistente 1946-1976

**SCHEDE 1**

### DATI GENERALI

Codice edificio: RPC\_E2\_E  
 Località: Milano  
 Provincia: Milano  
 Altitudine: 122 m s.l.m.  
 Latitudine: 45° 27' N  
 Longitudine: 9° 11' E  
 Orari giorno: 2404  
 Zona climatica: E  
 Destinazione d'uso: Residenziale  
 Tipologia: Piccolo condominio

Nuovo  
 Esistente

2046-2376  
 2377-2990





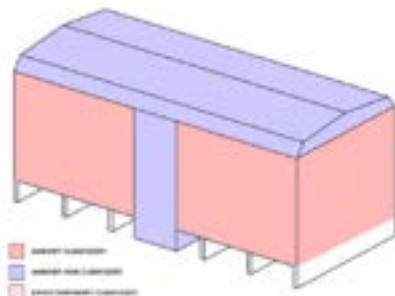
Immagine dell'edificio



Impronta a terra dell'edificio e orientamento principale

### DATI TIPOLOGICI

$V_i$ [m <sup>3</sup> ]	4136
$V_e$ [m <sup>3</sup> ]	2937
$A_{D_i}$ [m <sup>2</sup> ]	1209
$A_{D_e}$ [m <sup>2</sup> ]	1088
$A_{int}$ [m <sup>2</sup> ]	1994
$A_{ext}$ [m <sup>2</sup> ]	121
$A_{int}/V_i$ [m <sup>-1</sup> ]	0,48
N. piani climatizzati [-]	3
Altezza netta interpiano [m]	2,7
N. unità immobiliari [-]	12
$A_{unit}$ [m <sup>2</sup> ]	91



Volumetrico ambienti climatizzati e non climatizzati

**SCHEDE 2**

### DATI COSTRUTTIVI

#### 1) CHIUSURA VERTICALE OPACA

ID	Descrizione	Ambiente confinante	$U_L$ [W/m <sup>2</sup> K]	$\alpha_L$ [kJ/m <sup>2</sup> K]	$\alpha_{int}$ [-]	$\beta$ [-]
CVO01	Muratura in mattoni forati (25 cm), basso livello di isolamento	<input checked="" type="checkbox"/> Esterno <input type="checkbox"/> Ambiente non climatizzato <input type="checkbox"/> Terreno <input type="checkbox"/> Altro_____	0,80	-	0,6	0,9
CVO02	Muratura in mattoni forati (25 cm), basso livello di isolamento	<input type="checkbox"/> Esterno <input checked="" type="checkbox"/> Ambiente non climatizzato <input type="checkbox"/> Terreno <input type="checkbox"/> Altro_____	0,75	-	-	-

#### 2) CHIUSURA VERTICALE TRASPARENTE

ID	CVT01	Descrizione	$U_g$ [W/m <sup>2</sup> K]	$\beta_{ext}$ [-]	$F_v$ [-]	$U_{trans}$ [W/m <sup>2</sup> K]	$U_{ext,trans}$ [W/m <sup>2</sup> K]
		Serramento in vetrocamera con intercapedine d'aria e telaio in metallo senza taglio termico, senza schermature solari e chiusure oscuranti		0,75	0,2	3,7	3,7
		<b>Vetro</b>					
		<input type="checkbox"/> Vetro singolo <input checked="" type="checkbox"/> Vetrocamera semplice <input type="checkbox"/> Vetrocamera basso-emissivo <input type="checkbox"/> Vetro triplo semplice <input type="checkbox"/> Vetro triplo basso-emissivo <input type="checkbox"/> Altro_____	$U_g$ [W/m <sup>2</sup> K]	$\beta_{ext}$ [-]			
		<b>Schermatura mobile</b>					
		<input type="checkbox"/> Interna <input type="checkbox"/> Esterna					
		<input type="checkbox"/> Vetrine bianche <input type="checkbox"/> Tende bianche <input type="checkbox"/> Tessuti colorati <input type="checkbox"/> Tessuti rivestiti in alluminio <input type="checkbox"/> Altro_____					
		<b>Telaio</b>	$U_t$ [W/m <sup>2</sup> K]	$F_v$ [-]			
		<input type="checkbox"/> Legno <input checked="" type="checkbox"/> Metallo senza taglio termico <input type="checkbox"/> Metallo con taglio termico <input type="checkbox"/> PVC <input type="checkbox"/> Legno/alluminio <input type="checkbox"/> Altro_____					
		<b>Chiusura oscurante</b>					
		<input type="checkbox"/> Avvolgibili in alluminio <input type="checkbox"/> Avvolgibili in legno e plastica, riempimento in schiuma assente <input type="checkbox"/> Avvolgibili in plastica, riempimento in schiuma <input type="checkbox"/> In legno da 25 a 30 mm <input type="checkbox"/> Altro_____					
		<b>Serramento</b>	$U_L$ [W/m <sup>2</sup> K]				
		Contributo della chiusura oscurante					

# PICCOLO CONDOMINIO

## Edificio esistente 1946-1976

**SCHEMA 7**

**DATI IMPIANTISTICI**

**1) IMPIANTO DI RISCALDAMENTO**

Tipo di impianto di riscaldamento

Centralizzato  
 Autonomo  
 Teleriscaldamento

Acqua calda  
 Acqua surriscaldata  
 Termoventilazione  
 Climatizzazione  
 A fluido ibtermico

Sottosistema di emissione  $\eta_{s,e}$  0,925

Auxiliari elettrici del sottosistema di emissione

Radiatori  
 Ventilconvettori  
 Termocconvettori  
 Pannelli radianti isolati annegati a pavimento  
 Pannelli radianti annegati a pavimento  
 Pannelli radianti annegati a soffitto  
 Pannelli radianti a parete  
 Altro \_\_\_\_\_

$W_{s,e,p}$  [W] -

Sottosistema di regolazione  $\eta_{s,r}$  -

Tipologia di regolazione

Solo climatica  
 Solo ambiente con regolatore  
 Climatica + ambiente con regolatore  
 Solo zona con regolatore  
 Climatica + zona con regolatore

Caratteristiche della regolazione

Compensazione con sonda esterna  
 On off  
 PI o PID  
 P banda proporzionale 0,5 °C  
 P banda proporzionale 1 °C  
 P banda proporzionale 2°C

VII

**SCHEMA 8**

Sottosistema di distribuzione  $\eta_{s,d}$  0,889

Auxiliari elettrici del sottosistema di distribuzione

Pompa  
 velocità costante  
 velocità variabile

$W_{s,d,p}$  [W] 787  
 $f_v$  [-] 0,6  
 $f_c$  [-] 1

Ventilatore  
 $W_{s,d,v}$  [W]

$A_{s,d}$  [m<sup>2</sup>]  
 $D_{s,d}$  [m]  
 $\lambda_{s,d}$  [W/mK]

Sottosistema di accumulo

Presenza di serbatoio di accumulo  
 Assenza di serbatoio di accumulo

Ubicazione del serbatoio di accumulo

in ambiente climatizzato  
 in ambiente esterno o non climatizzato

Sottosistema di generazione  $\eta_{s,g}$  0,85

Auxiliari elettrici del sottosistema di generazione

$W_{s,g,p}$  [W] 395

Vettore energetico

gas  
 gasolio  
 GPL  
 legna  
 elettricità  
 calore

Anno di installazione Antecedente al 1996

$\Phi_{s,g}$  [kW]  
 $\eta_{s,g}$  [-]

$\eta_{s,g}$  [-] -

in centrale termica  
 in ambiente climatizzato  
 in ambiente esterno o non climatizzato

VIII

# PICCOLO CONDOMINIO

## Edificio esistente 1946-1976

**SCHEDE 1**

**2) IMPIANTO DI ACQUA CALDA SANITARIA**

Tipo di impianto di acqua calda sanitaria

Centralizzato  
 Autonomo\*  
 Teleriscaldamento

\* I dati si riferiscono al singolo impianto. Si ipotizza che le unità immobiliari (se più di una) abbiano lo stesso tipo di impianto.

Produzione separata  
 Produzione combinata acqua calda sanitaria e riscaldamento

Sottosistema di distribuzione

Tipologia di impianto

Impianto senza ricircolo  
 installato prima dell'entrata in vigore della L. 373/76  
 installato dopo l'entrata in vigore della L. 373/76

Impianto con ricircolo

$f_{r,acc}$ [-]	
$L_r$ [m]	
$U_r$ [W/m <sup>2</sup> K]	

Sottosistema di accumulo

Presenza di serbatoio di accumulo  
 Assenza di serbatoio di accumulo

$A_{ser}$ [m <sup>2</sup> ]	
$D_{ser}$ [m]	
$k_{ser}$ [W/mK]	

Ubicazione del serbatoio di accumulo

In ambiente climatizzato  
 In ambiente esterno o non climatizzato

Auxiliari elettrici del sottosistema di distribuzione

<input type="checkbox"/> Pompa	$W_{pompa}$ [W]	
<input type="checkbox"/> velocità costante	$f_v$	[-]
<input type="checkbox"/> velocità variabile	$fC$	[-]

DK

**SCHEDE 20**

Sottosistema di generazione  $\eta_{gen}$  0,75

Auxiliari elettrici del sottosistema di generazione

$W_{elettrici}$  [W] -

Tipo di generatore

Generatore standard  
 di tipo istantaneo  ad accumulo  
 tipo B con pilota permanente  
 tipo B senza pilota  
 tipo C senza pilota

Bollitore elettrico ad accumulo  
 Bollitore ad accumulo a fuoco diretto  
 a camera aperta  
 a condensazione

Caldaia a biomassa (legna, pellet, ...)

Teleriscaldamento  
 Pompa di calore elettrica  
 Pompa di calore ad assorbimento

Vettore energetico

gas  
 gasolio  
 GPL  
 legna  
 elettrica  
 calore

Ubicazione del generatore

In centrale termica  
 In ambiente climatizzato  
 In ambiente esterno o non climatizzato

Anno di installazione -

$\eta_{gen}$  [-] -

X

# LE MISURE DI EFFICIENZA ENERGETICA

						Level of EEO				
						1	2	3	4	5
N.	EEM (inglese)	N. paramaters	Parameter (inglese)	Symbol	No. EEO	Parameter values				
1	External wall thermal insulation (EIFS-EW): exterior insulation finishing system	1	Thermal transmittance	$U_p$	5	0,45	0,34	0,29	0,25	0,2
2	External wall thermal insulation (CWI-EW): cavity wall insulation	1	Thermal transmittance	$U_p$	0	0,29				
3	Roof thermal insulation (INS-R)	1	Thermal transmittance	$U_r$	5	0,4	0,3	0,27	0,23	0,2
4	Floor thermal insulation (INS-F)	1	Thermal transmittance	$U_f$	5	0,45	0,33	0,29	0,24	0,2
5	Window thermal insulation	1	Thermal transmittance	$U_w$	5	5	2,2	1,9	1,6	1,3
6	Solar shading systems (SHAD)	1	Total solar energy transmittance	$g_{gl}$	4	0,77	0,5	0,2	0,1	
7	High efficiency chiller (CHIL)	1	Energy efficiency ratio at design conditions	EER	0	3	3,69	4,2		
8	High efficiency generator for space heating (GHS)	1	Generator efficiency at design conditions	$\eta_{gn}$	5	0,88	0,96	1	1,7	1,9
9	High efficiency generator for DHW (HES-DHW)	1	Generator efficiency at design conditions	$\eta_{gn,Pn,W}$	2	0,8	0,9			
10	High efficiency combined generator for space heating and hot water	1	Generator efficiency at design conditions	$\eta_{gn}$	5	0,88	0,96	1	1,7	1,9
11	Heat pump for heating, cooling and hot water	2	Coefficient of performance at design conditions	COP	0	2,5	3,1	4,2		
			Energy efficiency ratio at design conditions	EER		2,3	2,9	3,1		
12	Thermal solar systems (SOL)	1	Surface of solar collectors	$m^2$	3	7	12	17		
13	PV system (PV)	1	Peak power	kWp	0	2,5	5	7,5	10	
14	Heat recovery ventilation system (ERVS)	1	Heat recovery efficiency	$\eta_r$	0					
15	Improving Control System (ICS)	1	Control efficiency	$\eta_{ctr}$	3	0,94	0,97	0,995		
16	Lighting power density (LPD)	1	Specific luminaire power ( $W/m^2$ ) (UNI EN 15193)	PN	0					
17	Lighting control systems (LCS)	1	Occupancy dependency factor (and constant illuminance factor) (UNI EN	$F_o(F_c)$	0					

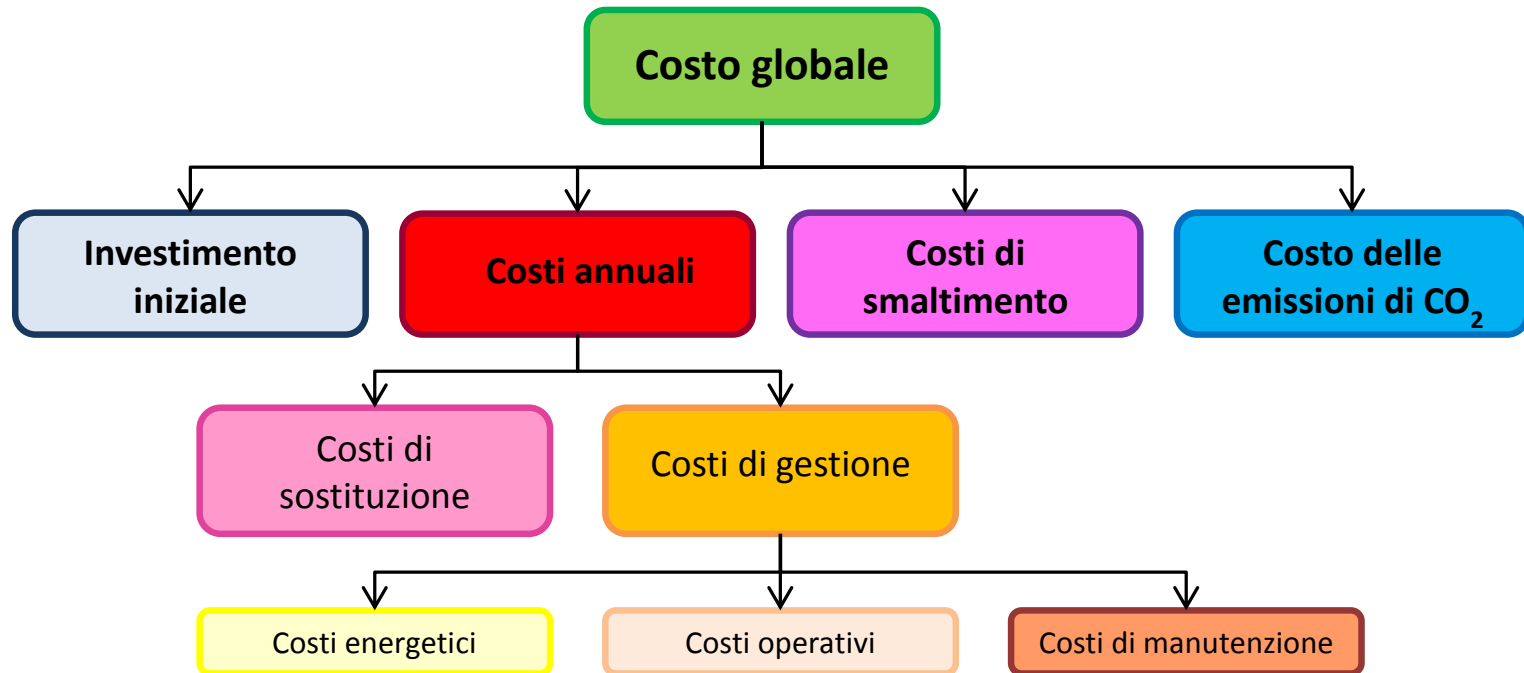
# IL CALCOLO DEL FABBISOGNO ENERGETICO SECONDO UNI/TS 11300

---

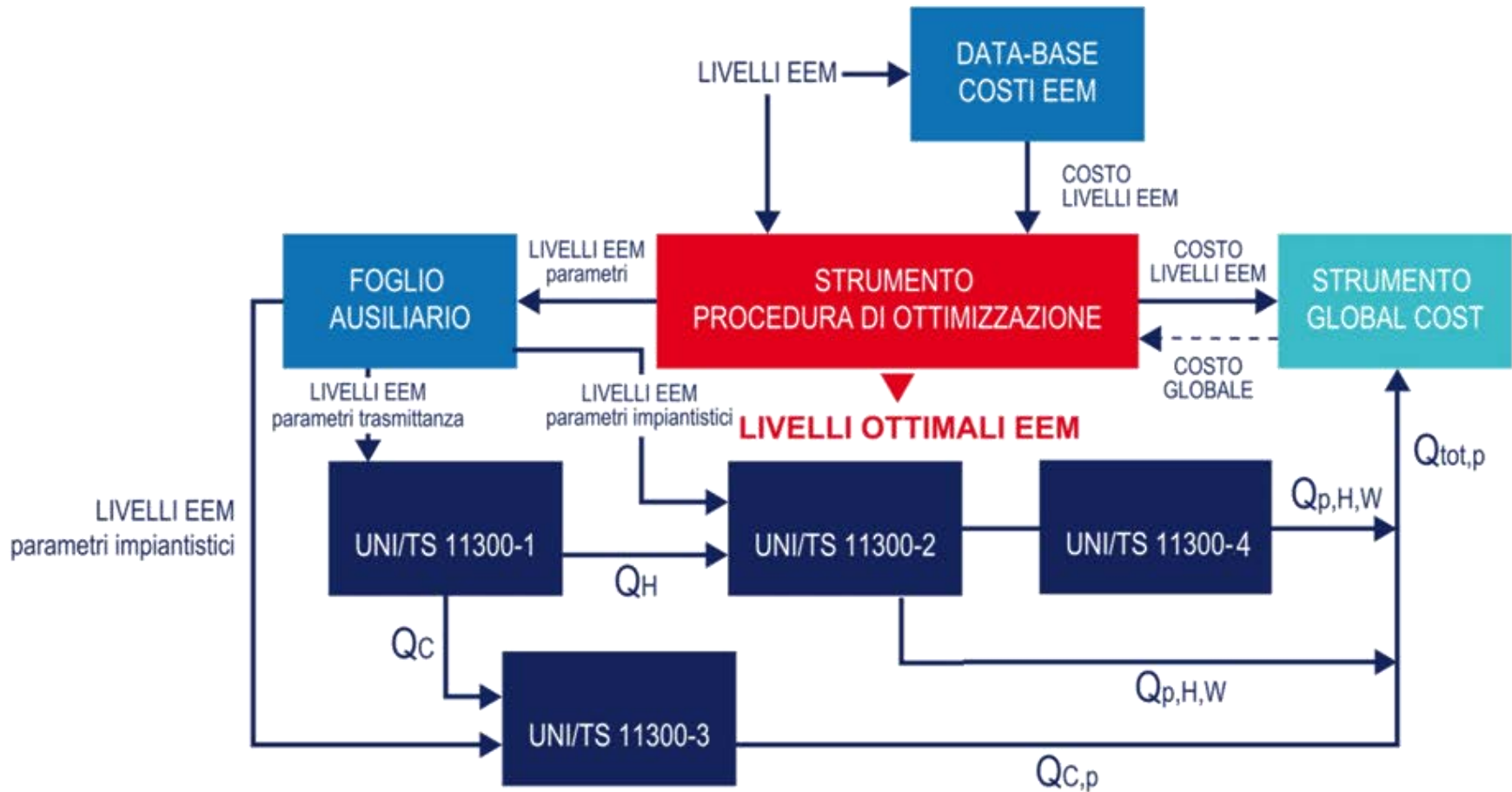
- ▶ UNI/TS 11300-1:2014 “Prestazioni energetiche degli edifici - Determinazione del fabbisogno di energia termica dell’edificio per la climatizzazione estiva e invernale”
- ▶ UNI/TS 11300-2:2014 “Prestazioni energetiche degli edifici - Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l’illuminazione in edifici non residenziali”
- ▶ UNI/TS 11300-3:2010 “Prestazioni energetiche degli edifici - Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva”
- ▶ UNI/TS 11300-4:2012 “Prestazioni energetiche degli edifici - Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria”
- ▶ UNI EN 15193:2008 “Prestazione energetica degli edifici – Requisiti energetici per illuminazione”

# CALCOLO DEL COSTO GLOBALE

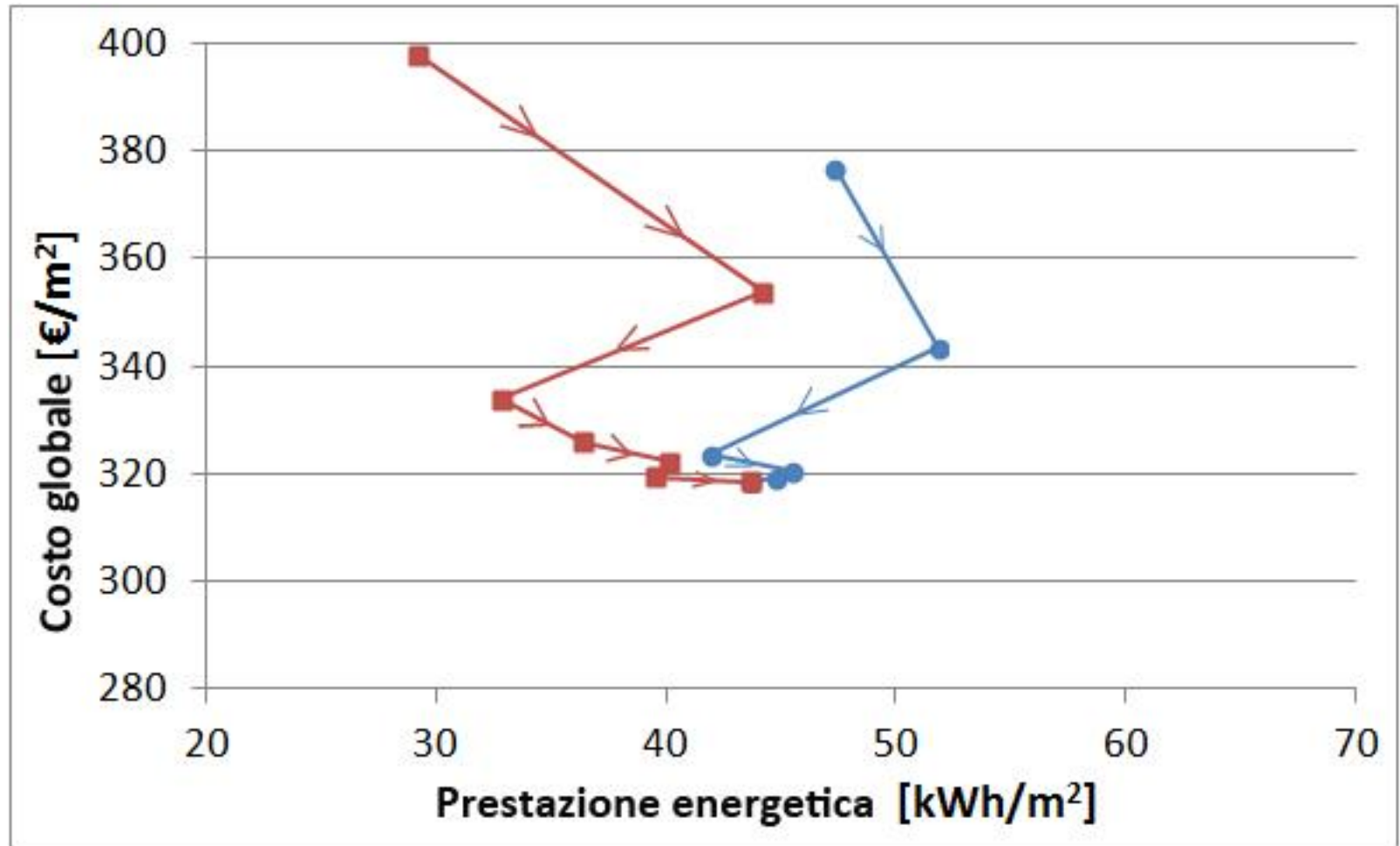
---



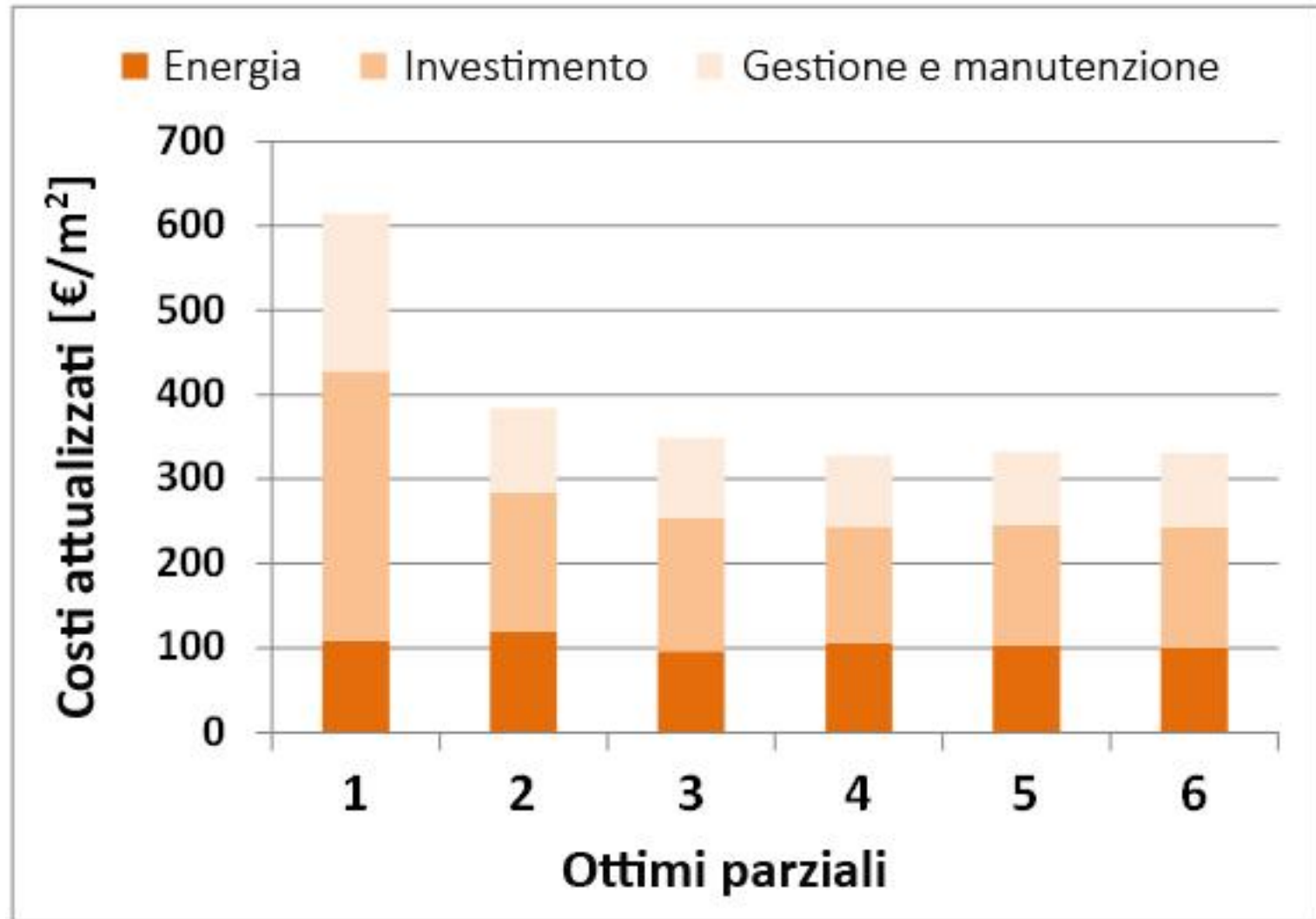
# LA PROCEDURA DI OTTIMIZZAZIONE



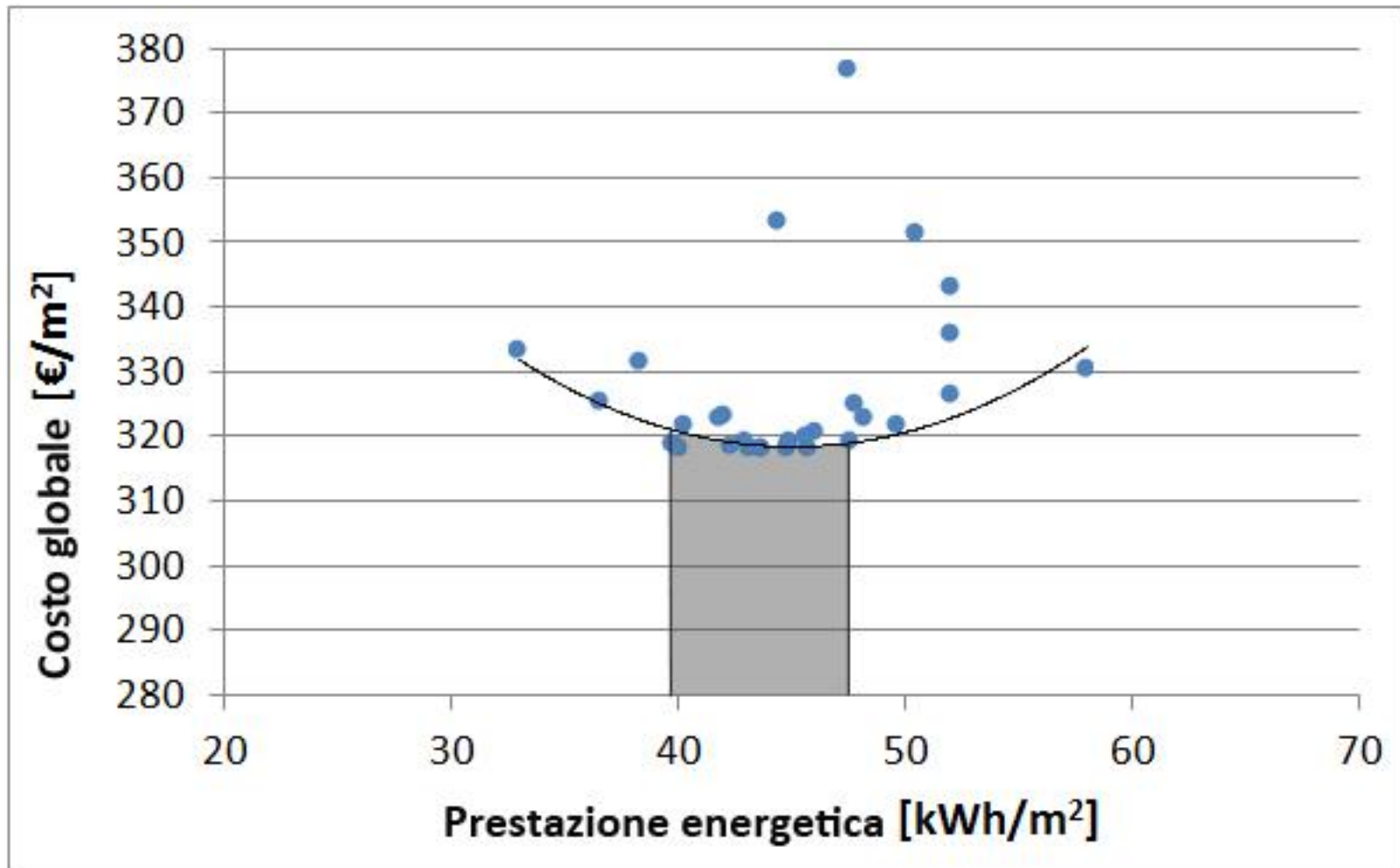
# RISULTATI: il percorso di ottimizzazione



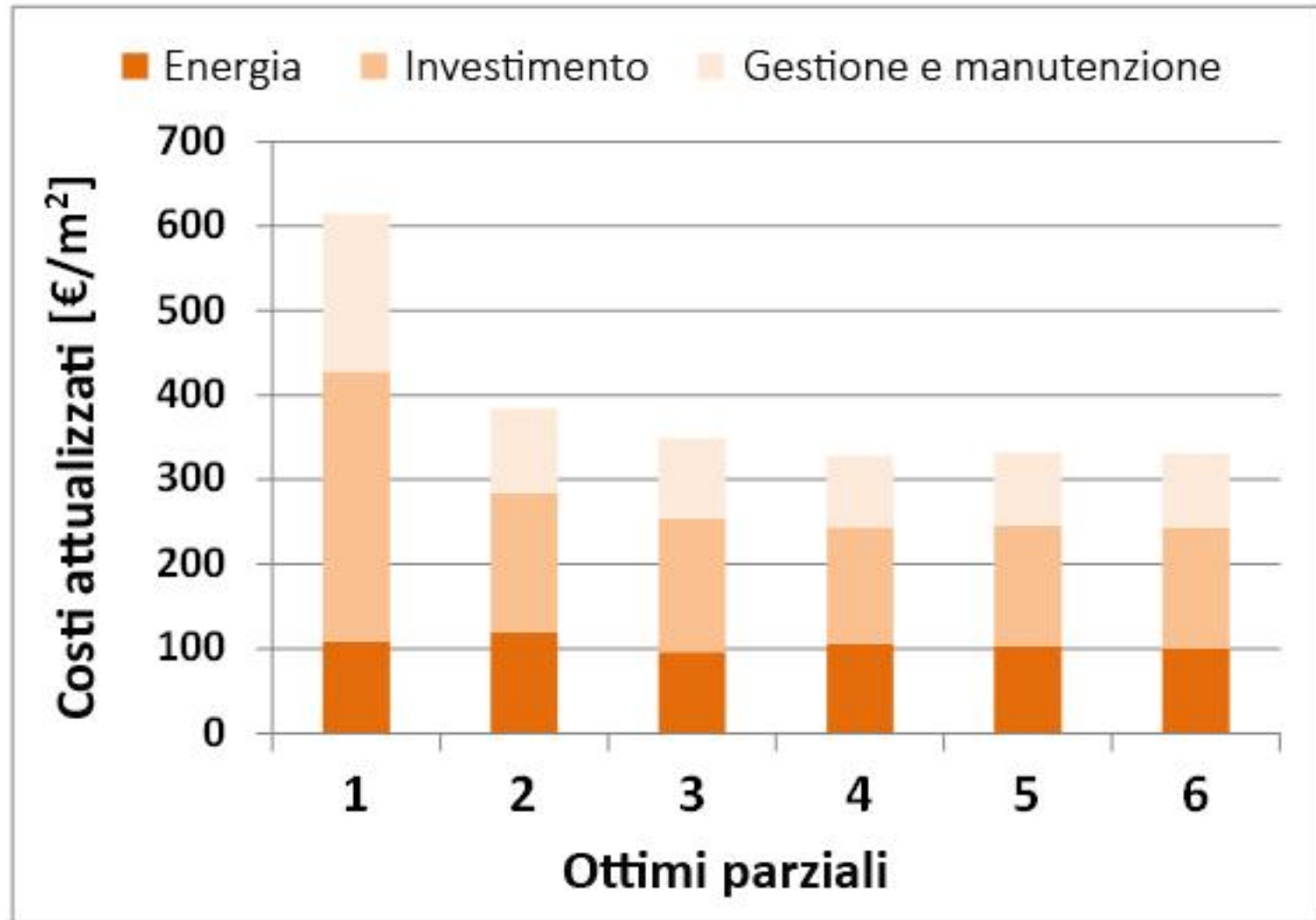
# RISULTATI: gli ottimi parziali



# RISULTATI: l'intervallo ottimale

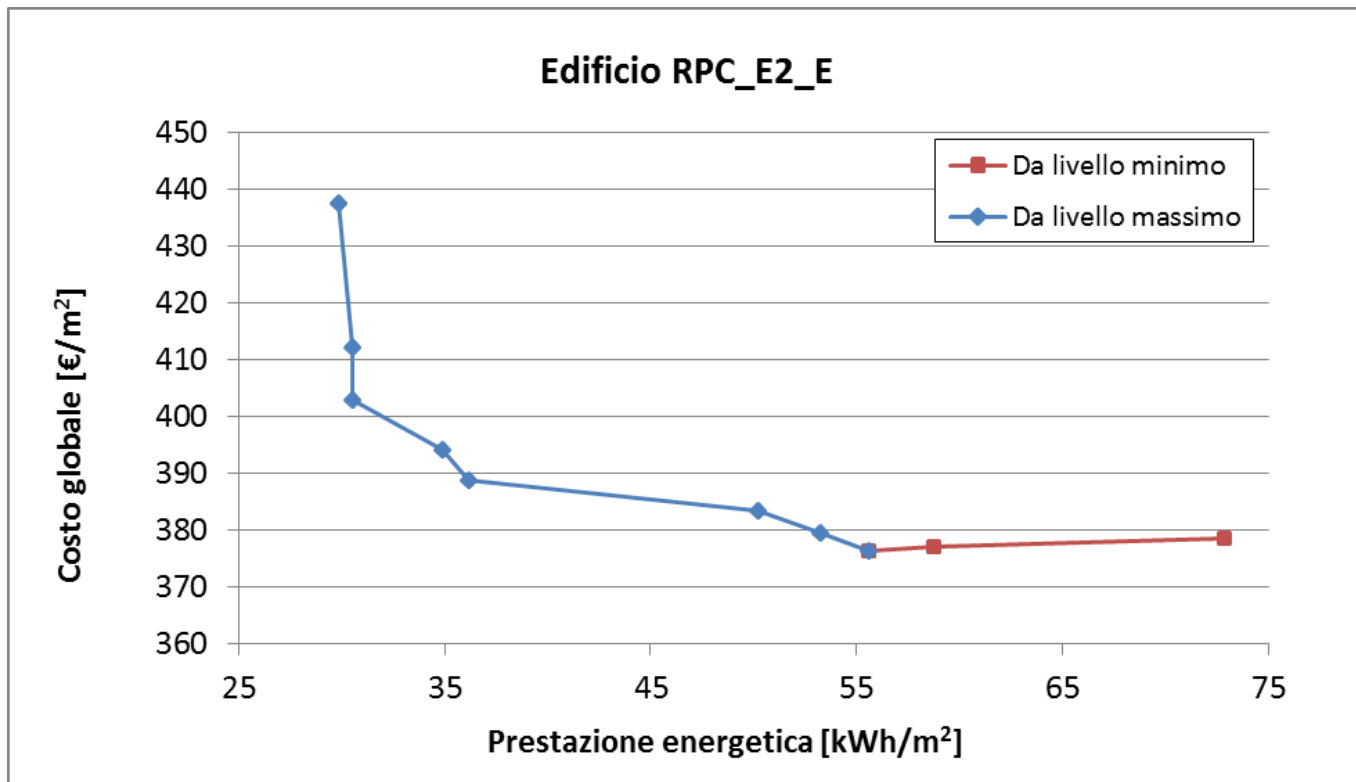


# RISULTATI: gli ottimi parziali



# PICCOLO CONDOMINIO

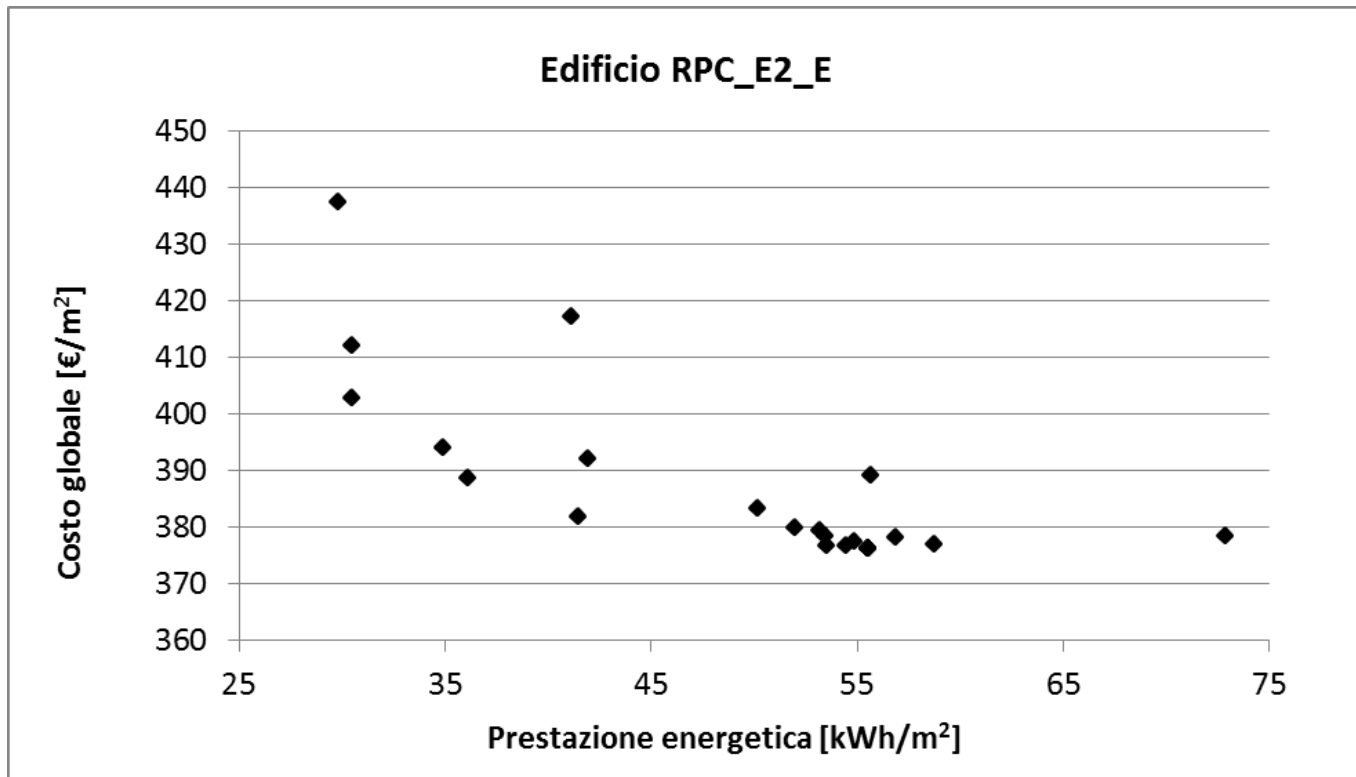
## Edificio esistente 1977-1990



# PICCOLO CONDOMINIO

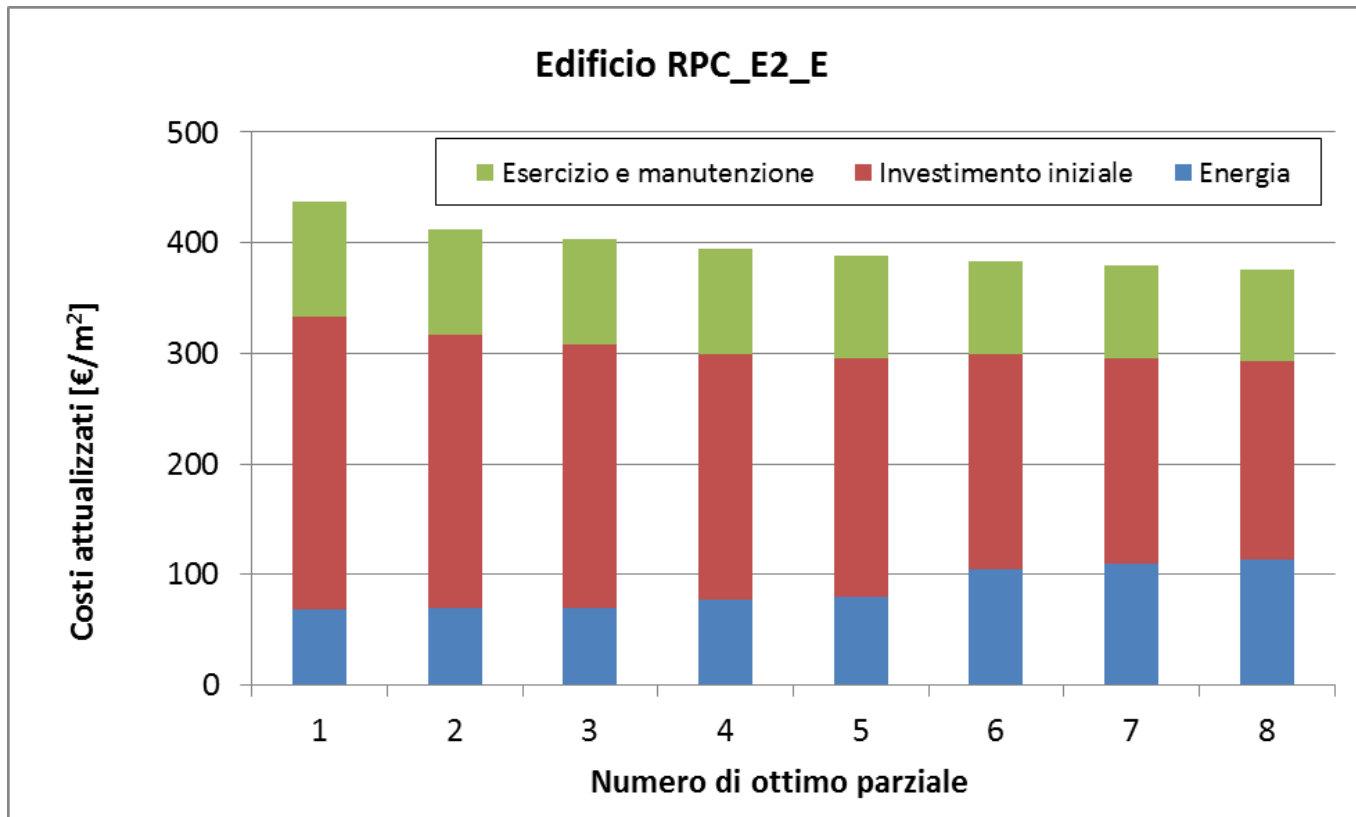
## Edificio esistente 1977-1990

---



# PICCOLO CONDOMINIO

## Edificio esistente 1977-1990



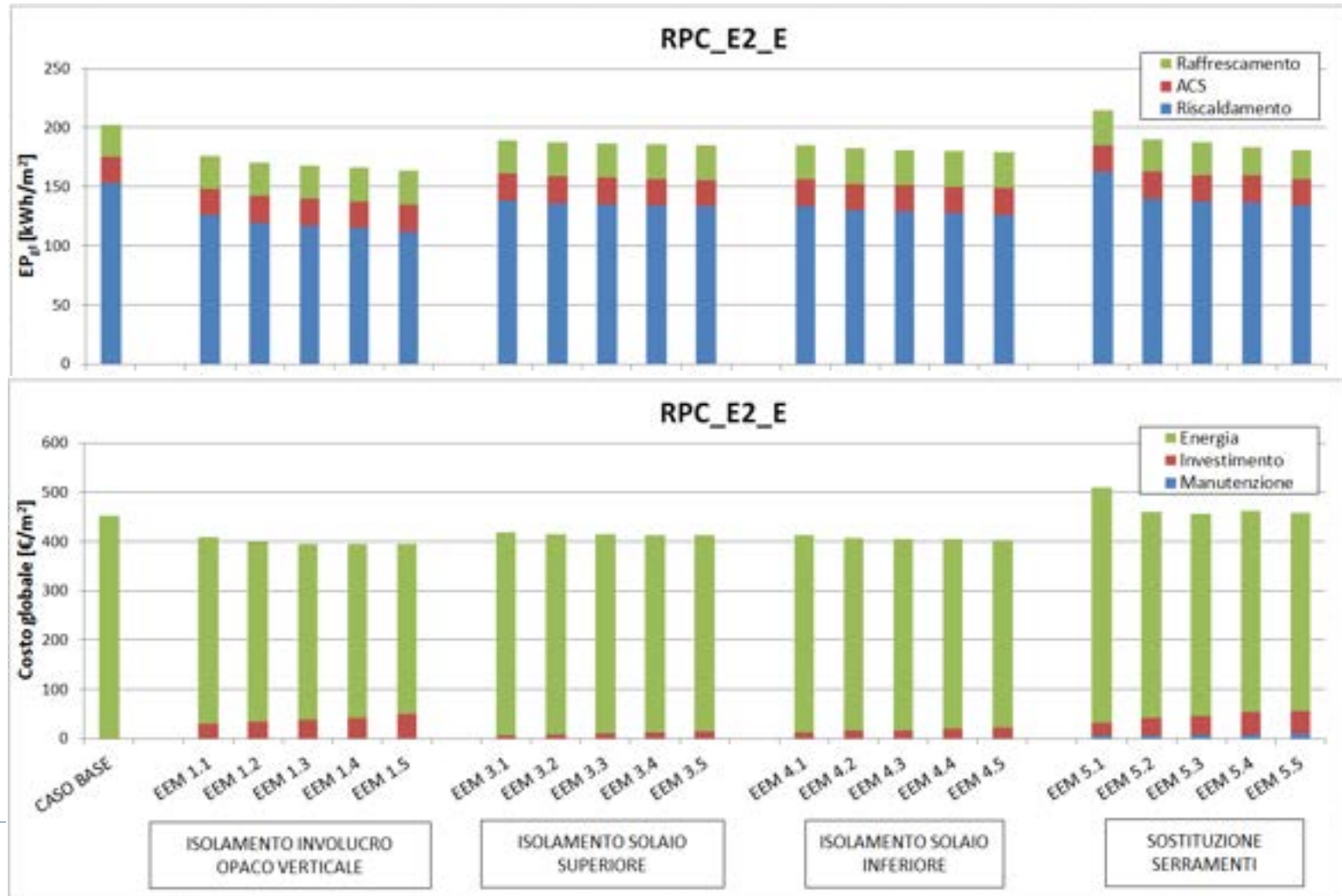
# PICCOLO CONDOMINIO

## Edificio esistente 1977-1990

RPC_E2_E					
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m <sup>2</sup> K)	U <sub>p</sub>	<b>0,34</b>	2
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m <sup>2</sup> K)	U <sub>p</sub>	-	-
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m <sup>2</sup> K)	U <sub>r</sub>	<b>0,4</b>	1
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m <sup>2</sup> K)	U <sub>f</sub>	<b>0,45</b>	1
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m <sup>2</sup> K)	U <sub>w</sub>	<b>1,6</b>	4
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Trasmmissione solare della schermatura	t <sub>s</sub>	<b>0,4</b>	fissa
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η <sub>gn</sub>	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η <sub>gn,Pn,W</sub>	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione in condizioni di progetto	η <sub>gn</sub>	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	<b>4,2</b>	3
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	<b>3,1</b>	
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m <sup>2</sup> )	m <sup>2</sup>	<b>14</b>	1
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	<b>2,5</b>	1
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η <sub>r</sub>	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Rendimento di regolazione	η <sub>ctr</sub>	<b>0,995</b>	3
16	Densità della potenza di illuminazione installata (LPD)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m <sup>2</sup> )	PN	-	-
17	Sistemi di regolazione dell'illuminazione (LCS)	Fattore di dipendenza dall'occupazione (e fattore di illuminamento costante)	F <sub>o</sub> (F <sub>c</sub> )	-	-

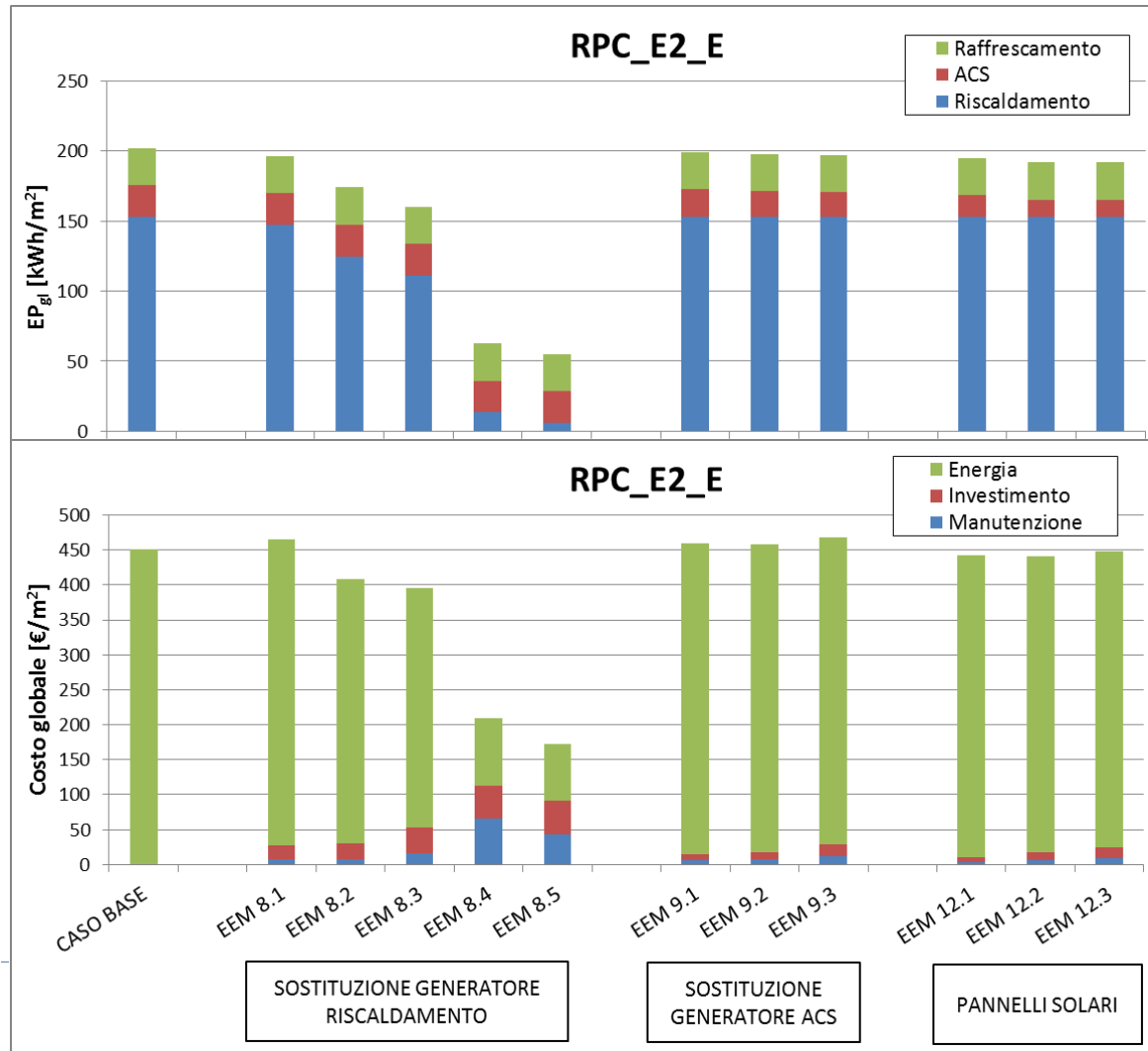
# ANALISI DI SENSIBILITA'

Valutazione dell'efficacia degli interventi di riqualificazione energetica in caso di ristrutturazione di singoli componenti dell'immobile.



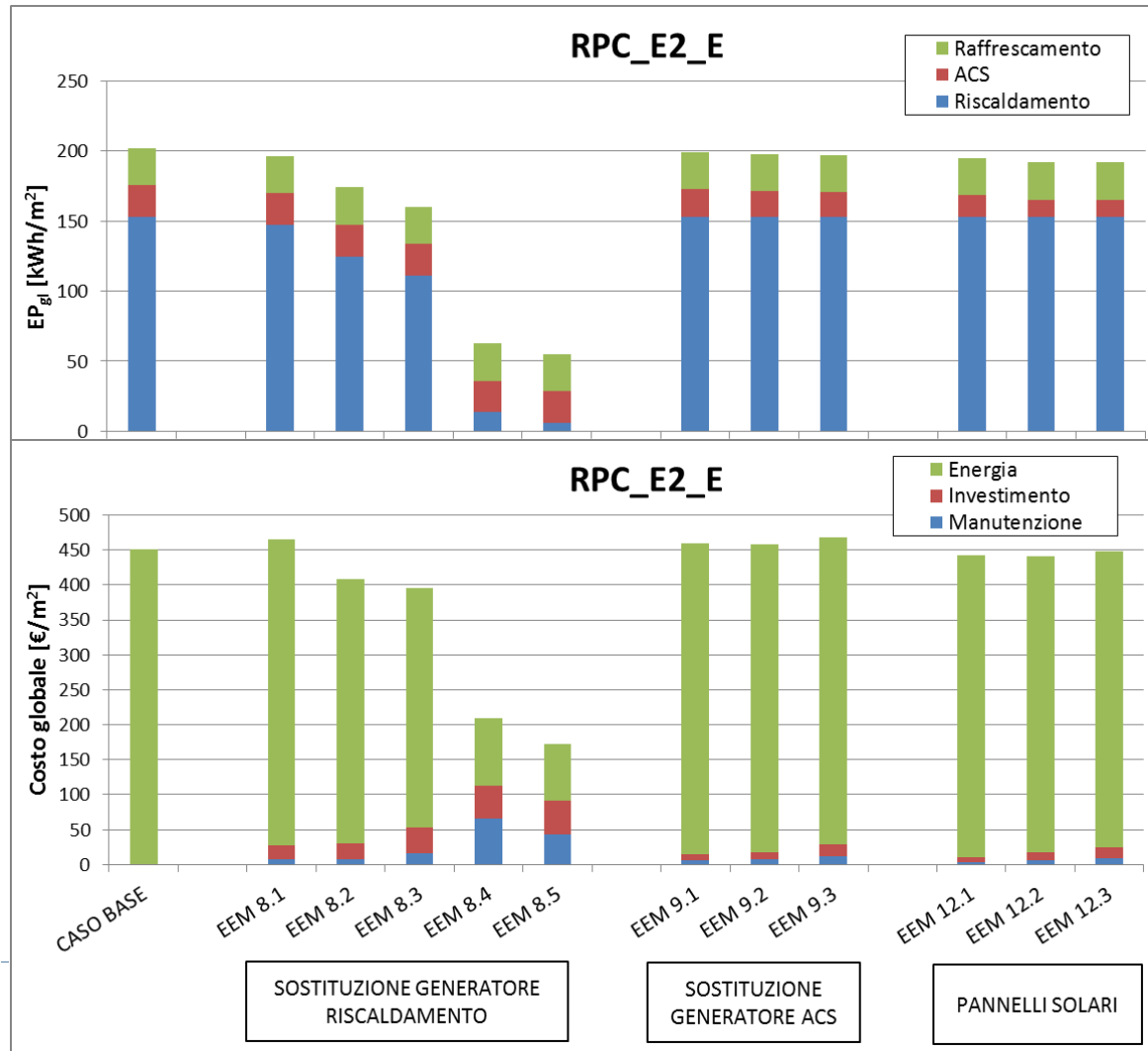
# ANALISI DI SENSIBILITA'

Valutazione dell'efficacia degli interventi di riqualificazione energetica in caso di ristrutturazione di singoli componenti dell'immobile.

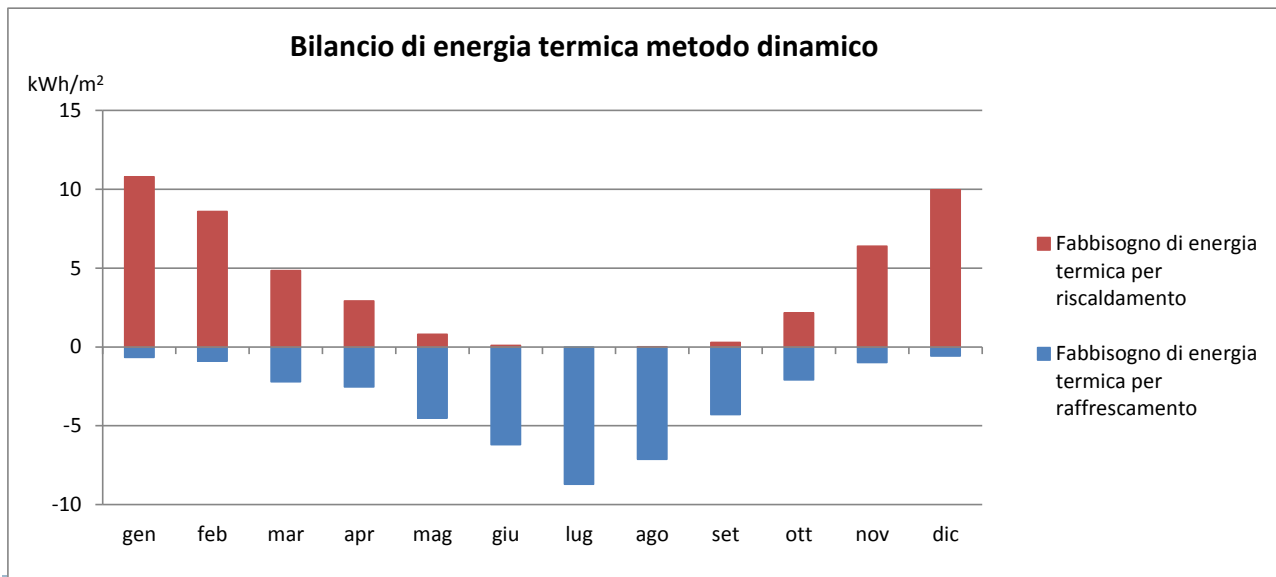
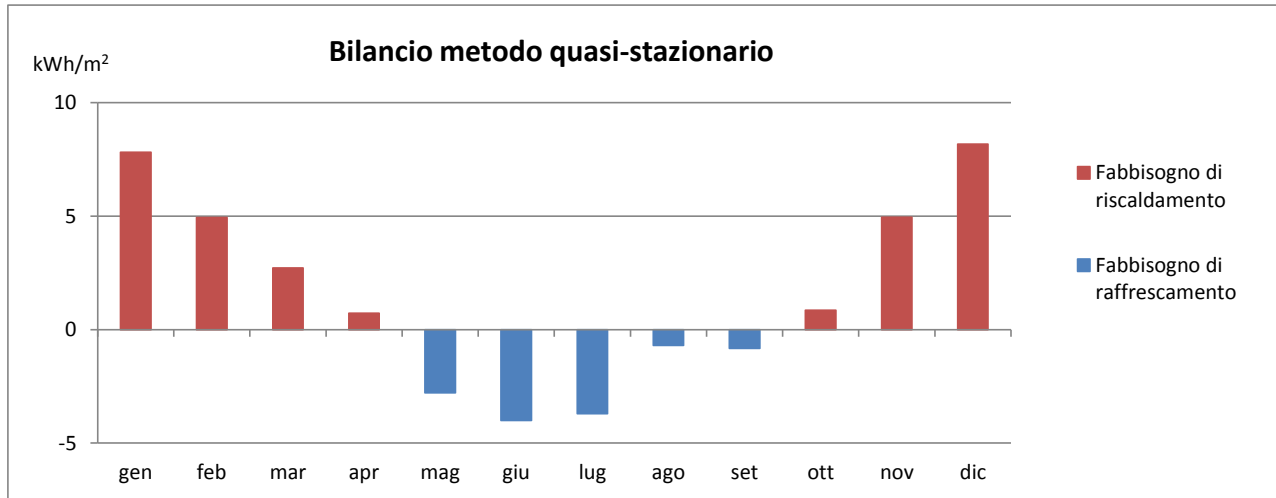


# ANALISI DI SENSIBILITA'

Valutazione dell'efficacia degli interventi di riqualificazione energetica in caso di ristrutturazione di singoli componenti dell'immobile.



# SIMULAZIONE DINAMICA



---

**Grazie per l'attenzione**

**[vincenzo.corrado@polito.it](mailto:vincenzo.corrado@polito.it)**

