



# 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

SCHEDA 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

Gradi giorno: 2404

Zona climatica: E

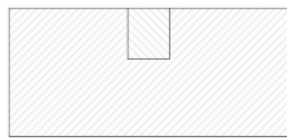
Destinazione d'uso: Residenziale

Tipologia: Piccolo condominio

- Nuovo  
 Esistente  
 1946-1976  
 1977-1990



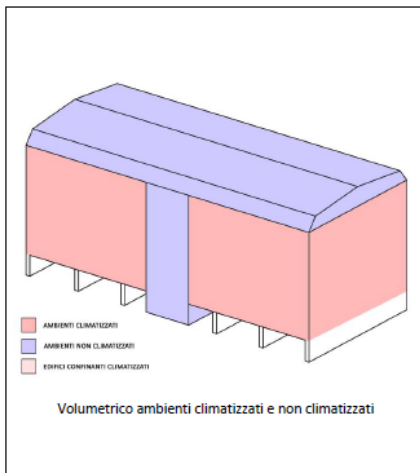
Immagine dell'edificio



Impronta a terra dell'edificio e orientamento principale

### DATI TIPOLOGICI

$V_i$ [m <sup>3</sup> ]	4136
$V_n$ [m <sup>3</sup> ]	2937
$A_{e1}$ [m <sup>2</sup> ]	1209
$A_f$ [m <sup>2</sup> ]	1088
$A_{env}$ [m <sup>2</sup> ]	1994
$A_w$ [m <sup>2</sup> ]	121
$A_{env}/V_i$ [m <sup>-1</sup> ]	0,48
N. piani climatizzati [-]	3
Altezza netta interpiano [m]	2,7
N. unità immobiliari [-]	12
$A_{e,unità immobiliare}$ [m <sup>2</sup> ]	91



SCHEDA 2

### DATI COSTRUTTIVI

#### 1) CHIUSURA VERTICALE OPACA

ID	Descrizione	Ambiente confinante	$U_c$ [W/m <sup>2</sup> K]	$\kappa_i$ [kJ/m <sup>2</sup> K]	$\alpha_{sol,c}$ [-]	$\epsilon$ [-]
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			$\tau_{sol}$ [-]	
		Serramento in vetrocamera con intercapedine d'aria e telaio in metallo senza taglio termico, senza schermature solari e chiusure oscuranti			-	
		<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] -	<b>Schermatura mobile</b> <input type="checkbox"/> Interna <input type="checkbox"/> Esterna	<input type="checkbox"/> Veneziane bianche <input type="checkbox"/> Tende bianche <input type="checkbox"/> Tessuti colorati <input type="checkbox"/> Tessuti rivestiti in alluminio <input type="checkbox"/> Altro_____	$\alpha_{sol}$ [-] - $g_{gl,sh}$ / $g_g$ [-] - $g_{gl,sh}$ [-] 0,75
		<b>Telaio</b> <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_____	$U_f$ [W/m <sup>2</sup> K] -	<b>Chiusura oscurante</b> <input type="checkbox"/> Alta permeabilità all'aria <input type="checkbox"/> Media permeabilità all'aria <input type="checkbox"/> Bassa permeabilità all'aria	<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_____	$\Delta R$ [m <sup>2</sup> K/W] 0
		<b>Serramento</b>	$U_w$ [W/m <sup>2</sup> K] 3,7	Contributo della chiusura oscurante	$U_{w,shut}$ [W/m <sup>2</sup> K] 3,7 $U_{w,corr}$ [W/m <sup>2</sup> K] 3,7	

# PICCOLO CONDOMINIO

## Edificio esistente 1946-1976

**SCHEDA 7**

**DATI IMPIANTISTICI**

**1) IMPIANTO DI RISCALDAMENTO**

**Tipo di impianto di riscaldamento**

Centralizzato  
 Autonomo  
 Teleriscaldamento

Acqua calda  
 Acqua surriscaldata  
 Termoventilazione  
 Climatizzazione  
 A fluido diatermico

**Sottosistema di emissione**      $\eta_{s,e}$      0,925     **Ausiliari elettrici del sottosistema di emissione**

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

**Sottosistema di regolazione**      $\eta_{r,reg}$      -

**Tipologia di regolazione**     **Caratteristiche della regolazione**

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

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

**SCHEDA 8**

**Sottosistema di distribuzione**      $\eta_{s,d}$      0,889     **Ausiliari elettrici del sottosistema di distribuzione**

**Tipologia di impianto**

Impianto autonomo  
 Impianto centralizzato a distribuzione orizzontale  
 Impianto centralizzato con montanti di distribuzione

**Isolamento distribuzione**

Legge 10/91. Periodo di realizzazione dopo il 1993  
 Discreto. Periodo di realizzazione 1993-1977  
 Medio. Periodo di realizzazione 1976-1961  
 Insufficiente. Periodo di realizzazione prima del 1961

**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     **Ausiliari elettrici del sottosistema di generazione**

**Tipologia di generatore**

Generatore standard  
 Generatore a bassa temperatura  
 Generatore a condensazione  
 Caldaia a biomassa (legna, pellet, ...)  
 Teleriscaldamento  
 Pompa di calore elettrica  
 Pompa di calore ad assorbimento

**Ubicazione del generatore**

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

**Ausiliari elettrici del sottosistema di distribuzione**

<input checked="" type="checkbox"/> Pompa	$W_{FO,H,d}$ [W]	787
	$F_v$ [-]	0,6
	$FC$ [-]	1
<input type="checkbox"/> Ventilatore	$W_{FO,H,d}$ [W]	

**Ausiliari elettrici del sottosistema di generazione**

$W_{acc,H,g}$  [W]     395

**Vettore energetico**

gas  
 gasolio  
 GPL  
 legna  
 elettricità  
 calore

**Anno di installazione**     Antecedente al 1996

$\Phi_{pe}$  [kW]     -  
 $\eta_{p}$  [-]     -

$\eta_{s,d}$  [-]     -

VIII

# PICCOLO CONDOMINIO

## Edificio esistente 1946-1976

SCHEDA 9

### 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

$f_{rh,w,d}$ [-]	
$l_s$ [m]	
$U_s$	
[W/m <sup>2</sup> K]	

#### Sottosistema di accumulo

- Presenza di serbatoio di accumulo  
 Assenza di serbatoio di accumulo

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

#### Ubicazione del serbatoio di accumulo

- In ambiente climatizzato  
 In ambiente esterno o non climatizzato

IX

SCHEDA 10

#### Sottosistema di generazione

$\eta_{w,gn}$  0,75

#### Auxiliari elettrici del sottosistema di generazione

$W_{aux,w,gn}$  [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  
 elettricità  
 calore

#### Ubicazione del generatore

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

Anno di installazione

-

$\eta_{w,gl}$  [-]

-

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

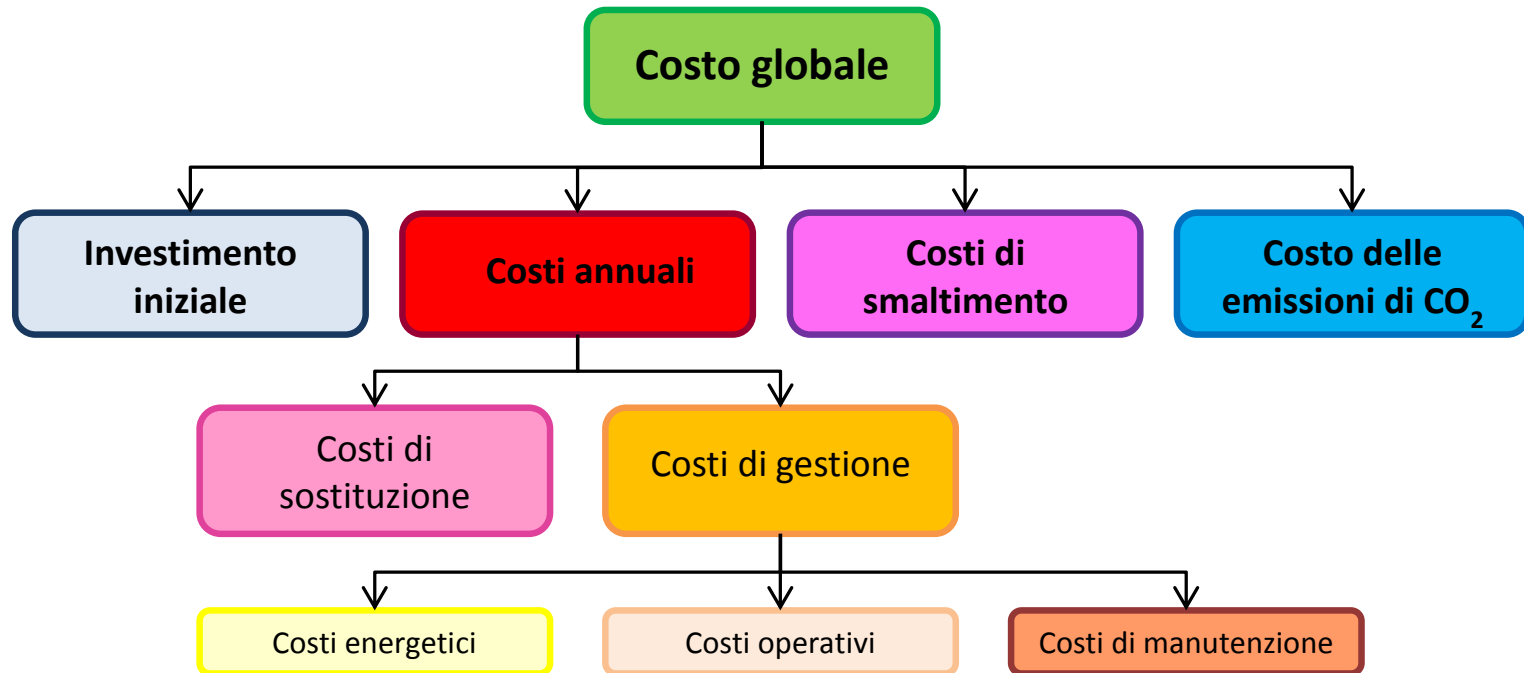
---

- ▶ 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”

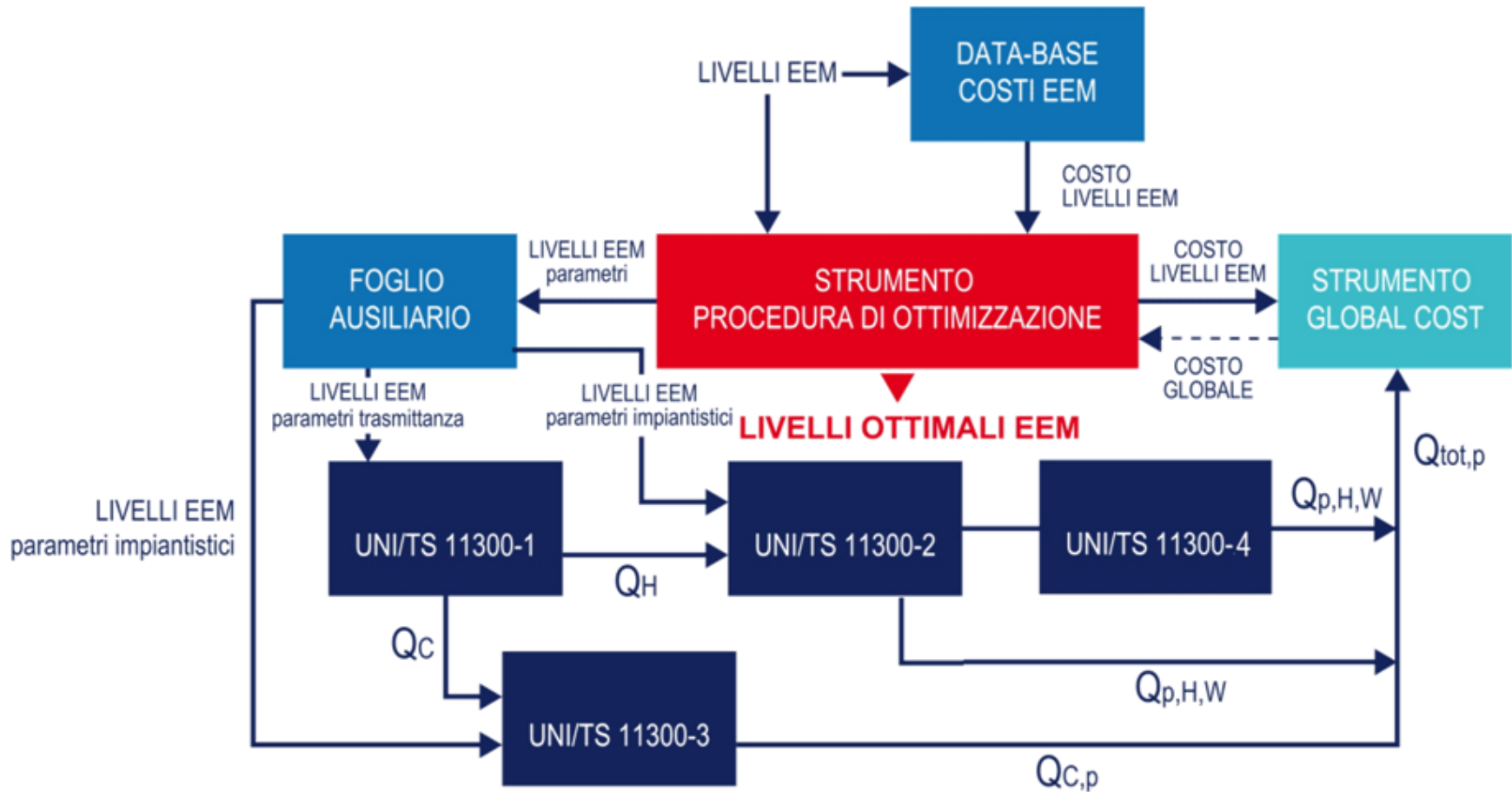


# CALCOLO DEL COSTO GLOBALE

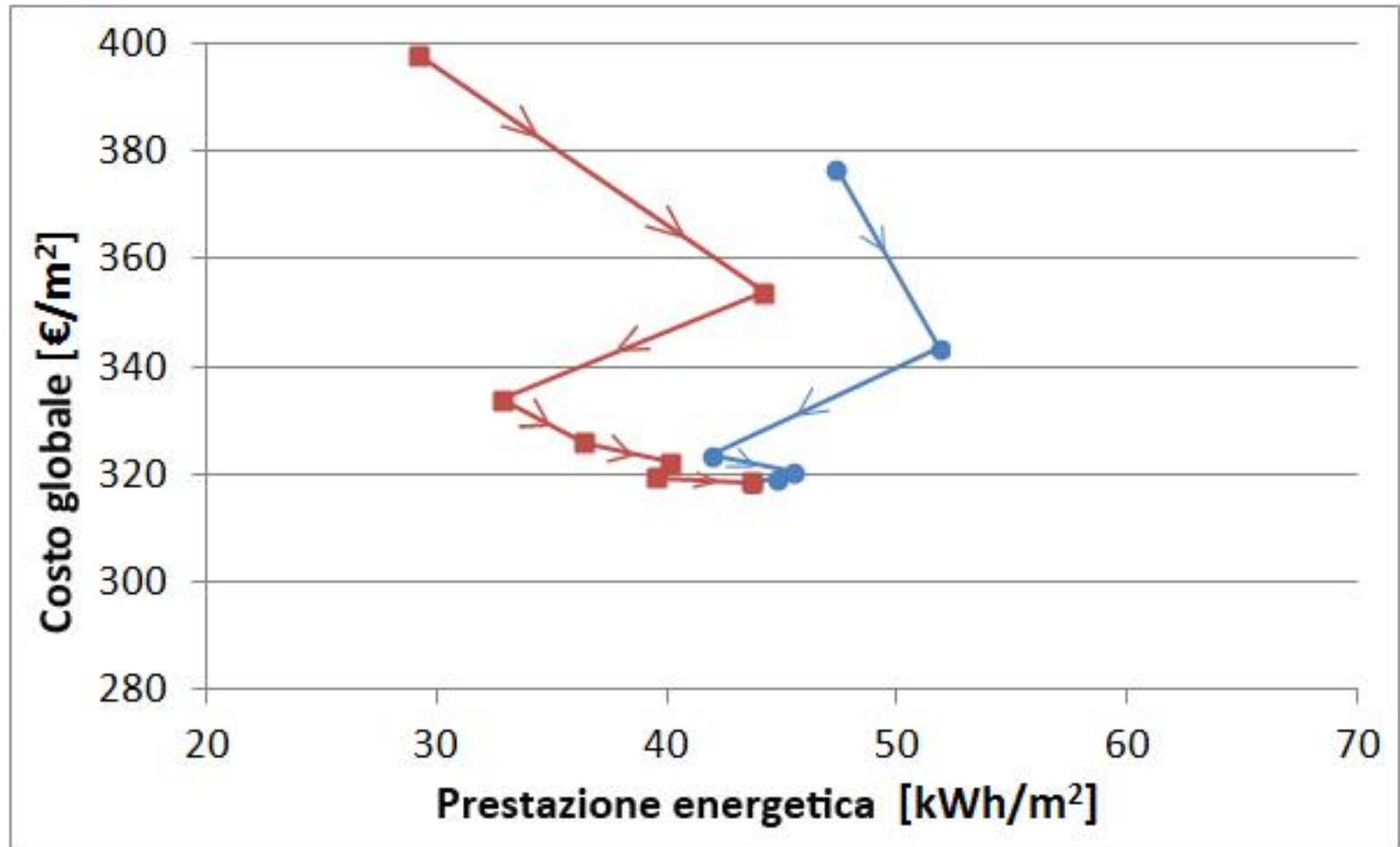
---



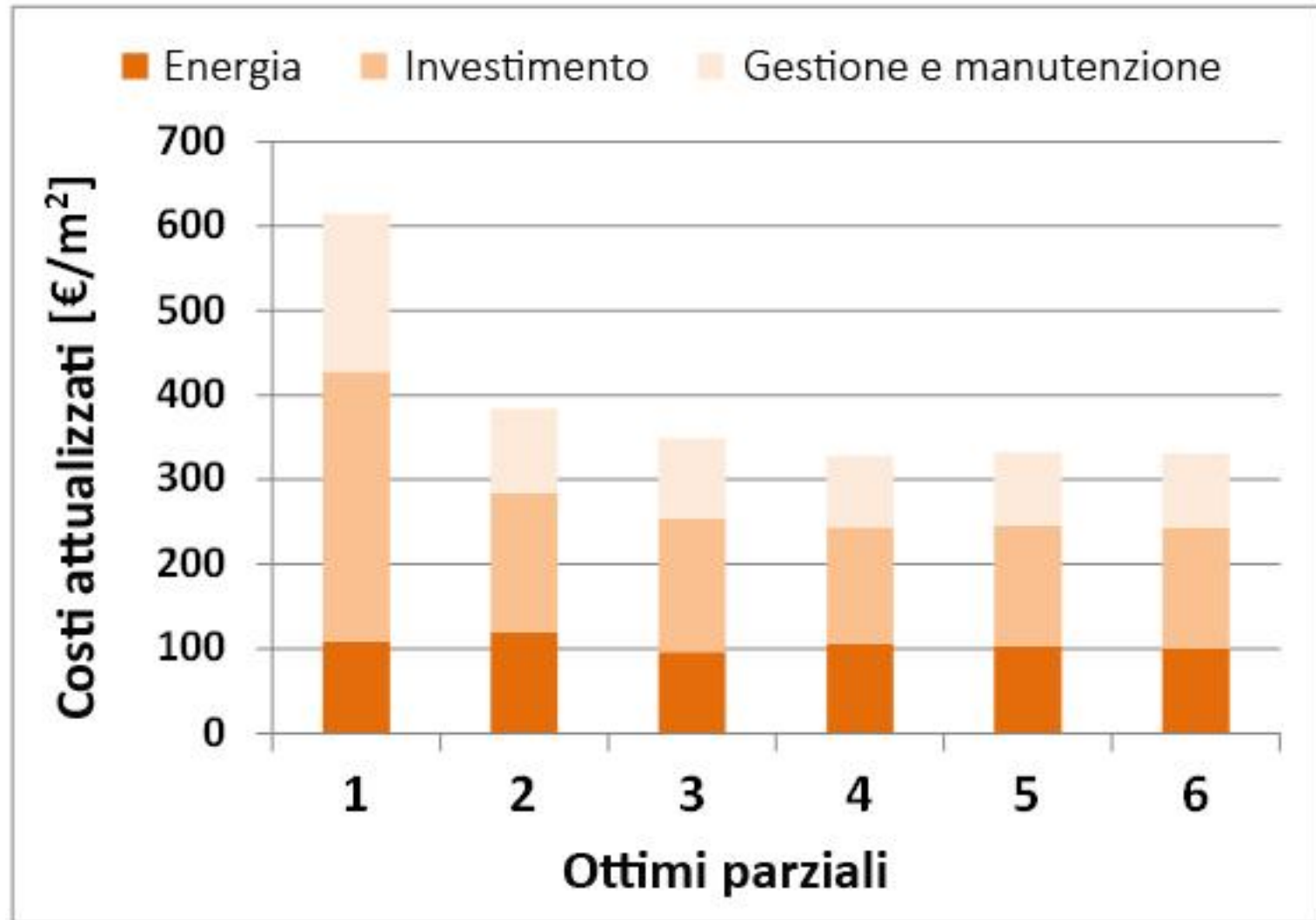
# LA PROCEDURA DI OTTIMIZZAZIONE



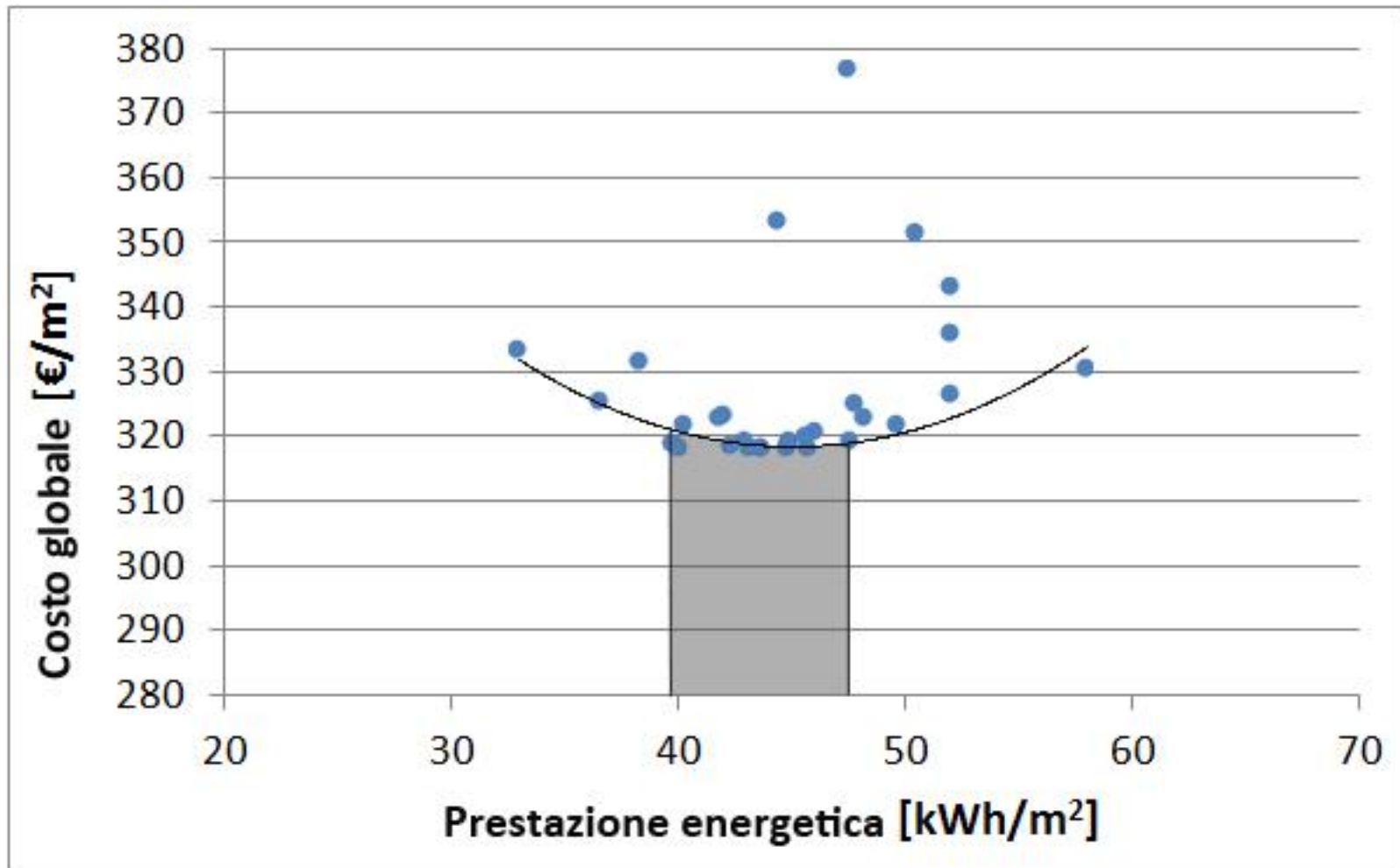
# RISULTATI: il percorso di ottimizzazione



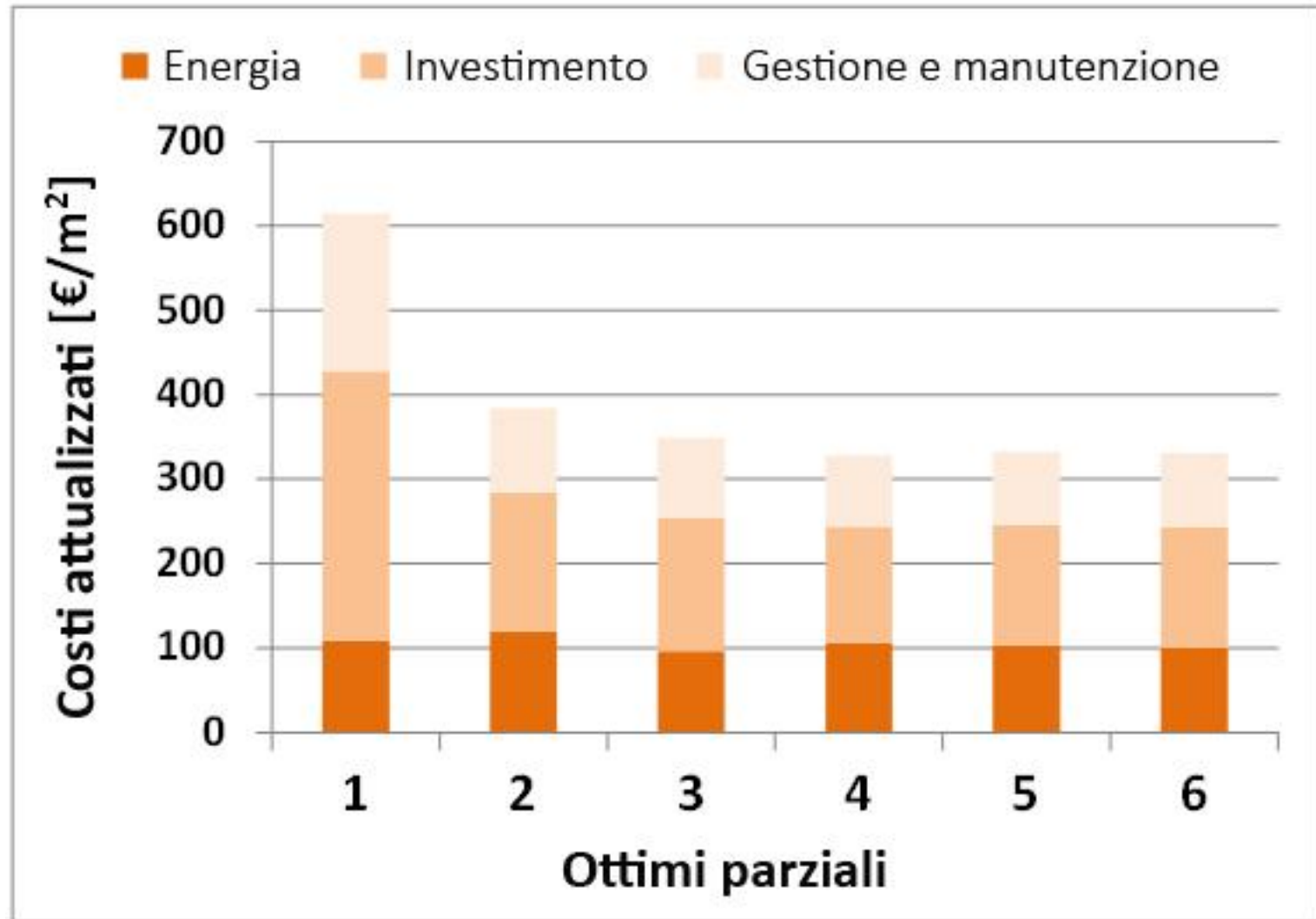
# RISULTATI: gli ottimi parziali



# RISULTATI: l'intervallo ottimale

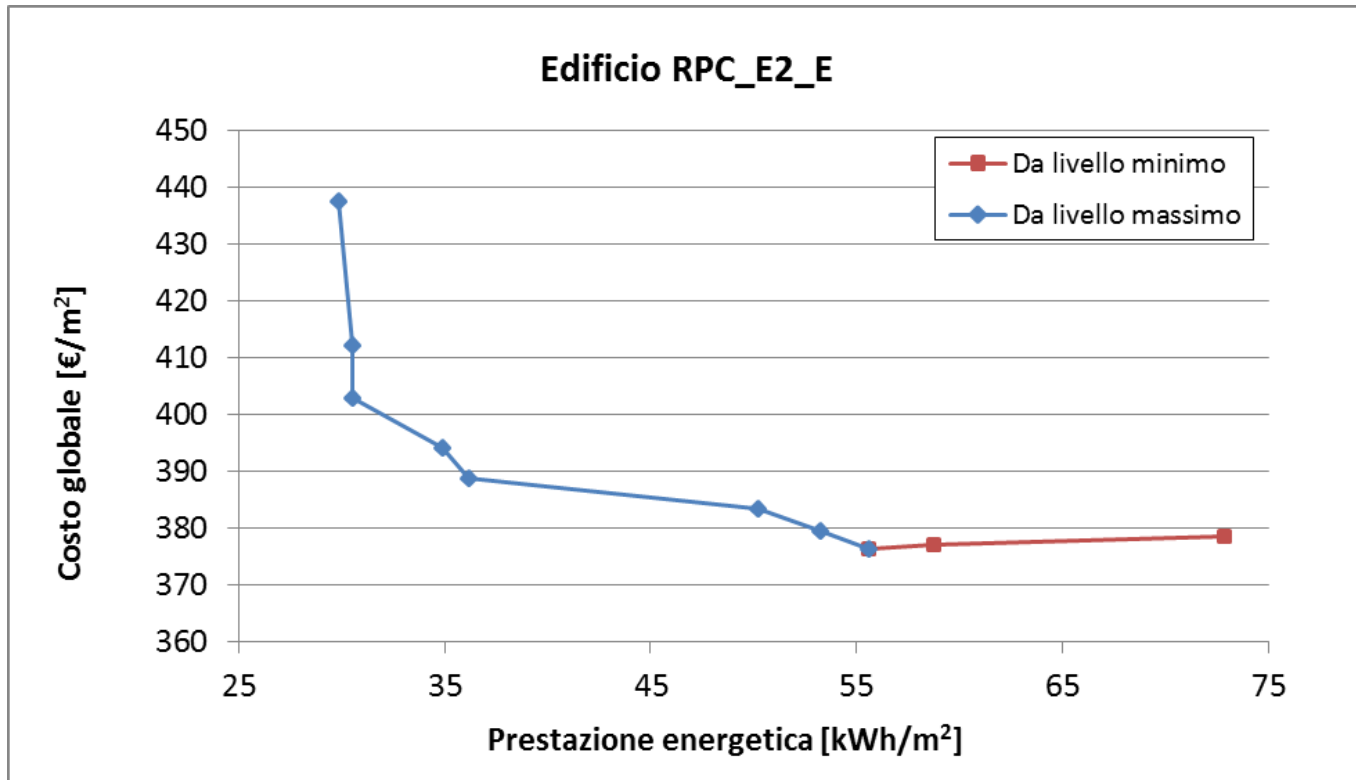


# RISULTATI: gli ottimi parziali



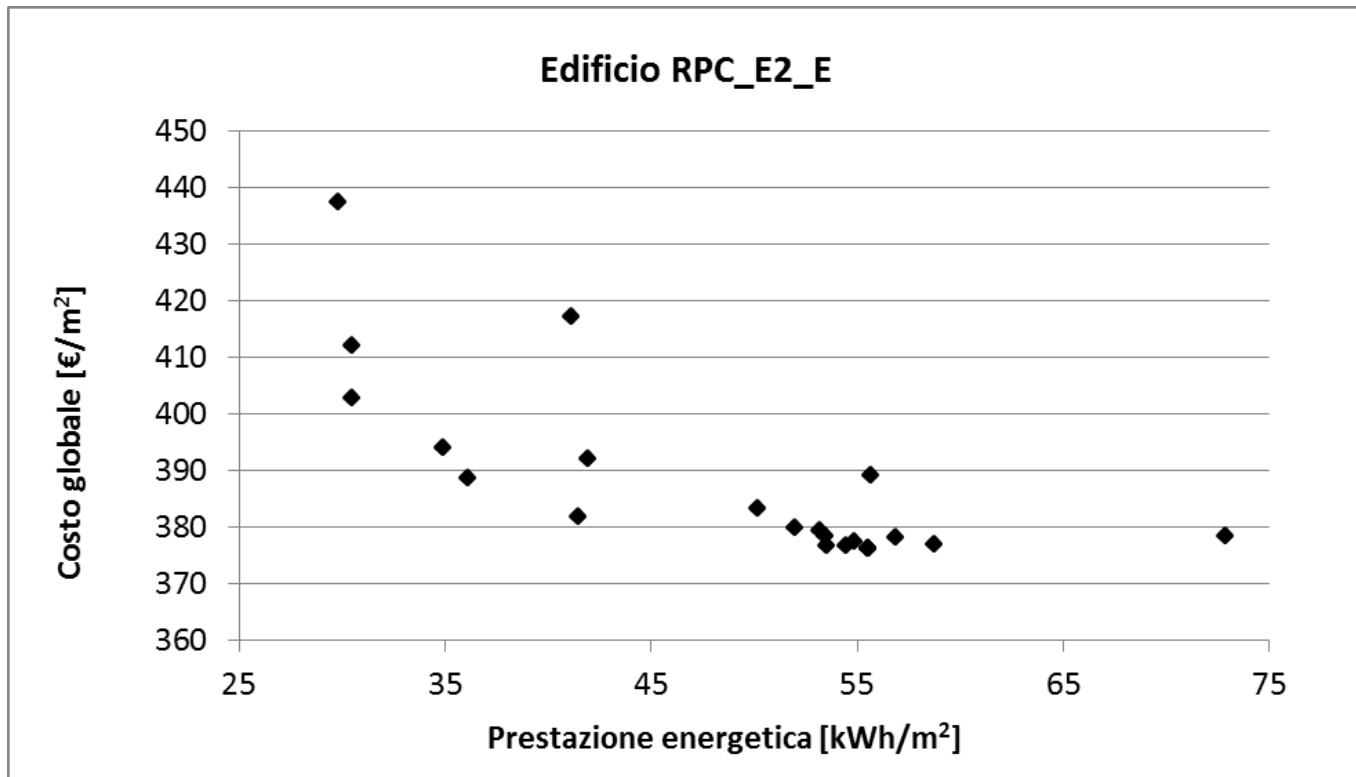
# PICCOLO CONDOMINIO

## Edificio esistente 1977-1990



# PICCOLO CONDOMINIO

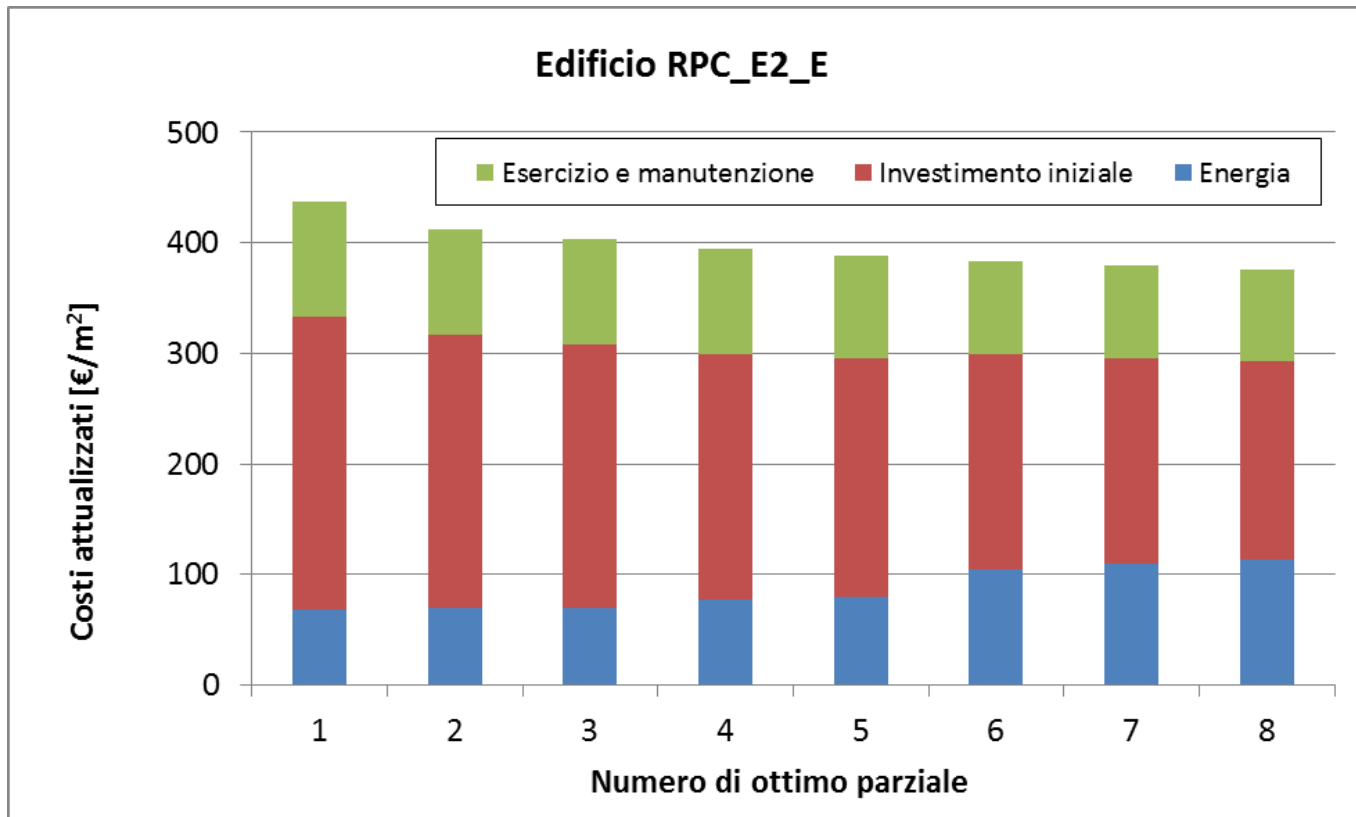
## Edificio esistente 1977-1990





# PICCOLO CONDOMINIO

## Edificio esistente 1977-1990



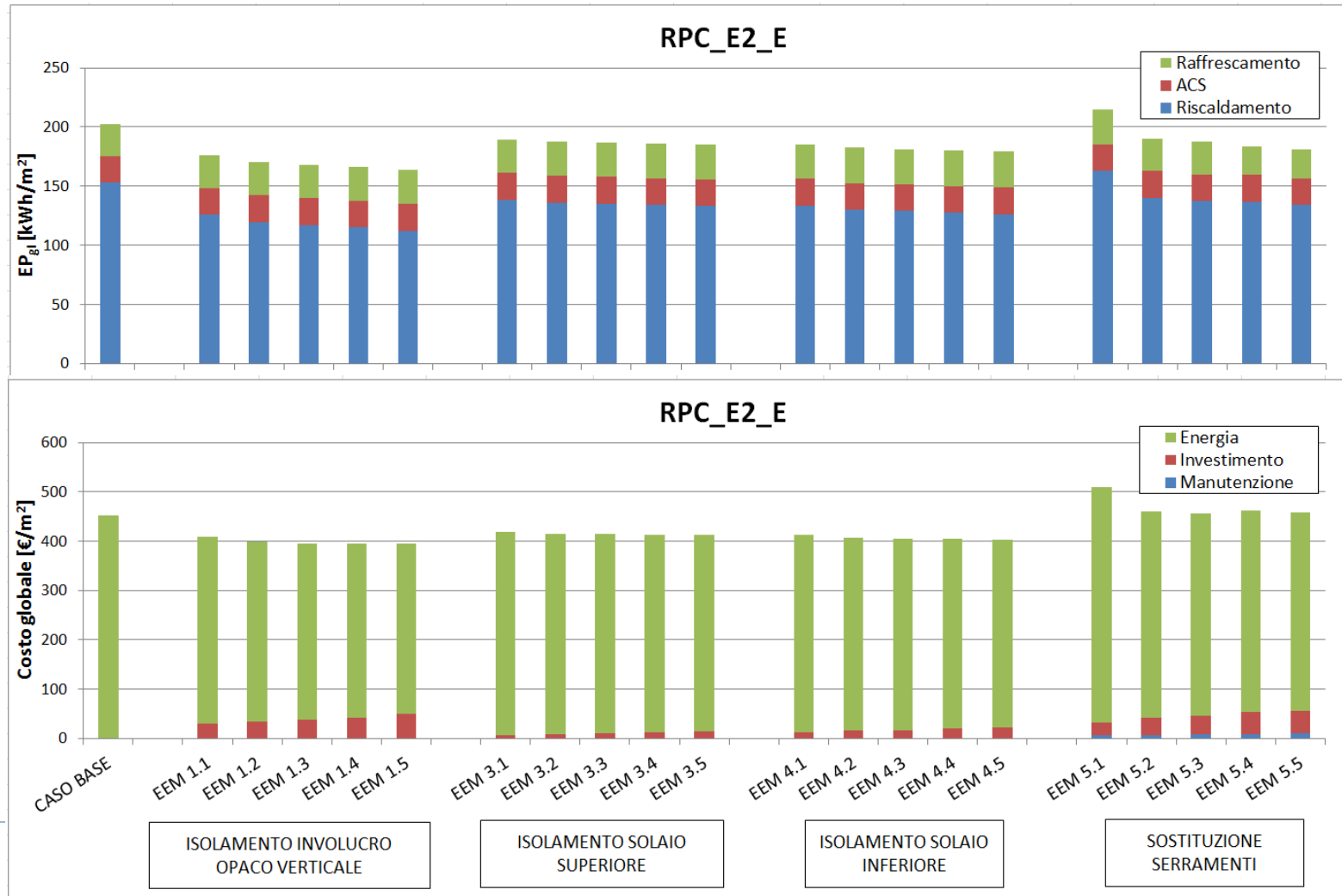
# PICCOLO CONDOMINIO

## 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)	Trasmissione 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> )	-	-

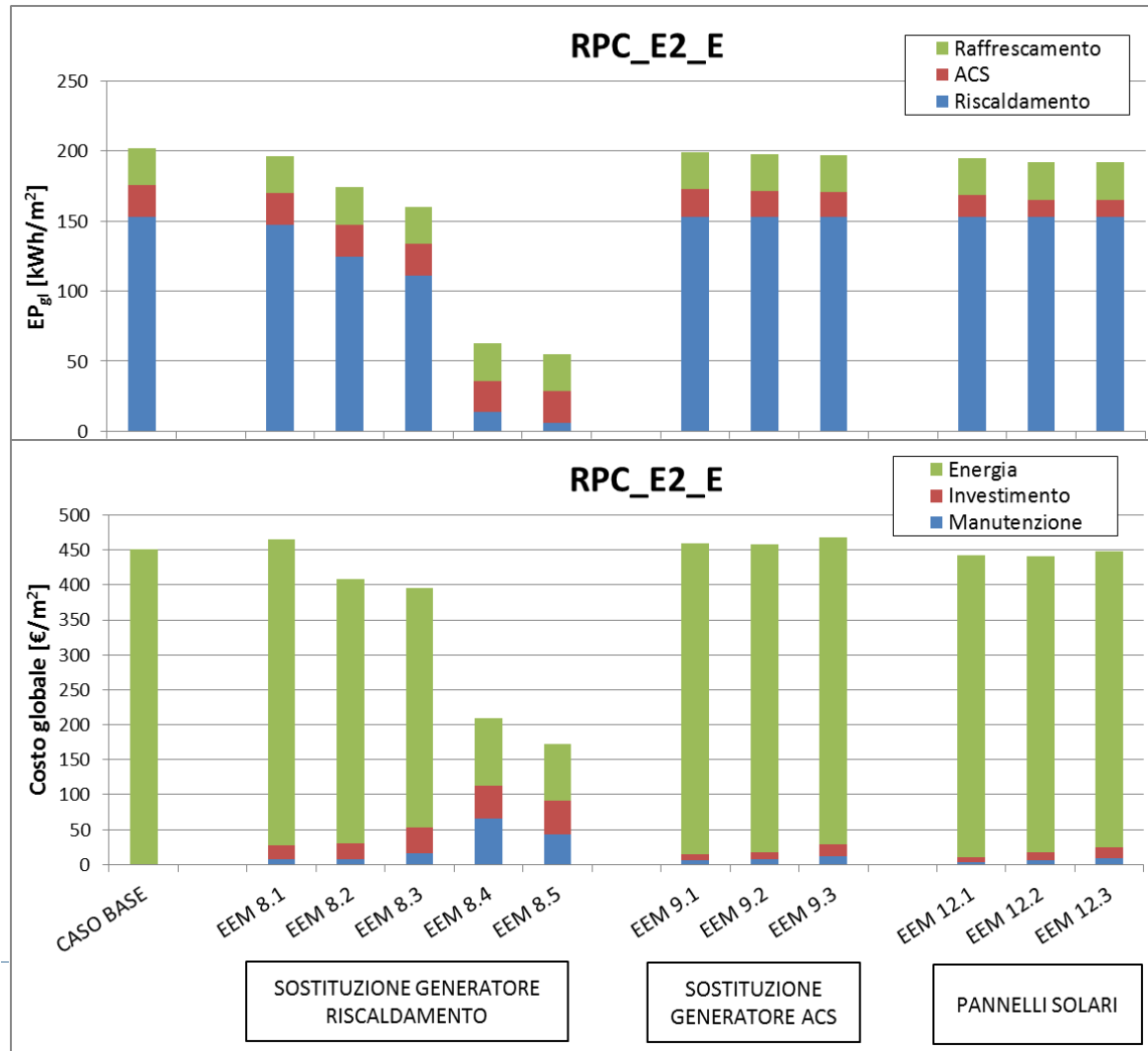
# ANALISI DI SENSIBILITA'

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



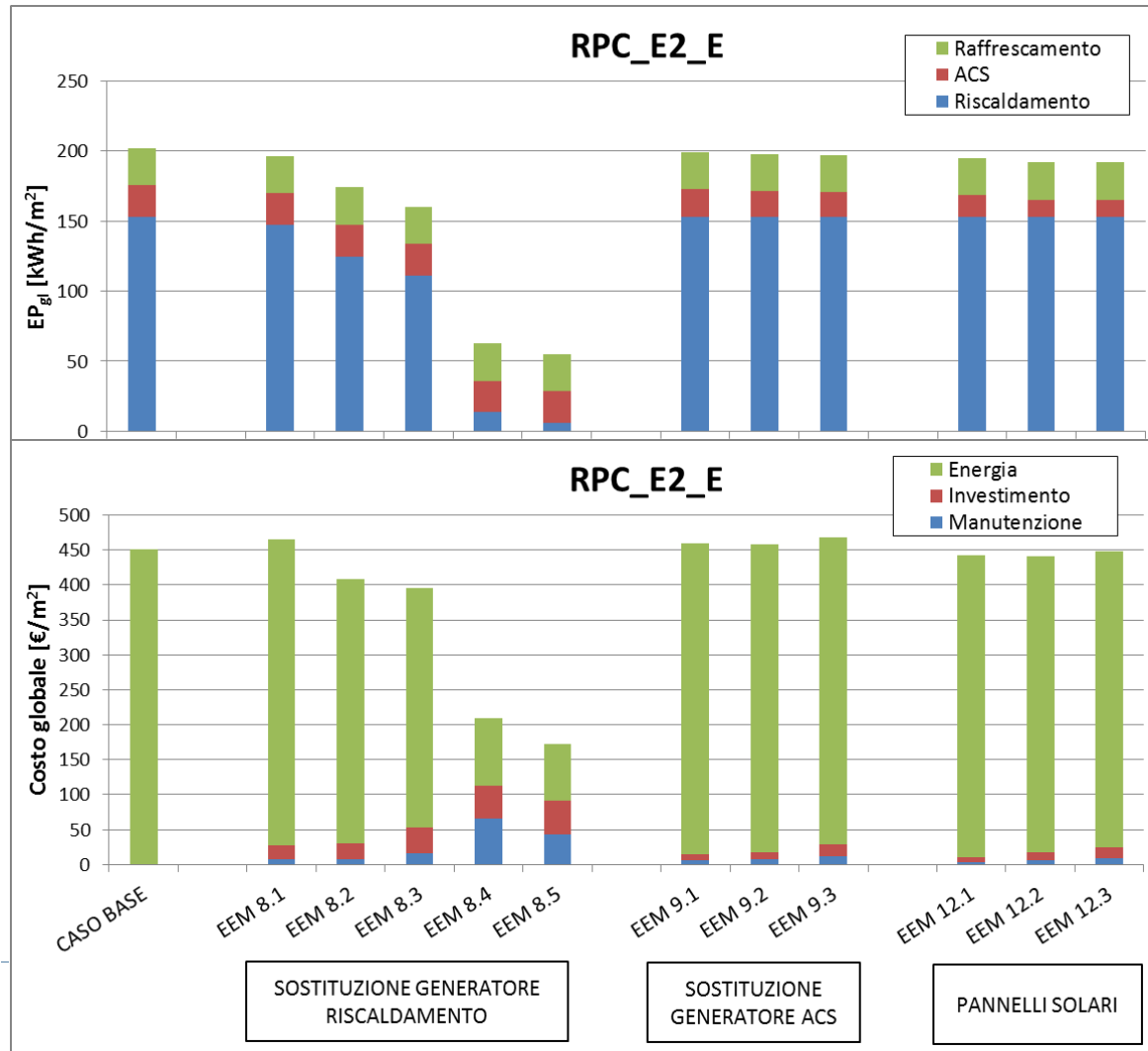
# ANALISI DI SENSIBILITA'

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

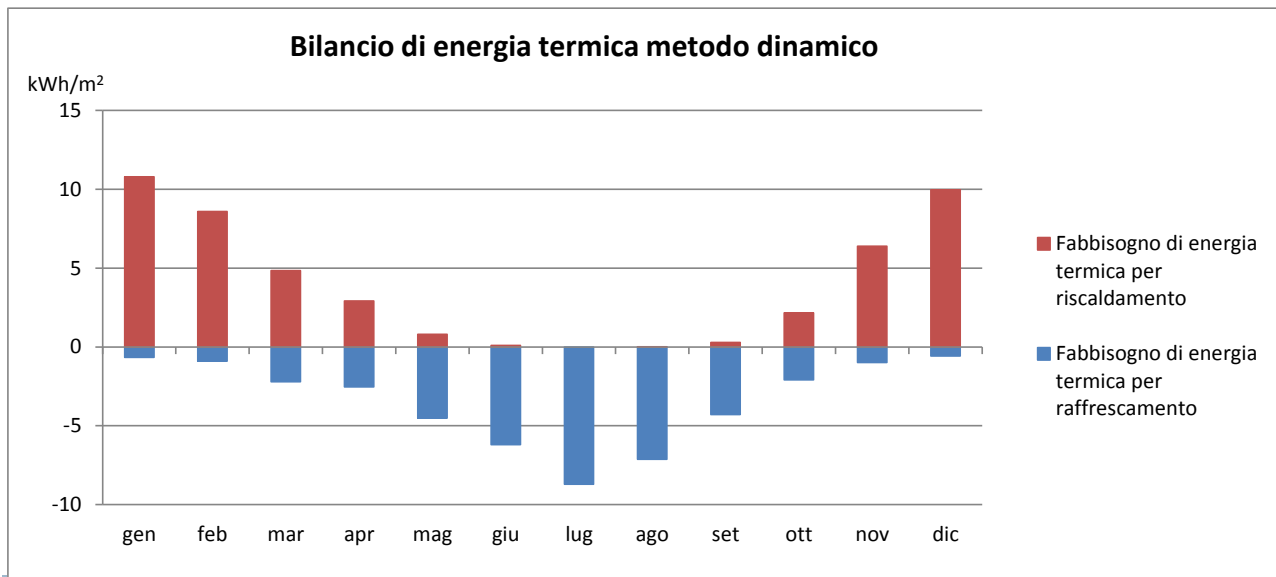
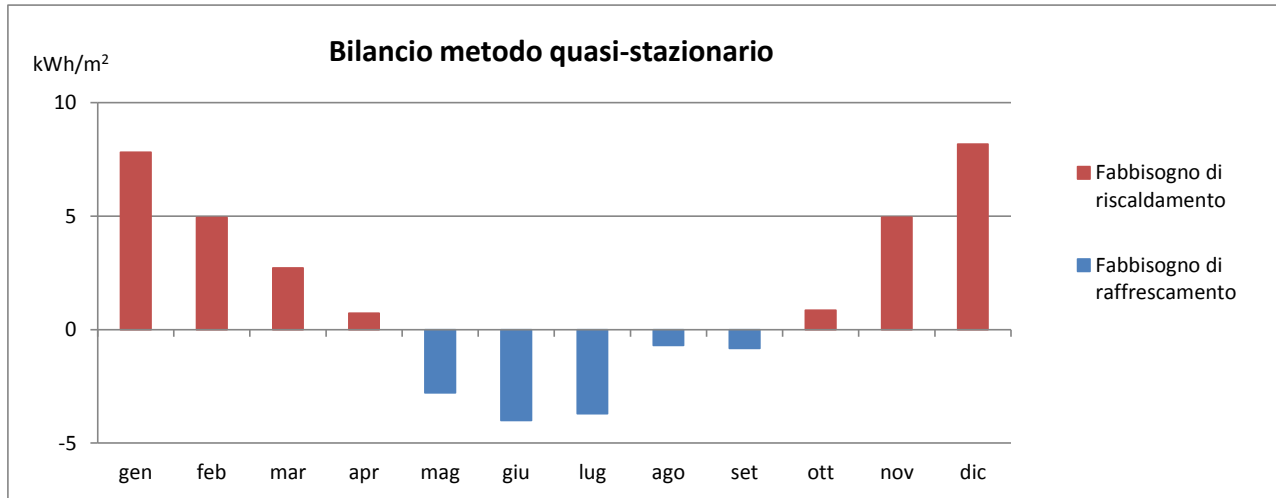


# ANALISI DI SENSIBILITA'

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)**

