



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
Abitazione monofamiliare	esistente	1946-76 1977-97	B - E	4
	nuova	2014	B - E	4
Piccolo condominio	esistente	1946-76 1977-97	B - E	4
	nuova	2014	B - E	4
Grande condominio	esistente	1946-76 1977-97	B - E	4
	nuovo	2014	B - E	4
Edificio ad uso ufficio	esistente	1946-76 1977-97	B - E	4
	nuovo	2014	B - E	4
RESIDENZIALE NUOVI				12
TOTALE RESIDENZIALE				24
UFFICI NUOVI				4
TOTALE UFFICI				8
TOTALE NUOVI				16
TOTALE				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
CLASSE DI EPOCA DI COSTRUZIONE	1 Fino al 1900				
	2 1901-1920				
	3 1921-1945				
	4 1946-1960				
	5 1961-1975				
	6 1976-1990				
	7 1991-2005				
	8 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

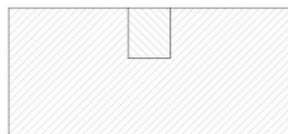
Destinazione d'uso: Residenziale

Tipologia: Piccolo condominio

- Nuovo
 Esistente
 1946-1976
 1977-1990



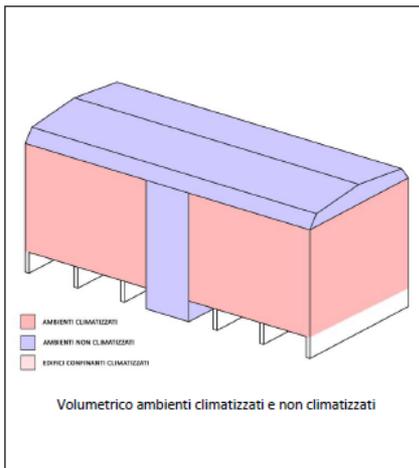
Immagine dell'edificio



Impronta a terra dell'edificio e orientamento principale

DATI TIPOLOGICI

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



SCHEDA 2

DATI COSTRUTTIVI

1) CHIUSURA VERTICALE OPACA

ID	Descrizione	Ambiente confinante	U_c [W/m ² K]	κ_i [kJ/m ² K]	$\alpha_{sol,c}$ [-]	ε [-]
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			τ_{sol} [-]	
		Serramento in vetrocamera con intercapedine d'aria e telaio in metallo senza taglio termico, senza schermature solari e chiusure oscuranti			-	
		Vetro <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 ² K] -	Schermatura mobile <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_____	α_{sol} [-] - $g_{gl,sh}$ / g_g [-] - $g_{gl,sh}$ [-] 0,75
		Telaio <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 ² K] - F_f [-] 0,2	Chiusura oscurante <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_____	ΔR [m ² K/W] 0
		Serramento	U_w [W/m ² K] 3,7	Contributo della chiusura oscurante	U_w^{shut} [W/m ² K] 3,7 U_w^{corr} [W/m ² 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

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

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

$A_{H,s}$ [m²]
 $D_{H,s}$ [m]
 $\lambda_{H,s}$ [W/mK]

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

Φ_{pe} [kW] -
 η_{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 ² K]	

Sottosistema di accumulo

- Presenza di serbatoio di accumulo
 Assenza di serbatoio di accumulo

$A_{w,s}$ [m ²]	
$D_{w,s}$ [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

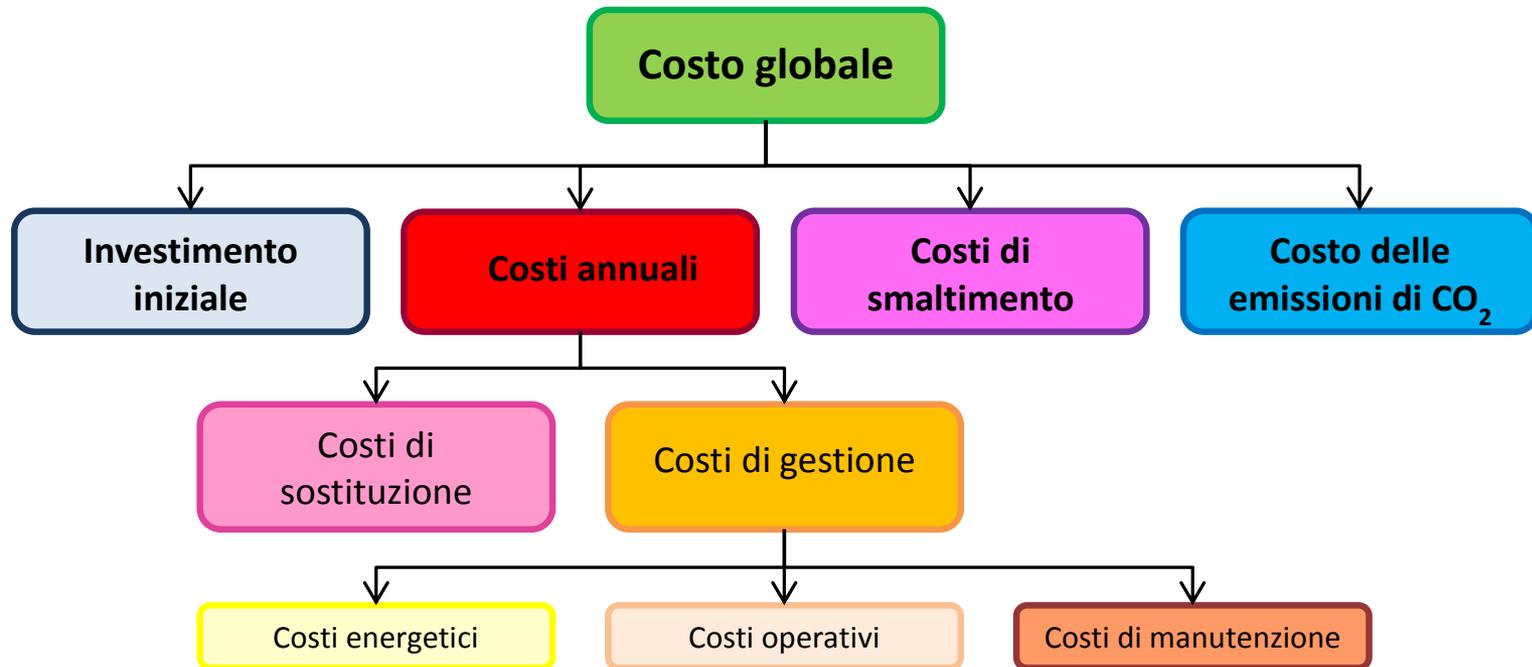
LE MISURE DI EFFICIENZA ENERGETICA

						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	η_{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	η_{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	η_r	0					
15	Improving Control System (ICS)	1	Control efficiency	η_{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					

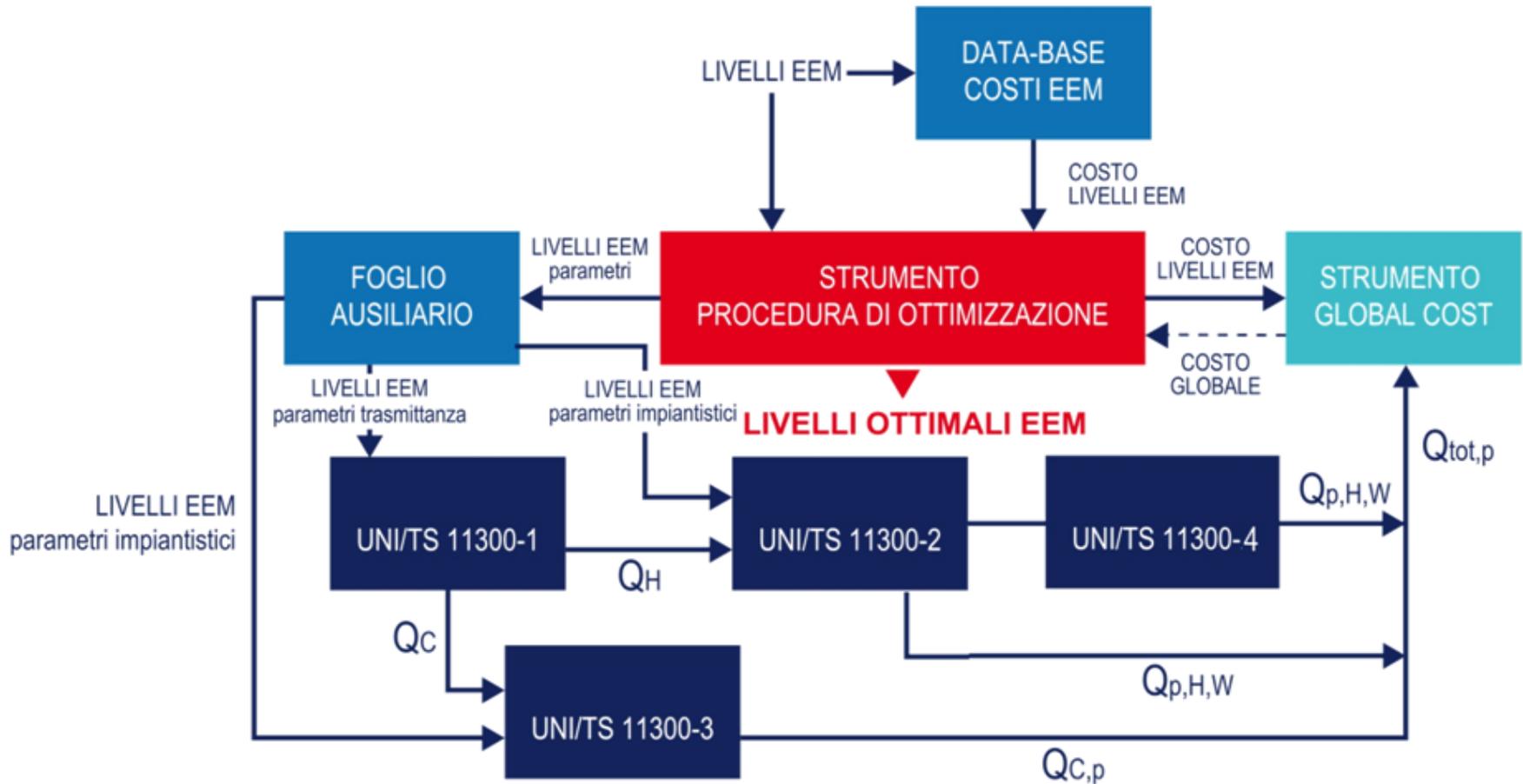
IL CALCOLO DEL FABBISOGNO ENERGETICO SECONDO UNI/TS 11300

- ▶ 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”

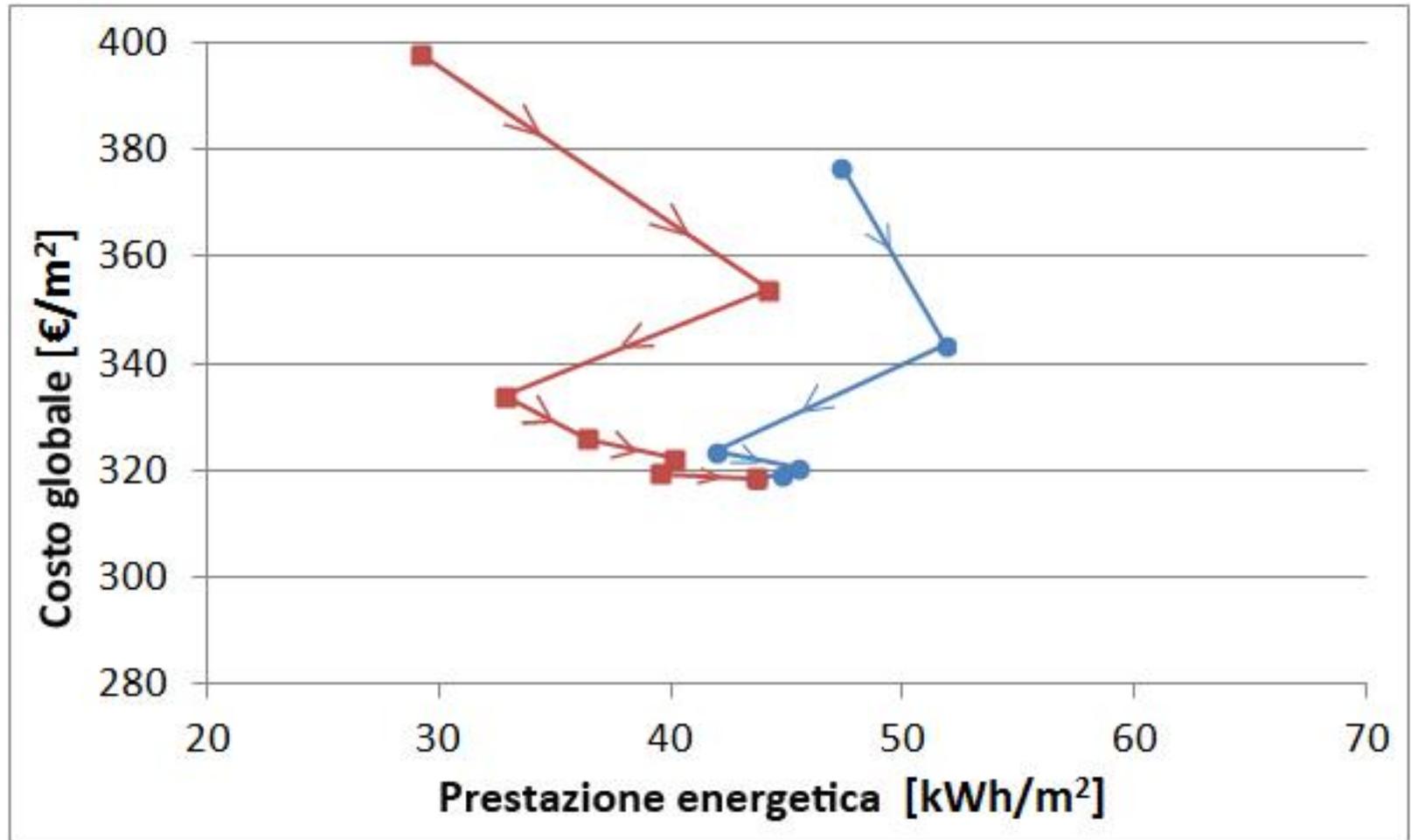
CALCOLO DEL COSTO GLOBALE



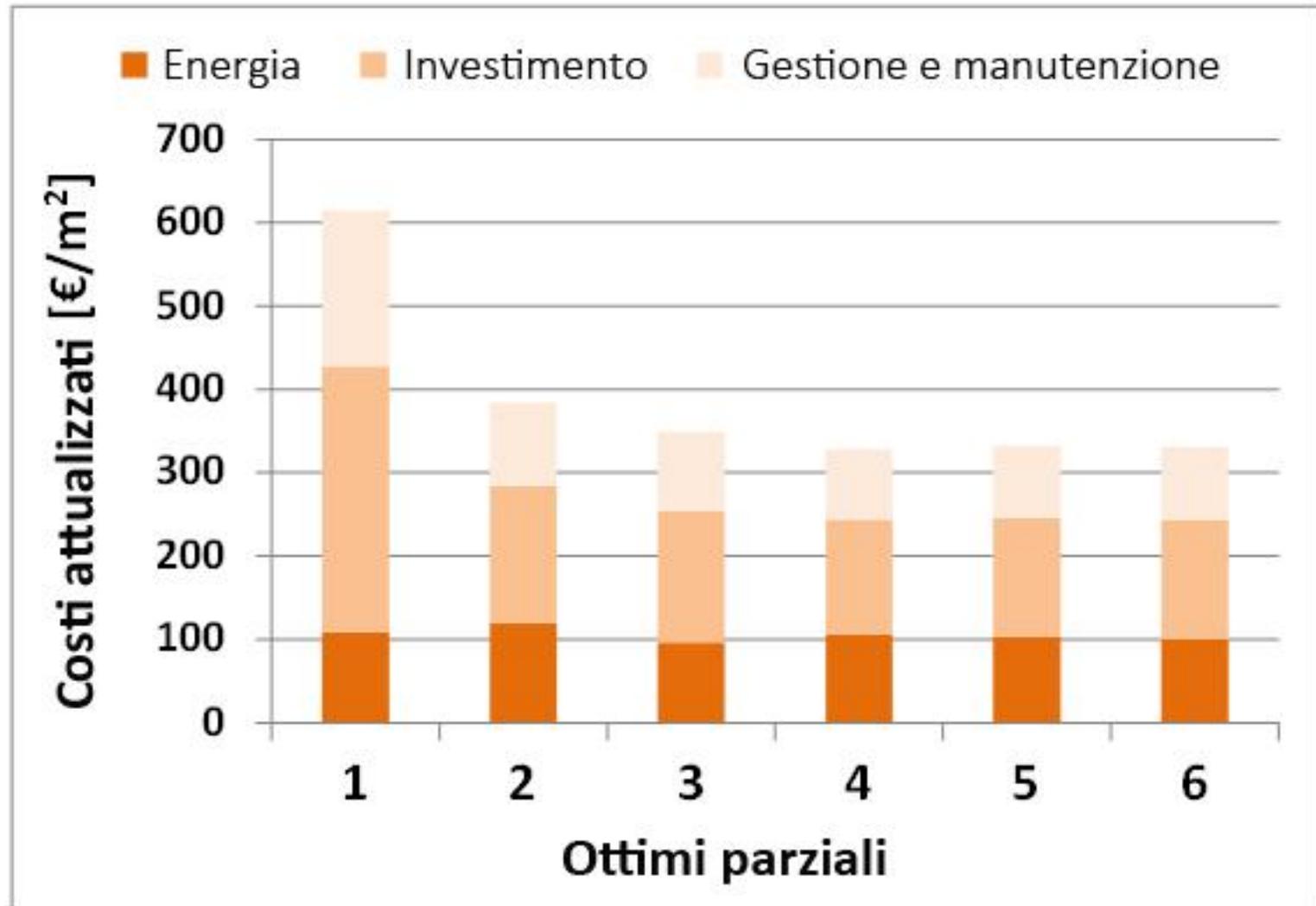
LA PROCEDURA DI OTTIMIZZAZIONE



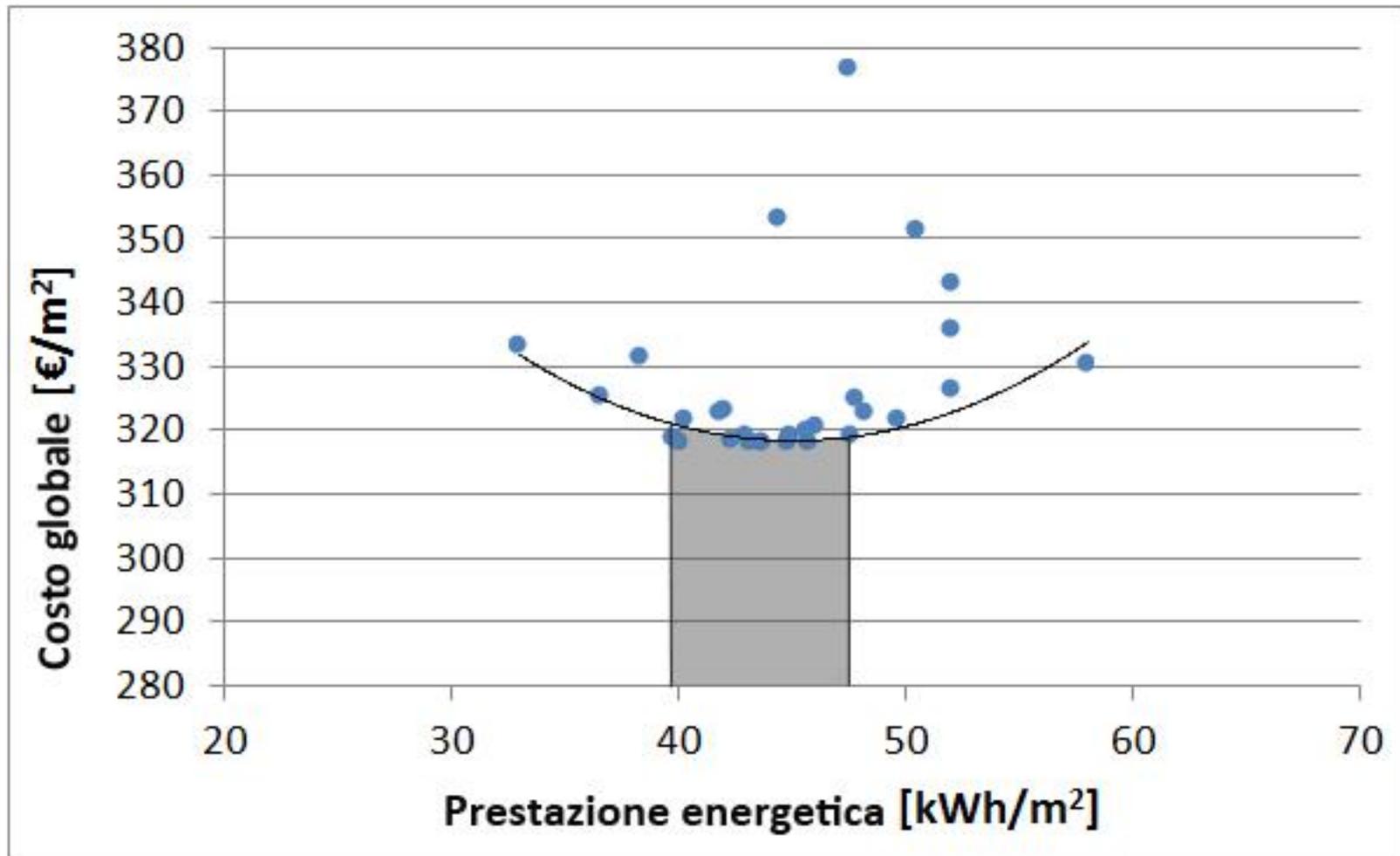
RISULTATI: il percorso di ottimizzazione



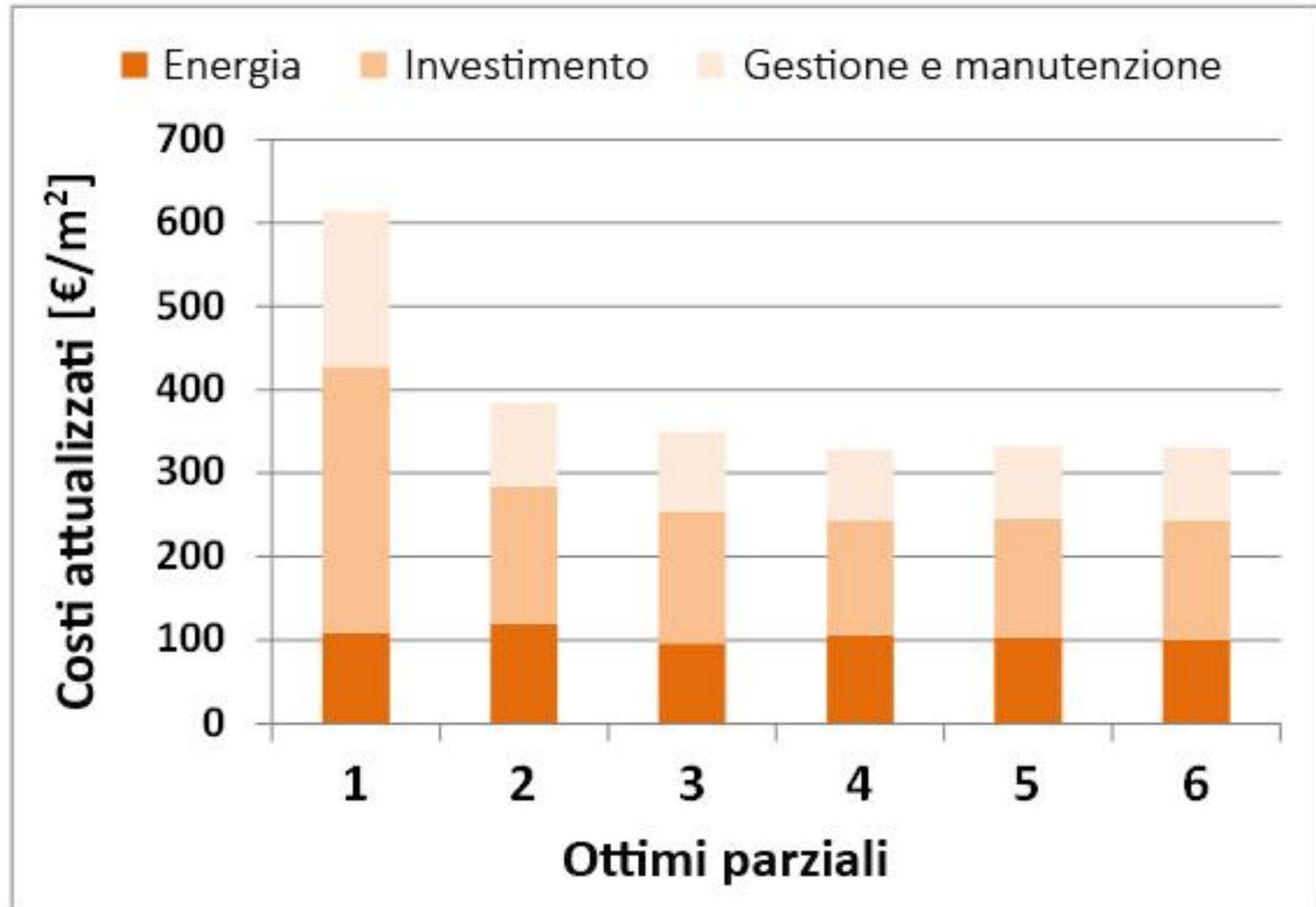
RISULTATI: gli ottimi parziali



RISULTATI: l'intervallo ottimale

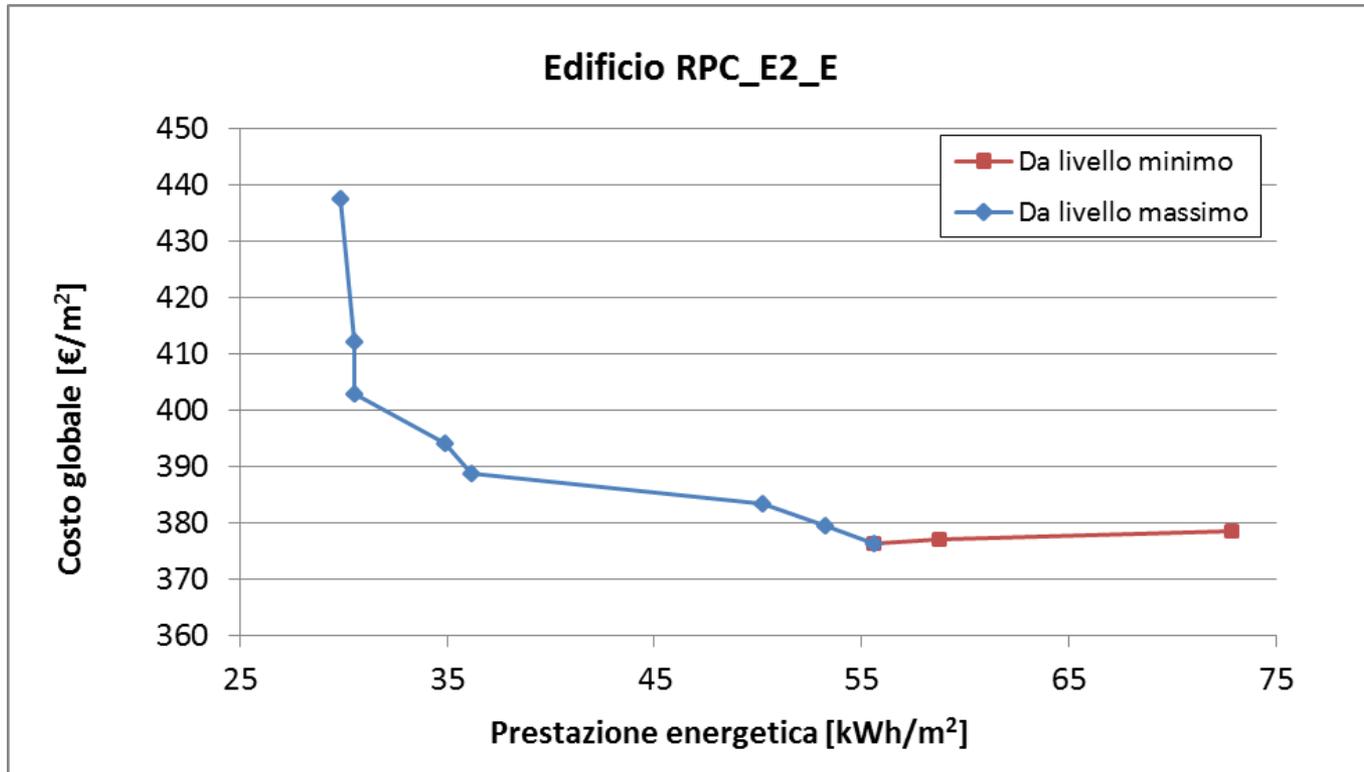


RISULTATI: gli ottimi parziali



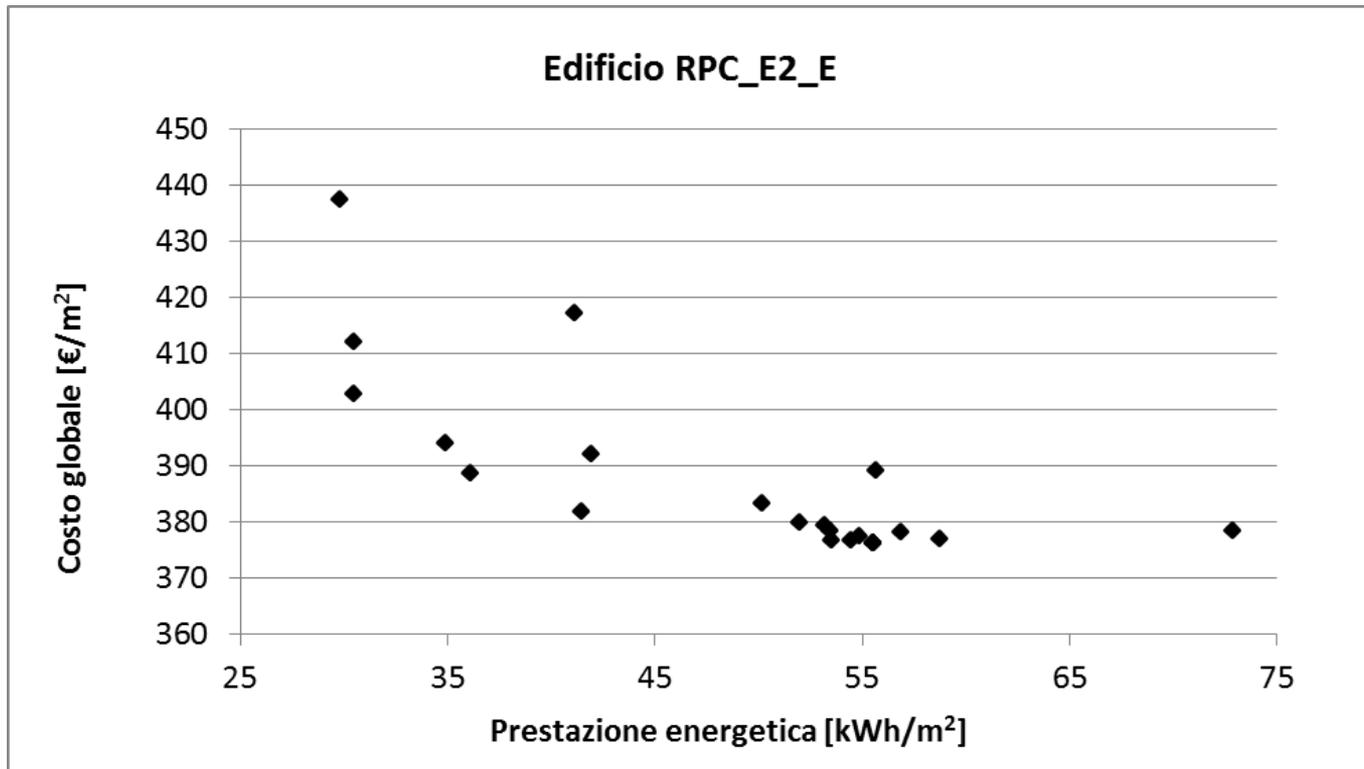
PICCOLO CONDOMINIO

Edificio esistente 1977-1990



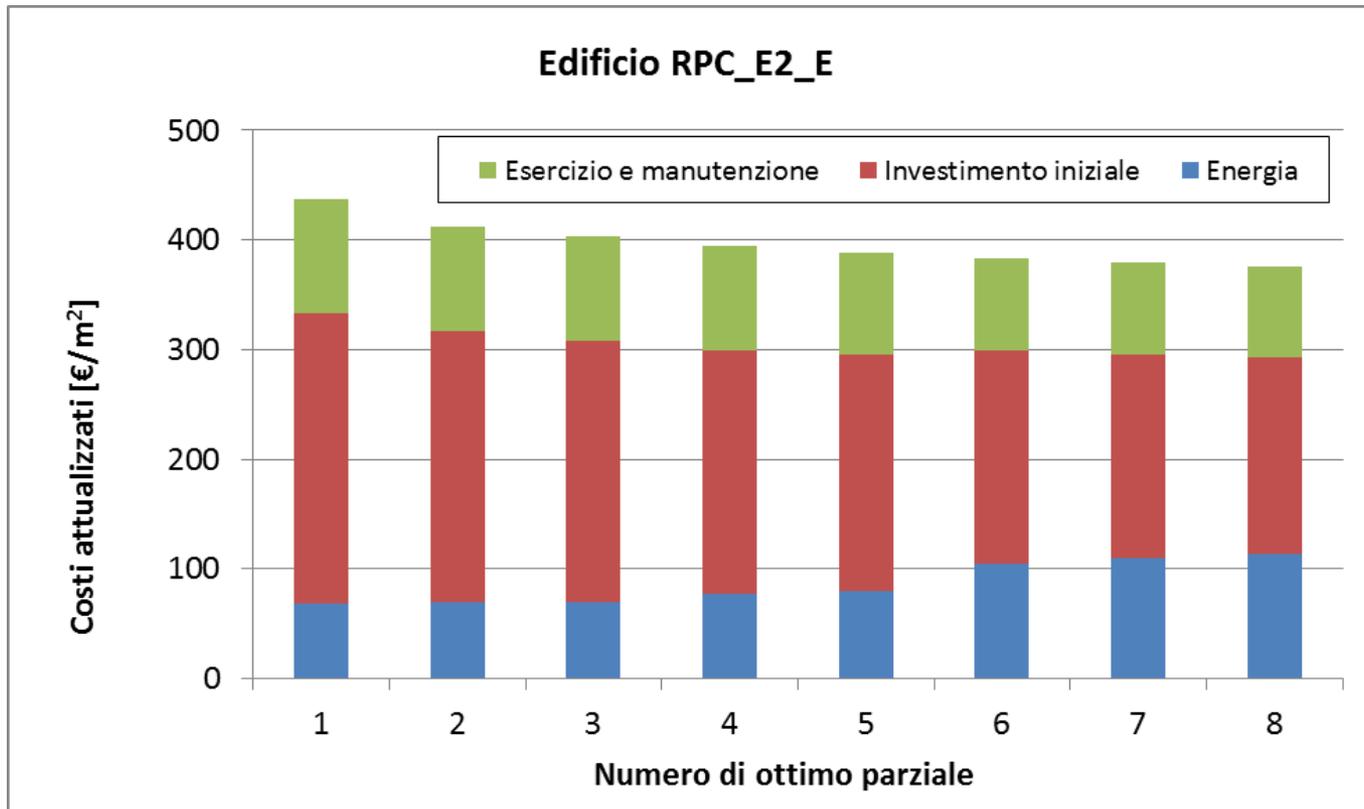
PICCOLO CONDOMINIO

Edificio esistente 1977-1990



PICCOLO CONDOMINIO

Edificio esistente 1977-1990



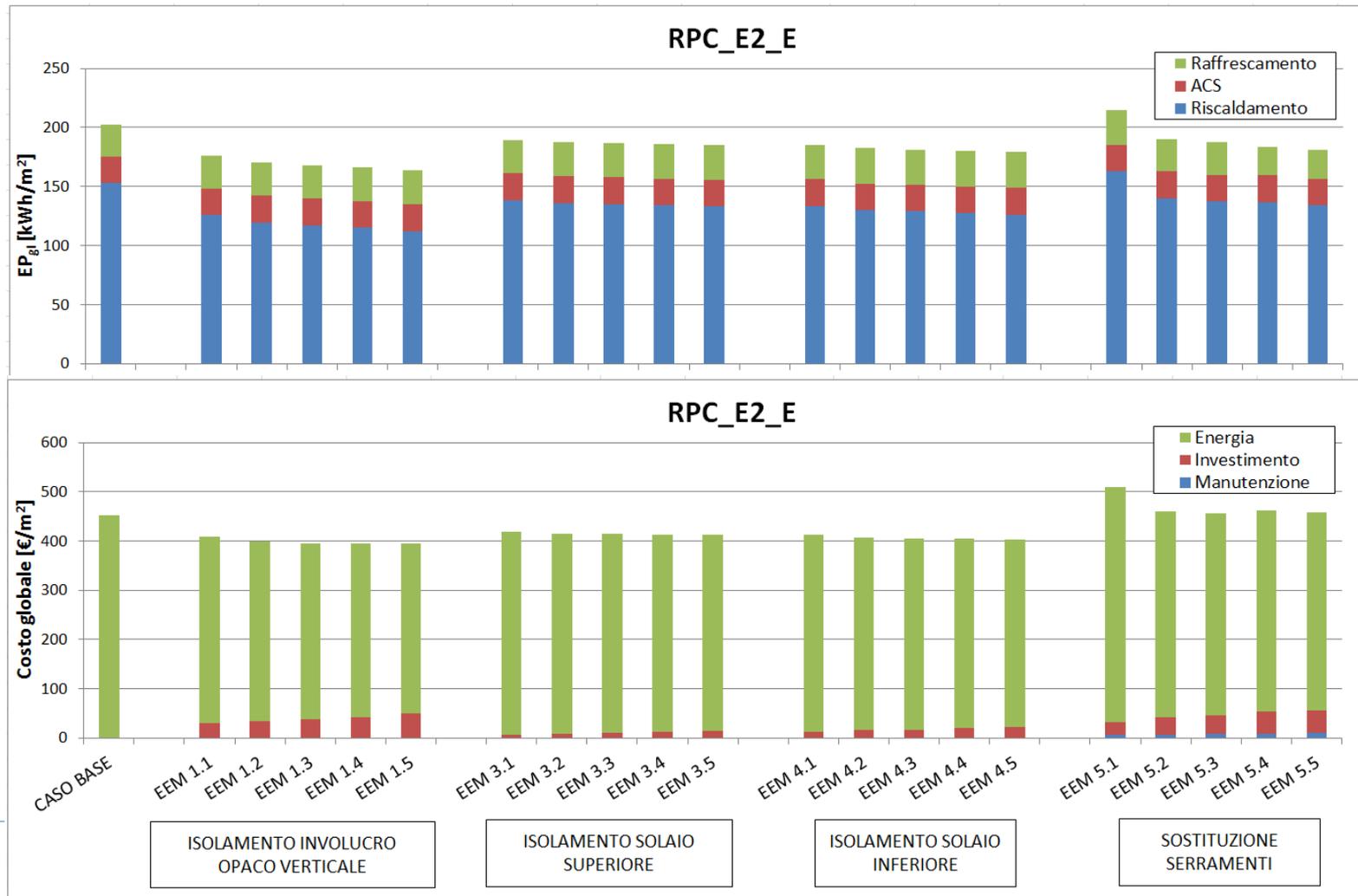
PICCOLO CONDOMINIO

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 ² K)	U _p	0,34	2
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	-	-
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _r	0,4	1
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _f	0,45	1
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	1,6	4
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Trasmmissione solare della schermatura	t _s	0,4	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 _{gn}	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn,Pn,W}	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione in condizioni di progetto	η _{gn}	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	4,2	3
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3,1	
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m ²)	m ²	14	1
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	2,5	1
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η _r	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Rendimento di regolazione	η _{ctr}	0,995	3
16	Densità della potenza di illuminazione installata (LPD)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN	-	-
17	Sistemi di regolazione dell'illuminazione (LCS)	Fattore di dipendenza dall'occupazione (e fattore di illuminamento costante)	F _o (F _c)	-	-

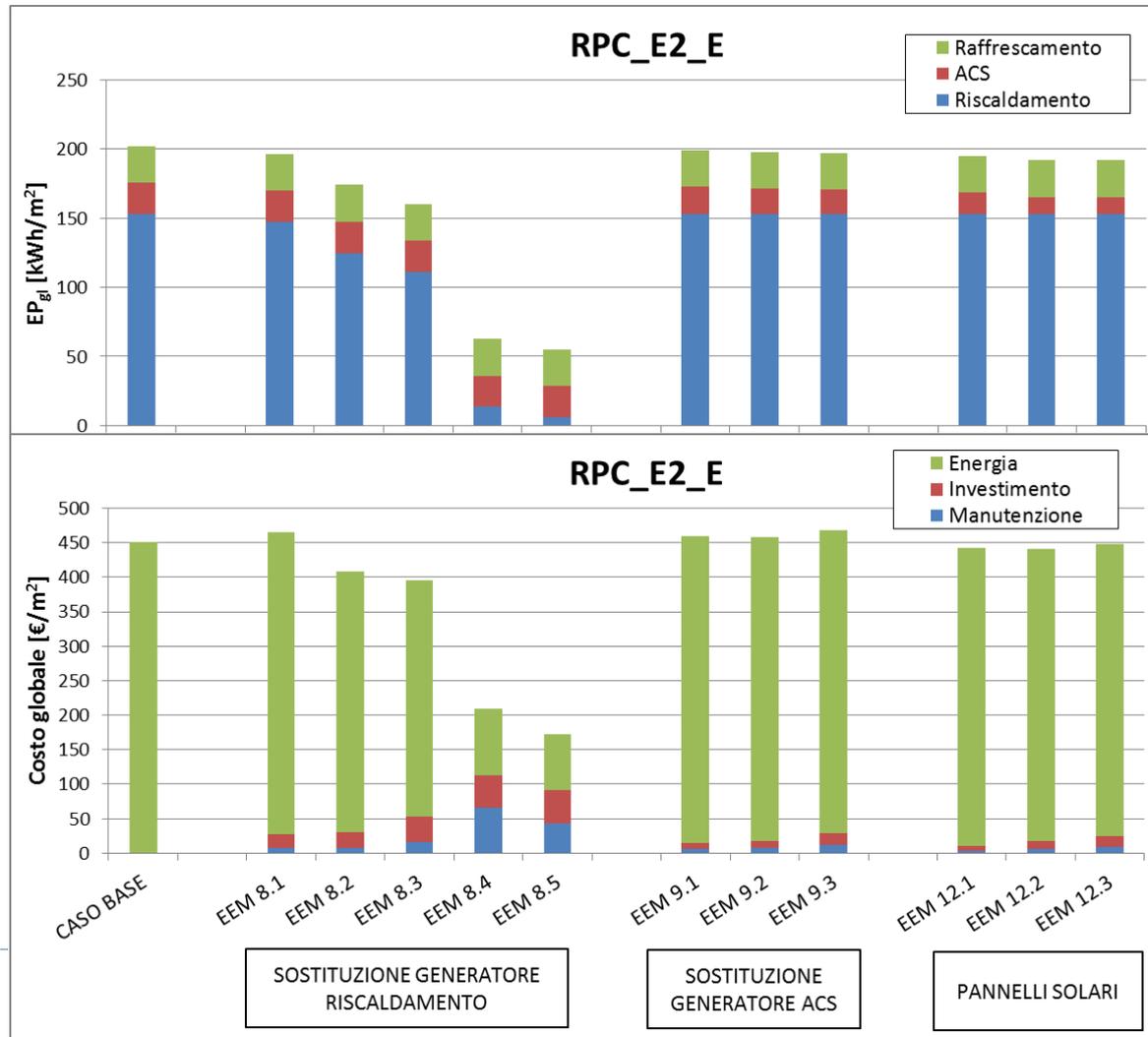
ANALISI DI SENSIBILITA'

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



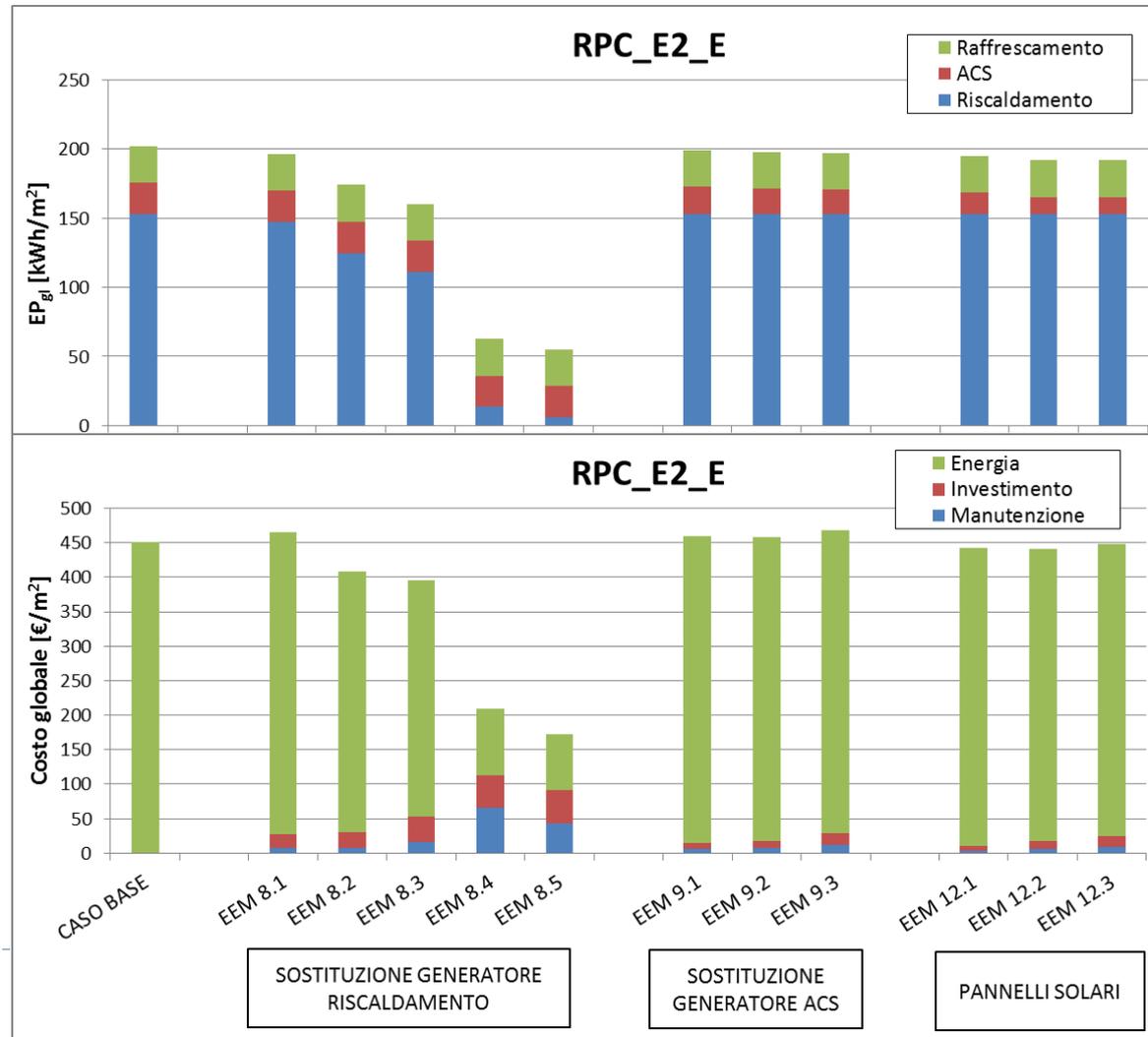
ANALISI DI SENSIBILITA'

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

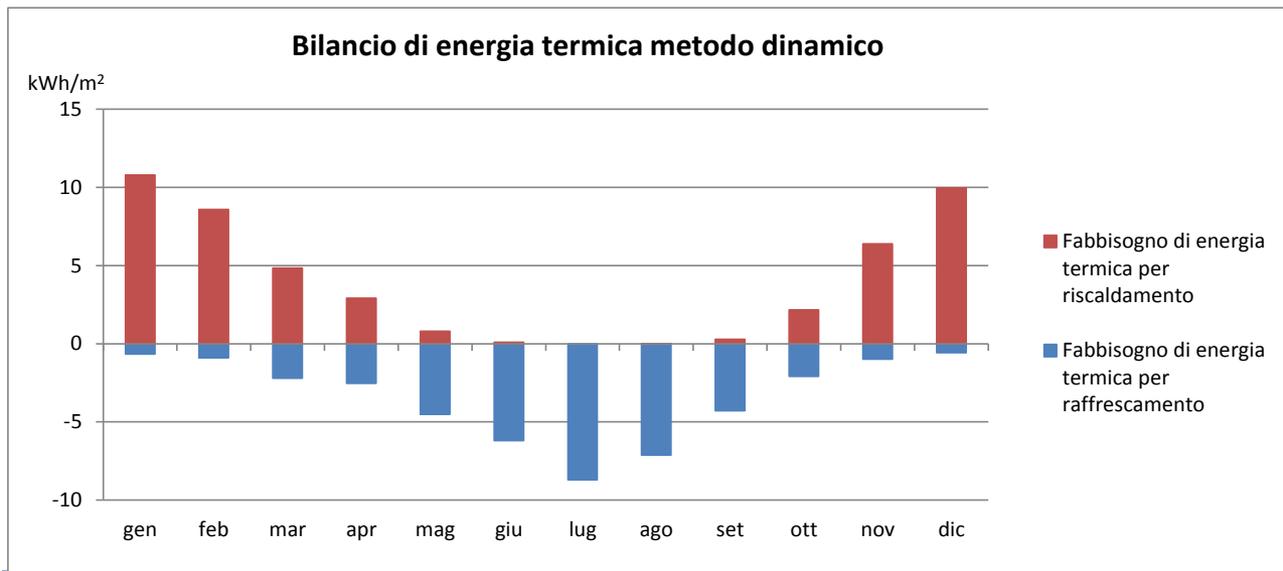
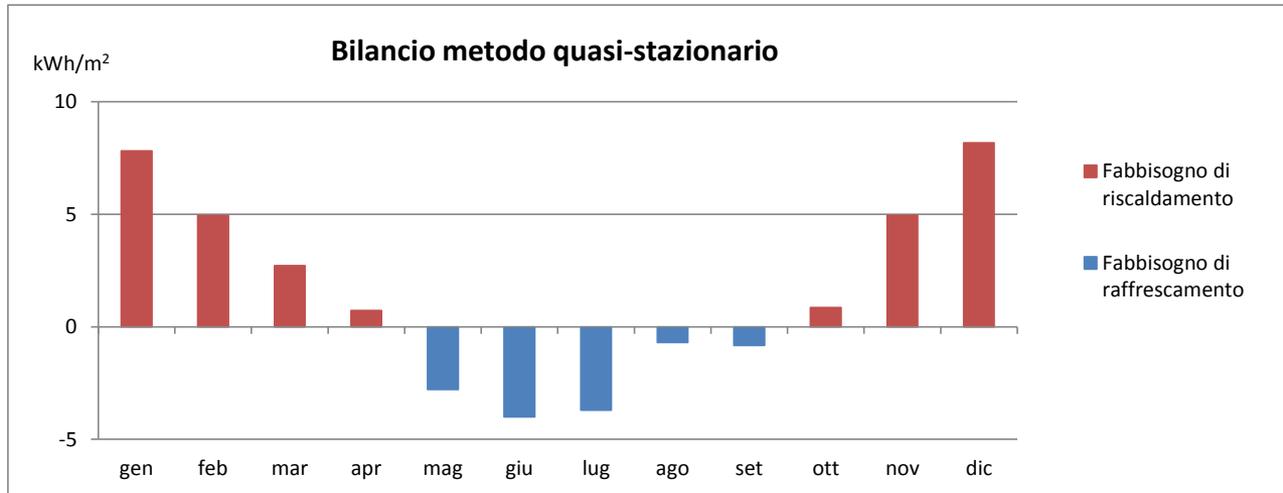


ANALISI DI SENSIBILITA'

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

