



Ricerca di Sistema elettrico

Aggiornamento della metodologia comparativa per la determinazione dei livelli ottimali di prestazione energetica negli edifici

V. Corrado, I. Ballarini, G. De Luca, E. Primo



AGGIORNAMENTO DELLA METODOLOGIA COMPARATIVA PER LA DETERMINAZIONE DEI LIVELLI OTTIMALI DI PRESTAZIONE ENERGETICA NEGLI EDIFICI

V. Corrado, I. Ballarini, G. De Luca, E. Primo (Politecnico di Torino, Dipartimento Energia)

Settembre 2018

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2017

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici"

Progetto: Studi sulla riqualificazione energetica del parco esistente di edifici pubblici (scuole, ospedali, uffici della pa centrale e locale) mirata a conseguire il raggiungimento della definizione di edifici a energia quasi zero (nzZEB)

Obiettivo: Aggiornamento della metodologia comparativa per la determinazione dei livelli ottimali di prestazione energetica negli edifici

Responsabile del Progetto: ing. Domenico Iatauro, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione *"Aggiornamento della metodologia comparativa per la determinazione dei livelli ottimali di prestazione energetica negli edifici"*

Responsabile scientifico ENEA: ing. Paolo Signoretti.

Responsabile scientifico Politecnico di Torino: prof. Vincenzo Corrado

Sommario

La presente relazione illustra il lavoro svolto nell'ambito dell'attività di ricerca inerente l'aggiornamento delle informazioni per la valutazione tecnico-economica degli interventi di riqualificazione energetica di edifici, in previsione di un aggiornamento del D.M. 26 giugno 2015 sulle nuove prescrizioni e i requisiti minimi di prestazione energetica [1]. Il lavoro è stato suddiviso in quattro fasi: una prima definizione degli edifici di riferimento ai quali applicare la procedura di calcolo, la messa a punto degli strumenti di calcolo della prestazione energetica degli edifici, il costo globale e la procedura di ottimizzazione, la definizione delle misure di efficienza energetica e dei costi delle stesse e l'analisi dei risultati, rappresentati dai pacchetti di misure di efficienza energetica che garantiscono il livello ottimale di costo, e un'analisi di sensibilità in riferimento alle principali variabili di calcolo economico.

Per la definizione degli edifici di riferimento rappresentativi del parco edilizio italiano, soggetti all'applicazione dei metodi di calcolo aggiornati nell'ambito nel presente accordo di collaborazione, si è fatto riferimento ad archetipi (edifici virtuali) estrapolati dai risultati dei progetti TABULA [18] e BEEPS [23] e dall'indagine effettuata da CRESME per ENEA [22]. Nella Sezione 2 vengono riportate le descrizioni delle tipologie edilizie di riferimento (residenziale monofamiliare, condominio residenziale di piccole e grandi dimensioni, edificio ad uso ufficio e ad uso scolastico) e le principali caratteristiche geometriche e costruttive dei 26 edifici di riferimento considerati (da Tabella 2.2 a Tabella 2.7).

La definizione degli strumenti di calcolo utilizzati ai fini dell'aggiornamento dei requisiti minimi di prestazione energetica corrispondenti ai livelli di costo ottimale per gli edifici di riferimento, e i relativi aggiornamenti, viene riportata nella Sezione 3. In particolare, la valutazione energetica (Sezione 3.1), condotta in accordo con le specifiche tecniche UNI/TS 11300 [[8]-[12]], è stata aggiornata al fine di recepire la nuova UNI/TS 11300-5, le modifiche attuate alle parti 1 e 2, la norma UNI EN 15193-1 [14] per il calcolo del fabbisogno energetico per l'illuminazione in edifici non residenziali e l'aggiornamento dei dati climatici medi mensili, riportati nella nuova UNI 10349-1 [15]. Il pacchetto integrato di fogli di calcolo, sviluppato nell'ambito del precedente Piano Annuale di Realizzazione 2012 [17], è stato a sua volta modificato e aggiornato per recepire le modifiche sopraindicate. Per quanto riguarda la valutazione economica, nella Sezione 3.2 vengono riportate le specifiche per il calcolo del costo globale (in accordo con la norma UNI EN 15459 [13]) relative al periodo di calcolo e alle voci di costo considerate. Infine, la Sezione 3.3 descrive la procedura di ottimizzazione a soluzioni discrete, la quale permette di individuare il pacchetto di misure di efficienza energetica, e i relativi livelli di prestazione, che garantisce il minor costo globale nell'arco di vita dell'edificio.

Il Sezione 4 riporta le informazioni (in particolare, i livelli di prestazione energetica e i costi) relative alle misure di efficienza energetica (EEM) testate dalla procedura di ottimizzazione. In seguito alla definizione delle misure di efficienza energetica e ai livelli di prestazione di ciascuna di esse (Tabella 4.1 per le misure sull'involucro Tabella 4.6 per le misure sugli impianti e Tabella 4.9 per le misure relative agli impianti a fonti rinnovabili), nelle Sezioni 4.1, 4.2 e 4.3 vengono specificate le assunzioni considerate nei calcoli. In particolare, viene specificato il metodo di definizione dei livelli di trasmittanza termica dei componenti d'involucro e del contributo dei ponti termici, dei livelli di prestazione energetica delle misure sugli impianti a fonti rinnovabili, e delle configurazioni impiantistiche e le relative tecnologie considerate per ciascuna tipologia edilizia. Per ciascun edificio di riferimento vengono riportati, inoltre, i parametri relativi a ciascun livello di ciascuna misura di efficienza energetica (da Tabella 4.10 a Tabella 4.35).

Per quanto riguarda l'aggiornamento dei costi considerati nella procedura di ottimizzazione, la Sezione 5 riporta i costi relativi alle misure di efficienza energetica. In particolare, per ciascuna misura sull'involucro (Sezione 5.1 e 5.2) e sui sistemi impiantistici (Sezione 5.3) vengono riportati i costi delle tecnologie (in funzione della superficie d'involucro o delle potenze dei generatori) e i costi aggiuntivi per le misure (es. manodopera). Invece, i costi relativi ai vettori energetici considerati nei calcoli e i costi di manutenzione e sostituzione per gli edifici esistenti sono riportati rispettivamente nelle Sezioni 5.4 e 5.5.

I risultati del processo di ottimizzazione sono riportati con diversi elaborati nella Sezione 6.1. In particolare, da Scheda 6.1 a Scheda 6.26 si riportano, per ciascun edificio di riferimento, una tabella riassuntiva del pacchetto

ottimale, il fronte di Pareto con le soluzioni discrete della procedura di ottimizzazione e, inoltre, un confronto con lo stato di fatto per gli edifici esistenti. Vengono inoltre presentati quattro grafici che rappresentano l'energia consegnata e prodotta da fonti rinnovabili, l'indice di prestazione energetica (EP) rinnovabile e non rinnovabile per ciascun servizio (e la relativa copertura da fonti rinnovabili) e i costi della soluzione *cost-optimal*. Nel Sezione 6.2, invece, vengono riportati i risultati dell'analisi di sensibilità in riferimento alle principali variabili di calcolo economico (tasso di sconto e andamento dei costi energetici).

Infine, le conclusioni del presente lavoro sono state sviluppate nel Sezione 8, in riferimento alle diverse tipologie edilizie e a carattere generale. Inoltre, le soluzioni *cost-optimal* della presente attività sono state confrontate con i risultati dell'attività precedente [17] evidenziandone le analogie e le differenze; le soluzioni *cost-optimal* sono state confrontate, inoltre, con i requisiti dell'edificio ad energia quasi-zero (D.M. 26/06/2015 [1]) al fine di valutarne il rispetto dei suddetti requisiti.

Indice

1	INTRODUZIONE.....	6
1.1	INQUADRAMENTO DELL'ATTIVITÀ	6
1.2	DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE.....	7
2	DESCRIZIONE DEGLI EDIFICI DI RIFERIMENTO	8
2.1	EDIFICI AD USO RESIDENZIALE	9
2.2	EDIFICI AD USO UFFICIO	11
2.3	EDIFICIO AD USO SCOLASTICO	12
3	STRUMENTI DI CALCOLO	14
3.1	CALCOLO DEI FABBISOGNI DI ENERGIA.....	14
3.2	CALCOLO DEL COSTO GLOBALE	15
3.3	PROCEDURA DI OTTIMIZZAZIONE	20
4	ANALISI DELLE MISURE DI EFFICIENZA ENERGETICA.....	23
4.1	MISURE DI EFFICIENZA ENERGETICA DELL'INVOLUCRO	24
4.2	MISURE DI EFFICIENZA ENERGETICA DEGLI IMPIANTI DI RISCALDAMENTO, RAFFRESCAMENTO E ACS	27
4.3	MISURE DI EFFICIENZA ENERGETICA DEGLI IMPIANTI A FONTI RINNOVABILI	31
4.4	MISURE DI EFFICIENZA ENERGETICA APPLICATE AGLI EDIFICI DI RIFERIMENTO	31
5	I COSTI DELLE MISURE DI EFFICIENZA ENERGETICA	58
5.1	COSTI DEGLI INTERVENTI SUI COMPONENTI D'INVOLUCRO OPACO.....	58
5.2	COSTI DEGLI INTERVENTI SUI COMPONENTI D'INVOLUCRO TRASPARENTE.....	65
5.3	COSTI DEI SISTEMI IMPIANTISTICI	69
5.4	COSTI DEI VETTORI ENERGETICI.....	95
5.5	COSTI DEGLI EDIFICI ESISTENTI	98
6	RISULTATI.....	100
6.1	SOLUZIONI COST-OPTIMAL	100
6.2	ANALISI DI SENSIBILITÀ	158
7	ANALISI DEI RISULTATI.....	173
7.1	CONSIDERAZIONI GENERALI	173
7.2	CONFRONTO CON LE SOLUZIONI COST-OPTIMAL INDIVIDUATE NELL'ATTIVITÀ 2013	174
7.3	CONFRONTO CON I REQUISITI DELL'EDIFICIO AD ENERGIA QUASI-ZERO (D.M. 26/06/2015)	175
8	CONCLUSIONI	176
9	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	177

1 Introduzione

1.1 Inquadramento dell'attività

Nell'ambito del Piano Annuale di Realizzazione 2017 dell'Accordo di Programma del 21 dicembre 2016 tra il Ministero dello Sviluppo Economico e l'ENEA, Area "Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica", e secondo quanto definito nell'Accordo di collaborazione tra l'ENEA e il Politecnico di Torino per una attività di ricerca dal titolo "Risparmio di energia elettrica nel settore civile, industria e servizi", la presente relazione illustra il lavoro svolto nell'ambito dell'attività di ricerca concernente l'aggiornamento delle informazioni per la valutazione tecnico-economica degli interventi di riqualificazione energetica di edifici, in previsione di un aggiornamento del DM 26 giugno 2015 [1] sulle nuove prescrizioni e i requisiti minimi.

La direttiva 2002/91/CE EPBD rivista dalla direttiva 2010/31/UE, EPBD "Recast" [2], ha definito i principi relativi al miglioramento della prestazione energetica degli edifici. Nella EPBD Recast è stato richiesto agli Stati Membri di definire i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici in funzione dei livelli ottimali di costo. A tali fini, la direttiva ha introdotto una metodologia di analisi comparativa con il proposito di determinare requisiti di riferimento per gli standard nazionali. Il livello ottimale in funzione dei costi è definito come "il livello di prestazione energetica che conduce al costo più basso durante il ciclo di vita economico stimato dell'edificio"[2], dove il costo più basso è determinato tenendo conto dei costi di investimento legati all'energia, dei costi di manutenzione e di funzionamento e degli eventuali costi di smaltimento. Il Regolamento delegato (UE) N. 244/2012 [3] e le successive Linee guida di accompagnamento hanno definito il quadro metodologico per la determinazione dei requisiti energetici ottimali degli edifici, dal punto di vista sia tecnico che economico.

In Italia, l'applicazione di tale metodologia è stata sviluppata da un gruppo di lavoro, coordinato dal MiSE, cui hanno partecipato ENEA, RSE e CTI ed è stata esplicitata nel report "Applicazione della metodologia di calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica (direttiva 2010/31/CE Art. 5)" pubblicato nel 2013. In questa relazione sono contenuti tutti i dati e le ipotesi utilizzati per il calcolo, con i relativi risultati. Con l'impiego di questa metodologia sono stati identificati i requisiti minimi di prestazione energetica corrispondenti ai livelli di costo ottimali, per edifici nuovi e per edifici esistenti sottoposti a ristrutturazioni importanti e a riqualificazione energetica. I risultati di queste valutazioni sono stati confrontati con i corrispondenti valori vigenti al 2013, e successivamente utilizzati nel DM 26 giugno 2015 per la definizione delle prestazioni e dei requisiti minimi degli edifici e per la definizione di edifici a energia quasi zero (nZEB).

Il tema sviluppato nell'ambito del presente accordo di collaborazione tra ENEA e il Dipartimento Energia (DENERG) del Politecnico di Torino riguarda l'aggiornamento dei metodi di calcolo e dei risultati della metodologia di analisi comparativa sviluppata nel 2013. L'attività comprende inoltre il confronto dei risultati ottenuti con i corrispondenti valori determinati nel 2013. La revisione della metodologia comparativa e della sua relazione sono previsti dalla stessa Direttiva che fissa una rivisitazione periodica, ad intervalli regolari non superiori a cinque anni, dei requisiti minimi di prestazione energetica.

Per l'applicazione della suddetta metodologia, nell'ambito del precedente Piano Annuale di Realizzazione 2012 [17], è stato definito un pacchetto integrato costituito da fogli di calcolo in formato MS Excel *user friendly* in grado, per ogni caso studio considerato, di fornire la migliore soluzione tecnologica in termini di costi/benefici finalizzata alla riduzione dei consumi energetici, sia per edifici di nuova costruzione, sia per edifici esistenti sottoposti a ristrutturazione totale.

Il processo di ottimizzazione considera i consumi annuali per riscaldamento, produzione ACS, raffrescamento ed illuminazione (nel caso di edifici non residenziali) dell'edificio, nonché l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili (pompa di calore, solare termico per produzione ACS e fotovoltaico) ed i costi globali (di intervento, di manutenzione e di esercizio, i proventi della esportazione di energia elettrica e gli eventuali costi di smaltimento).

Tale strumento di calcolo, già applicato ad una serie di casi studio nell'ambito della precedente attività, è ora stato aggiornato secondo le attuali specifiche tecniche UNI/TS 11300 [[8]-[12]], e applicato nuovamente agli edifici di riferimento.

Tra i casi studio è stato aggiunto un edificio esistente ad uso scolastico, per le città di Milano e di Palermo, prese come caratteristiche delle zone climatiche E e B.

1.2 Descrizione delle attività svolte

Il lavoro si struttura nelle seguenti quattro fasi:

1. Descrizione degli edifici di riferimento.
 2. Strumenti di calcolo.
 3. Analisi delle misure di efficienza energetica.
 4. Risultati.
- Descrizione degli edifici di riferimento e degli interventi di riqualificazione: Il lavoro si basa sugli edifici campione già precedentemente definiti nel 2013 [17] dal gruppo di lavoro tecnico istituito dal Ministero dello Sviluppo Economico per l'attuazione della Direttiva 2010/31/UE [2]. In accordo con dati di letteratura, indagini statistiche e risultati di progetti di ricerca svolti sia in ambito nazionale sia in ambito internazionale (ad es. progetto IEE-TABULA [18]) è stato definito un numero congruo di edifici di riferimento (sia residenziali che del terziario, sia esistenti che nuovi), rappresentativi del parco edilizio italiano per funzionalità, caratteristiche tipologiche e costruttive e condizioni climatiche.

In questa fase agli edifici già oggetto di analisi sono stati aggiunti due nuovi casi studio, rappresentati da un edificio esistente ad uso scolastico, in zona climatica B ed E.

- Strumenti di calcolo: la valutazione energetica è condotta mediante metodologia semplificata, in accordo con le specifiche tecniche UNI/TS 11300-1/5 [[8]-[12]], con lo scopo di prevedere i consumi energetici globali per singolo edificio campione considerando riscaldamento, produzione ACS, raffrescamento ed illuminazione (solo per il terziario). La valutazione economica è condotta in accordo con la norma UNI EN 15459 [13] con lo scopo di prevedere il costo globale in un contesto di nuova costruzione o ristrutturazione edilizia totale, considerando il costo dell'investimento iniziale, di manutenzione, di eventuale sostituzione, di dismissione e costo residuo.

In questa fase l'attività ha previsto l'aggiornamento degli strumenti di calcolo al fine di recepire le modifiche attuate alle specifiche tecniche UNI/TS 11300 parti 1 e 2 [[8][9]] e la nuova UNI/TS 11300 parte 5 [12].

- Analisi delle misure di efficienza energetica: in questa fase, le misure di efficienza energetica considerate all'interno della metodologia comparativa vengono analizzate e caratterizzate per ciascun edificio di riferimento, sia per quanto riguarda i livelli di prestazione energetica che i costi di ciascun intervento. Gli interventi/misure considerati sono le stesse di quelle utilizzate nelle valutazioni del 2013 [17], ma in alcuni casi sono stati variati il numero di livelli esaminati ed è stata introdotta l'ipotesi di non intervento sugli edifici esistenti.
- Risultati: per ogni edifici di riferimento, i risultati del processo di ottimizzazione consistono nell'individuazione del pacchetto di misure di efficienza energetica ottimale che determina il minor costo globale nel ciclo di vita dell'edificio. I risultati sono stati riportati con diversi elaborati, tra i quali una tabella riassuntiva del pacchetto ottimale e, per gli edifici esistenti, un confronto con lo stato di fatto.

Inoltre, è stato effettuato il confronto tra i risultati ottenuti con i requisiti individuati nel 2013 [17], e un'analisi di sensibilità in riferimento alle principali variabili di calcolo economico (nello specifico, il tasso di sconto e l'andamento dei costi energetici) relativi a ciascun edificio di riferimento.

Ad ognuna di queste attività è dedicata una sezione specifica all'interno della presente relazione.

2 Descrizione degli edifici di riferimento

Ai fini della procedura di calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica, così come richiesto all'allegato III della Direttiva 2010/31/UE [2] e all'allegato I del Regolamento delegato (UE) N. 244/2012 della Commissione del 16 gennaio 2012 [3], gli Stati Membri sono tenuti a definire edifici di riferimento che siano rappresentativi del parco immobiliare normale e medio.

Gli edifici di riferimento possono essere reali esempi di edifici più diffusi all'interno di una data categoria, oppure archetipi (edifici virtuali), rappresentativi di una data categoria ma non comunque realmente esistenti [18].

Secondo le Linee Guida in riferimento al Regolamento delegato (UE) N. 244/2012 [3], si possono utilizzare le due diverse modalità a seconda del tipo di categoria di edificio, o adattare cataloghi di banche dati esistenti degli edifici di riferimento, ispirandosi a lavori già realizzati, come ad esempio *TABULA – Typology approach for building stock energy assessment* («Approccio tipologico per la valutazione energetica del parco immobiliare») [18], *ASIEPI* [19] ed *EPISCOPE* [20].

In particolare, *TABULA* [18] è un progetto nell'ambito del programma *Intelligent Energy Europe (IEE)* finalizzato a creare una struttura armonizzata sulla tipologia edilizia in Europa. La classificazione del parco edilizio residenziale esistente è basata sulla definizione di “edifici tipo” nazionali, in funzione del periodo di costruzione, la geometria e le condizioni climatiche. Ogni tipologia edilizia è caratterizzata da dimensioni, fattori di forma, proprietà termo-fisiche (es. trasmittanza termica dei componenti), efficienza degli impianti di riscaldamento ed altri indicatori energetici.

Il progetto europeo *EPISCOPE (Energy Performance Indicator Tracking Schemes for the Continuous Optimisation of Refurbishment Processes in European Housing Stocks)* [20] è stato proposto come follow-up del progetto *TABULA* [18]. I concetti tipologici e i contenuti sviluppati nel corso di *TABULA* costituiscono parte integrante del nuovo progetto, con l'aggiunta di una nuova attività di monitoraggio sullo stock edilizio. L'obiettivo strategico del progetto *EPISCOPE* [20] è quello di rendere i processi di riqualificazione energetica nel settore immobiliare europeo più trasparenti ai fini di una maggiore efficacia nel raggiungimento degli obiettivi di contenimento dei consumi energetici, e che le azioni correttive o di miglioramento possano essere applicate in tempo utile, se necessario.

Secondo quanto previsto dal Regolamento, per ciascuna delle seguenti categorie vanno individuati almeno un edificio di riferimento per i nuovi edifici e due per quelli esistenti:

- abitazioni monofamiliari;
- condomini residenziali;
- edifici ad uso uffici;
- altre categorie di edifici non residenziali per i quali esistono requisiti minimi specifici di rendimento (vedi elenco nell'allegato I punto 5 della direttiva 2010/31/UE [2]).

Per l'applicazione italiana si è quindi optato per la definizione di edifici virtuali (uno nuovo e due esistenti di diverse epoche), situati in due zone climatiche (B ed E, ai sensi del D.P.R. 412/93 [4]), per quattro tipologie edilizie (abitazione monofamiliare, piccolo condominio, grande condominio, edificio ad uso ufficio). Gli edifici di riferimento sono gli stessi analizzati nella precedente attività: le caratteristiche specifiche di ciascun edificio sono riportate come allegato in [17]. In aggiunta, nella presente attività è stata introdotta una nuova tipologia edilizia esistente ad uso scolastico, situato anch'esso nelle due zone climatiche.

Come banca dati si è fatto riferimento al progetto *TABULA* [18] per gli edifici residenziali della zona climatica E, mentre per gli edifici ad uso ufficio si sono utilizzate tipologie definite da ENEA [21].

La classificazione dei sistemi impiantistici è stata effettuata sulla base dei dati dell'indagine *CRESME* [22] per ENEA in funzione della tipologia di alimentazione, del sistema di emissione dell'aria e del sistema di

regolazione della temperatura per gli impianti di riscaldamento, mentre per quelli di climatizzazione estiva si è considerata la tipologia di impianto e il sistema di regolazione.

Per quanto riguarda il parco edilizio italiano, le tipologie degli edifici residenziali, ad uso ufficio e ad uso scolastico, per le zone climatiche B ed E, nuovi ed esistenti, sono riportate in Tabella 2.1.

Tabella 2.1 Tipologie di edifici individuate per l'applicazione della metodologia *cost-optimal* al caso italiano.

DESTINAZIONE D'USO	TIPOLOGIA EDILIZIA	EPOCA DI COSTRUZIONE		ZONA CLIMATICA		CASI STUDIO
				B	E	
RESIDENZIALE	Abitazione monofamiliare (RMF)	Esistente	1946-1976 (E1)	1	1	18
			1977-1990 (E2)	1	1	
		Nuovo	(N0)	1	1	
	Piccolo condominio (RPC)	Esistente	1946-1976 (E1)	1	1	
			1977-1990 (E2)	1	1	
		Nuovo	(N0)	1	1	
	Grande condominio (RGC)	Esistente	1946-1976 (E1)	1	1	
			1977-1990 (E2)	1	1	
		Nuovo	(N0)	1	1	
TERZIARIO	Edificio ad uso ufficio (UFF)	Esistente	1946-1976 (E1)	1	1	6
			1977-1990 (E2)	1	1	
		Nuovo	(N0)	1	1	
SERVIZI	Edificio ad uso scolastico (SCU)	Esistente	1946-1976 (E1)	1	1	2
				TOTALE		26

2.1 Edifici ad uso residenziale

I modelli degli edifici residenziali comprendono edifici monofamiliari (RMF), piccoli (RPC) e grandi (RGC) condomini, generalmente di forma regolare, caratterizzati da sottotetto non riscaldato o tetto isolato, e primo solaio a contatto, generalmente, con locali non climatizzati (es. garage). Per ogni tipologia edilizia ed epoca è stato individuato un edificio per la zona climatica E; il medesimo edificio è stato utilizzato anche per la zona climatica B, dopo averne modificato le caratteristiche del sistema edilizio (trasmissioni termiche) ed impiantistico (potenze installate e rendimenti) per adattare al differente contesto climatico.

Nelle tabelle seguenti (Tabella 2.2, Tabella 2.3 e Tabella 2.4) si riassumono le caratteristiche geometrico-dimensionali dei modelli degli edifici di riferimento ed i parametri termo-fisici delle strutture costituenti l'involucro edilizio distinti per tipologia, per epoca di costruzione e per zona climatica.

Tabella 2.2 Principali dati degli edifici residenziali di riferimento – tipo monofamiliare.

ID edificio	DATI GEOMETRICI								DATI COSTRUTTIVI				ZONA CLIMATICA
	A_f	V_g	A_{env}	A_w	A_{env}/V_g	$h_{n,interp}$	n. piani	n. u.i.	U_{wall}	U_w	$U_{roof/uf}$	U_{lf}	
	$[m^2]$	$[m^3]$	$[m^2]$	$[m^2]$	$[m^{-1}]$	$[m]$	$[-]$	$[-]$	$[W/m^2 K]$	$[W/m^2 K]$	$[W/m^2 K]$	$[W/m^2 K]$	
RMF_E1 	162	583	437	20	0,75	3,00	2	1	1,18	4,90	2,20	2,00	B
									1,48	4,90	2,20	2,00	E
RMF_E2 	199	725	519	25	0,72	2,70	2	1	1,10	2,80	2,20	1,30	B
									0,76	2,80	1,14	0,98	E
RMF_NO 	97,5	371	368	12,6	0,99	2,70	1	1					B
													E

Tabella 2.3 Principali dati degli edifici residenziali di riferimento – tipo piccolo condominio.

ID edificio	DATI GEOMETRICI								DATI COSTRUTTIVI				ZONA CLIMATICA
	A_f	V_g	A_{env}	A_w	A_{env}/V_g	$h_{n,interp}$	n. piani	n. u.i.	U_{wall}	U_w	$U_{roof/uf}$	U_{lf}	
	$[m^2]$	$[m^3]$	$[m^2]$	$[m^2]$	$[m^{-1}]$	$[m]$	$[-]$	$[-]$	$[W/m^2 K]$	$[W/m^2 K]$	$[W/m^2 K]$	$[W/m^2 K]$	
RPC_E1 	827	3076	1576	150	0,51	3,00	3	12	0,90	4,90	1,65	1,30	B
									1,15	4,90	1,65	1,30	E
RPC_E2 	1088	4136	1994	121	0,48	2,70	3	12	0,98	3,70	1,65	1,60	B
									0,80	3,70	0,97	1,14	E
RPC_NO 	450	1728	1032	64,8	0,60	2,70	3	6					B
													E

Tabella 2.4 Principali dati degli edifici residenziali di riferimento – tipo grande condominio.

ID edificio	DATI GEOMETRICI								DATI COSTRUTTIVI				ZONA CLIMATICA
	A_f	V_g	A_{env}	A_w	A_{env}/V_g	$h_{n,interp}$	n. piani	n. u.i.	U_{wall}	U_w	$U_{roof/uf}$	U_{lf}	
	[m ²]	[m ³]	[m ²]	[m ²]	[m ⁻¹]	[m]	[-]	[-]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	
RGC_E1 	1552	5949	2740	217	0,46	3,00	4	24	0,90	4,90	1,65	1,30	B
									1,15	4,90	1,65	1,30	E
RGC_E2 	3506	12685	4721	363	0,37	2,70	6	48	0,98	3,70	1,65	1,30	B
									0,76	3,70	0,97	0,98	E
RGC_NO 	1788	6662	2834	257	0,43	2,70	8	24					B
													E

2.2 Edifici ad uso ufficio

I modelli degli edifici ad uso ufficio comprendono due tipologie di edifici, caratterizzate da una diversa distribuzione degli spazi interni e caratteri dimensionali, quali metrature e rapporti tra superfici trasparenti e opache. Questi modelli rappresentano degli edifici tipo del Parco Edilizio Nazionale ad uso ufficio, e sono stati strutturati sulla base delle informazioni estrapolate dall'indagine effettuata da CRESME [22] per ENEA e dai risultati del Progetto BEEPS [23].

Sono stati individuati tre edifici di riferimento di dimensioni differenti, rispettivamente di due, cinque e quattro piani. In particolare, l'edificio di due piani è stato definito secondo la tipologia di edificio per uffici con struttura in cemento armato e tamponatura in muratura, caratteristico dell'epoca costruttiva fino agli anni '70 del XX secolo. L'edificio su cinque piani è stato definito secondo la tipologia di edificio che ha iniziato a imporsi a partire dagli anni '70 del XX secolo, contraddistinto da una struttura in cemento armato alternata ad ampie superfici vetrate. Infine, per quanto riguarda l'edificio di quattro piani è contraddistinto da una struttura in cemento armato alternata ad ampie superfici vetrate, ed è considerato come modello principale degli edifici ad uso ufficio di nuova costruzione.

Analogamente agli edifici residenziali, anche nel caso di edifici ad uso ufficio è stata mantenuta la medesima struttura edilizia per le zone climatiche B ed E, ma i sistemi edilizi ed impiantistici sono stati definiti diversamente a seconda delle due differenti condizioni climatiche.

Nelle tabelle seguenti (Tabella 2.5 e Tabella 2.7) si riassumono le caratteristiche geometrico-dimensionali dei modelli di edifici ed i parametri termo-fisici delle strutture costituenti l'involucro edilizio distinti per tipologia, per epoca di costruzione e per zona climatica.

Tabella 2.5 Principali dati degli edifici di riferimento ad uso ufficio.

ID edificio	DATI GEOMETRICI								DATI COSTRUTTIVI				ZONA CLIMATICA
	A_f	V_g	A_{env}	A_w	A_{env}/V_g	$h_{n,interp}$	n. piani	n. u.i.	U_{wall}	U_w	$U_{roof/uf}$	U_{lf}	
	[m ²]	[m ³]	[m ²]	[m ²]	[m ⁻¹]	[m]	[-]	[-]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	
UFF_E1 	363	1339	804	99,8	0,60	2,77	2	-	1,53	4,00	1,20	0,36	B
									1,53	2,60	1,20	0,36	E
UFF_E2 	2007	7200	2340	488	0,32	2,69	5	-	0,50	3,20	0,85	0,25	B
									0,50	3,20	0,85	0,25	E
UFF_N0 	1536	6077	2125	434	0,35	2,70	4	-					B
													E

2.3 Edificio ad uso scolastico

Il nuovo modello di edificio di riferimento introdotto riguarda un edificio ad uso scolastico esistente (Figura 2.1), risalente agli anni Quaranta del Novecento, che si sviluppa su quattro piani fuori terra e un piano seminterrato non riscaldato (Figura 2.2). Le chiusure verticali esterne sono pareti a cassavuota in laterizio pieno, il solaio superiore del corpo edilizio principale è in latero-cemento, non coibentato, e confina con il sottotetto non riscaldato; il primo solaio confina in parte con il terreno e in parte con il piano seminterrato non riscaldato; i serramenti sono di due tipologie: telaio in legno e vetro semplice, originari e deteriorati, e telaio in alluminio e vetro doppio. La Tabella 2.6 riporta i principali dati geometrici relativi all'edificio ad uso scolastico. La Tabella 2.7, invece, riassume le caratteristiche geometrico-dimensionali del modello di edificio ed i parametri termo-fisici delle strutture costituenti l'involucro edilizio distinti per zona climatica.

Figura 2.1 Edificio ad uso scolastico.



Figura 2.2 Edificio ad uso scolastico -impronta a terra ed orientamento principale.

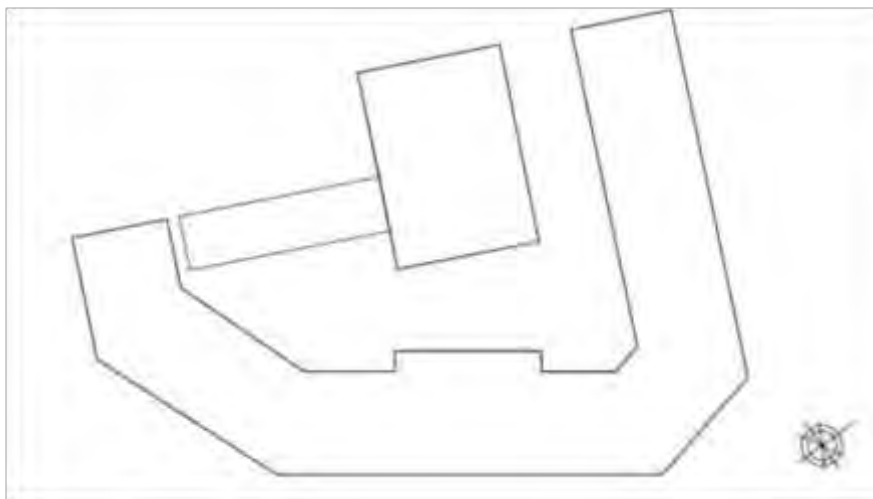


Tabella 2.6 Principali dati geometrici edificio ad uso scolastico.

Caratteristiche geometriche dell'edificio scolastico	
Numero di piani	4
Altezza interpiano [m]	3,70
Pavimento totale (netto) [m ²]	8935
Pavimento totale (lordo) [m ²]	9985
Serramenti [m ²]	1419
Volume netto [m ³]	38374
Volume lordo [m ³]	47223
Superficie lorda disperdente totale [m ²]	11549
S/V	0,24

Tabella 2.7 Principali dati dell'edificio di riferimento a uso scolastico.

ID edificio	DATI GEOMETRICI								DATI COSTRUTTIVI				ZONA CLIMATICA
	A_f	V_g	A_{env}	A_w	A_{env}/V_g	$h_{n,interp}$	n. piani	n. u.i.	U_{wall}	U_w	$U_{roof/uf}$	U_{lf}	
	[m ²]	[m ³]	[m ²]	[m ²]	[m ⁻¹]	[m]	[-]	[-]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	
SCU_E1 	8935	47223	11549	1399	0,24	3,70	4	-	1,41	4,25	1,65	1,26	B
									1,41	4,25	1,65	1,26	E

3 Strumenti di calcolo

3.1 Calcolo dei fabbisogni di energia

L'obiettivo della procedura di calcolo è quello di determinare, tramite le norme CEN di riferimento, il fabbisogno globale annuo di energia in termini di energia primaria, che include il fabbisogno di energia a per il riscaldamento, il raffrescamento, la ventilazione, la produzione di acqua calda sanitaria e l'illuminazione. La procedura comprende le seguenti fasi:

1. calcolo del fabbisogno netto di energia termica per soddisfare i requisiti degli utenti. Ad esempio, in inverno il fabbisogno energetico è calcolato come dispersione di energia termica per trasmissione attraverso l'involucro e per ventilazione meno i guadagni interni (da apparecchiature, sistemi di illuminazione e occupazione) e i guadagni «naturali» di energia (riscaldamento solare passivo);
2. sottrazione dell'energia termica da sorgenti rinnovabili generata e utilizzata in situ (ad esempio, da collettori solari);
3. calcolo del consumo di energia per ciascun uso finale (riscaldamento e raffrescamento di ambienti, acqua calda, illuminazione, ventilazione) e per ciascun vettore di energia (elettricità, combustibili), tenendo conto delle caratteristiche (efficacia stagionale) della produzione, della distribuzione, delle emissioni e dei sistemi di controllo;
4. sottrazione dell'energia elettrica da sorgenti rinnovabili generata e utilizzata in situ (ad esempio, da pannelli fotovoltaici);
5. calcolo dell'energia consegnata all'edificio (*delivered*) per ciascun vettore energetico;
6. calcolo dell'energia primaria associata all'energia consegnata (*delivered*), utilizzando i fattori nazionali di conversione (D.M. 26/06/2015 [1]).

A livello nazionale, la determinazione del fabbisogno di energia degli edifici di riferimento è stata condotta mediante il metodo di calcolo in condizioni quasi-stazionarie della serie UNI/TS 11300 [[8]-[12]]. Le analisi sono state condotte con la serie aggiornata e attualmente in vigore, implementata nei fogli di calcolo *Excel* sviluppati nella precedente attività [17]. Nello specifico, sono state utilizzate le seguenti parti:

- UNI/TS 11300-1:2014 “Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale” [8];
- UNI/TS 11300-2:2014 “Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: 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” [9];
- UNI/TS 11300-3:2010 “Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva” [10];
- UNI/TS 11300-4:2016 “Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria” [11];
- UNI/TS 11300-5:2016 “Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 5: Calcolo dell'energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili” [12].

In aggiunta, per il calcolo del fabbisogno energetico per l'illuminazione in edifici non residenziali si è fatto riferimento alla norma UNI EN 15193:2008 “Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per illuminazione” [14].

Inoltre, è necessario ricordare che la determinazione delle prestazioni energetiche degli edifici, secondo le UNI/TS 11300 è una valutazione di calcolo basata sui dati dei componenti dell'edificio, come assemblati, in

condizioni definite di clima, di uso, di esercizio. Tale scelta non presenta criticità nel caso di valutazioni sul progetto per edifici di nuova costruzione, mentre nel caso di edifici esistenti la mancanza di dati dei componenti e delle modalità di costruzione, il cui accertamento risulta in certi casi non praticabile o comunque eccessivamente costoso, determina difficoltà nella valutazione e classificazione energetica degli edifici. La UNI/TS 11300, in considerazione di tali difficoltà, fornisce dati di riferimento per gli edifici esistenti per i casi in cui non siano disponibili sufficienti informazioni.

Nell'ambito del precedente Piano Annuale di Realizzazione 2012 [17], è stato definito un pacchetto integrato costituito da fogli di calcolo in formato *MS Excel 'user friendly'* per il calcolo dei fabbisogni di energia dei edifici di riferimento. Rispetto al precedente pacchetto, nell'ambito di questo lavoro, sono state apportate delle modifiche e delle integrazioni ai fogli di calcolo. Le maggiori modifiche sono di seguito riportate:

- I fogli di calcolo per la valutazione della prestazione energetica degli edifici sono stati aggiornati secondo le nuove UNI/TS 11300 parti 1, 2, 4 e 5 [8][12];
- Il calcolo della prestazione energetica per l'illuminazione negli edifici non residenziali è stato aggiornato secondo quanto specificato dalla norma tecnica UNI EN 15193-1:2008 [14];
- È stato implementato un foglio per il calcolo del contributo dei ponti termici non eliminabili con le misure di efficienza energetica;
- È stato implementato il calcolo del fabbisogno netto di energia dell'edificio in condizioni di funzionamento dell'impianto di climatizzazione in regime intermittente (utilizzato per la valutazione della prestazione energetica degli edifici non residenziali);
- I dati climatici standard sono stati aggiornati secondo la nuova norma tecnica UNI 10349-1:2016 [15].

3.2 Calcolo del costo globale

Il Regolamento prescrive che i calcoli economici siano effettuati in accordo con la norma UNI EN 15459 [13]. Tale norma distingue tra due metodologie di calcolo: la rendita finanziaria (*annuity cost*) e il costo globale (*global cost*), metodologia che il Regolamento prescrive di seguire.

Il costo globale dell'edificio è valutato in termini di valore attuale netto (abbreviato in VAN). Il VAN è una metodologia molto diffusa per la valutazione finanziaria di progetti a medio/lungo termine tramite cui si definisce il valore attuale di una serie attesa di flussi di cassa, non solo sommandoli contabilmente, ma attualizzandoli sulla base del tasso di rendimento (o tasso di attualizzazione).

Questo meccanismo permette, quindi, un confronto con un investimento nel mercato finanziario con pari rischio: difatti, attualizzando i flussi di cassa si tiene conto delle mancate entrate derivanti dall'uso alternativo delle risorse. Per l'applicazione della metodologia di calcolo del costo globale agli edifici di riferimento, è stato definito un idoneo foglio di calcolo Excel nel pacchetto sopracitato, che consideri quanto segue:

Periodo di calcolo

Il periodo di calcolo è definito in base alla destinazione d'uso dell'edificio. In particolare, per gli edifici residenziali esso corrisponde a 30 anni. Nell'attuale applicazione nazionale della *cost-optimal methodology*, l'anno di partenza per il calcolo è stato fissato nell'anno 2018; pertanto, si assume che nel 2017 venga completata la realizzazione o la ristrutturazione dell'edificio e a partire dal 2018 comincino a incidere i costi annui (costi energetici, manutenzione, ecc...).

Nel caso in cui elementi dell'edificio abbiano una vita utile superiore al periodo di calcolo è necessario valutare il loro valore residuo ipotizzando un deprezzamento lineare nel tempo. Il valore residuo entrerà nel calcolo come un flusso di cassa positivo. Questo concetto è spiegato graficamente nella Figura 3.1.

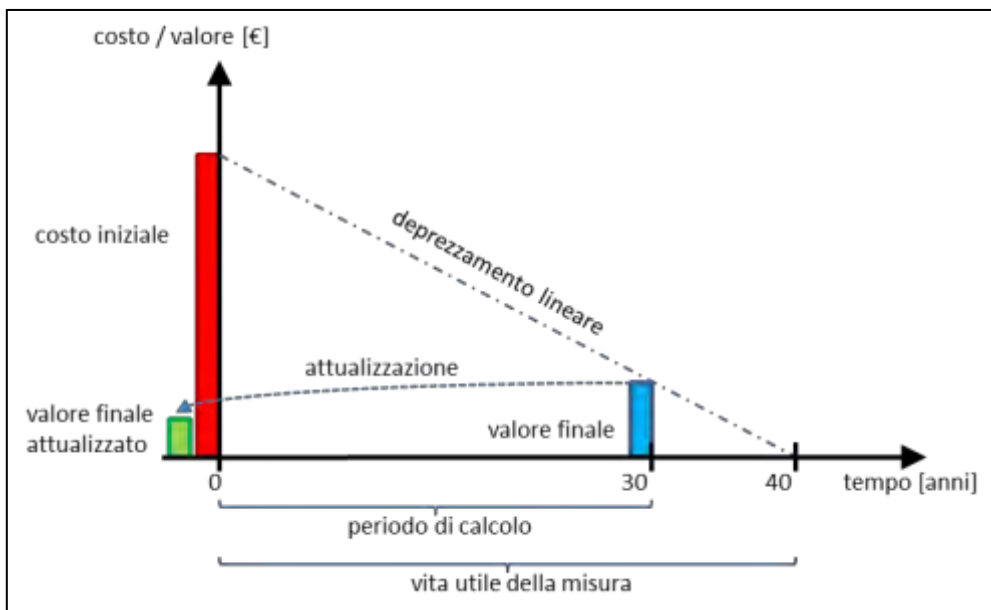


Figura 3.1 Esempio grafico di valutazione del valore finale di una misura.

Se, invece, la vita utile di una misura dovesse risultare inferiore al periodo di calcolo, allora si deve tenere conto del costo di sostituzione della misura, così come mostrato in Figura 3.2. Nell'esempio mostrato il costo di sostituzione è, in termini reali (ovvero al netto dell'inflazione), pari al costo iniziale. A livello del Regolamento questa ipotesi non è vincolante, infatti è possibile tenere conto di una riduzione del costo di alcune misure dovute al progresso tecnologico e alla maggiore diffusione di soluzioni impiantistiche e processi produttivi. Tuttavia, per semplicità, nell'applicazione in Italia della *cost-optimal methodology* si è scelto di non avvalersi di tale possibilità e, coerentemente con l'esempio mostrato, si è sempre assunto il medesimo valore sia per il costo iniziale che per quello di sostituzione. Approccio ben diverso è tenuto per i costi energetici, per i quali, invece, è necessario tenere conto dell'evoluzione del prezzo dei combustibili e dei vettori.

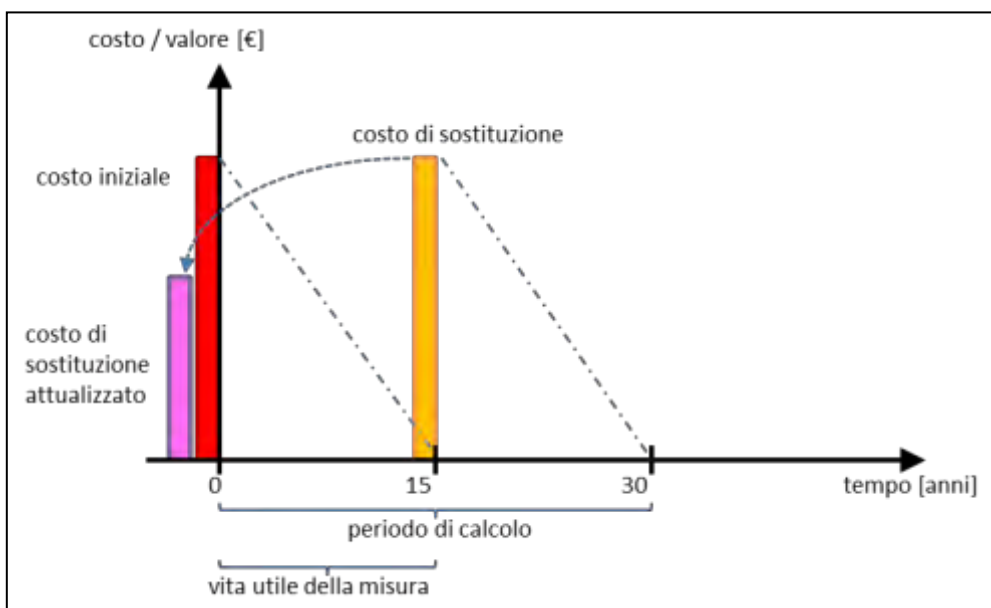


Figura 3.2 Esempio grafico di valutazione del costo di sostituzione di una misura.

In Figura 3.3 è mostrato il caso più complesso in cui l'elemento sostituito ha un vita che eccede il periodo di calcolo, per cui è da calcolarsi il valore residuo della misura sostituita e attualizzare sia il costo del valore residuo che della misura sostituita.

Valutazioni analoghe sono da farsi anche per eventuali costi di smaltimento, che vanno attualizzati come tutti gli altri flussi di cassa. Più delicata da trattare è la situazione in cui il costo di smaltimento interviene per una misura la cui vita utile eccede il periodo di calcolo. Diventa, allora, necessario attualizzare una prima volta il costo di smaltimento dal termine della vita utile alla fine del periodo di calcolo e successivamente attualizzare tale valore all'anno di partenza del periodo di calcolo (a tal proposito si veda la Figura 3.4). Questo meccanismo, apparentemente complicato, è stato creato per rendere chiaro il principio che il flusso di cassa dovuto allo smaltimento della misura interviene al termine della vita utile della misura, anche se questa eccede il periodo di calcolo. Si tratta, quindi, di un artificio per far rientrare il flusso di cassa all'interno del periodo di calcolo. Infatti, da un punto vista matematico, è del tutto uguale effettuare questa doppia attualizzazione o fare un'unica attualizzazione dalla data di fine vita utile della misura all'inizio del periodo di calcolo.

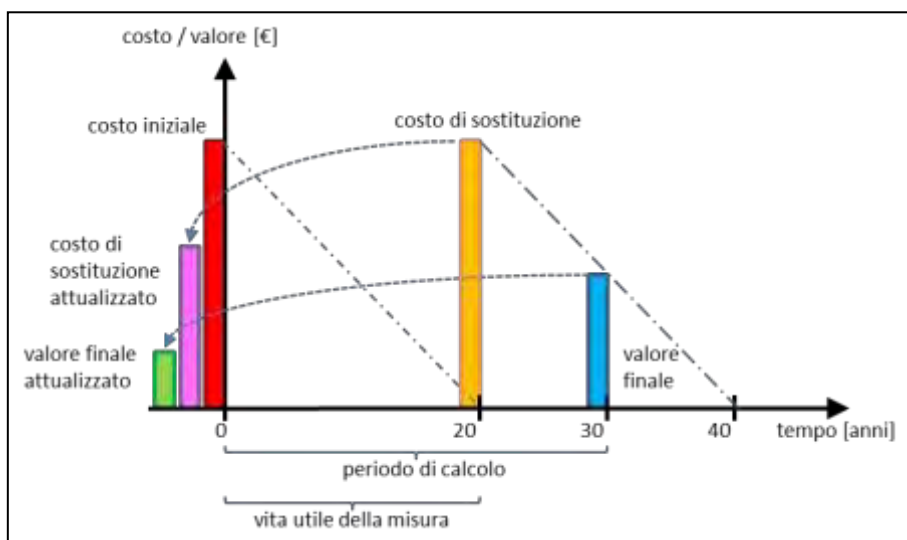


Figura 3.3 Esempio grafico di valutazione del valore finale nel caso di sostituzione di una misura.

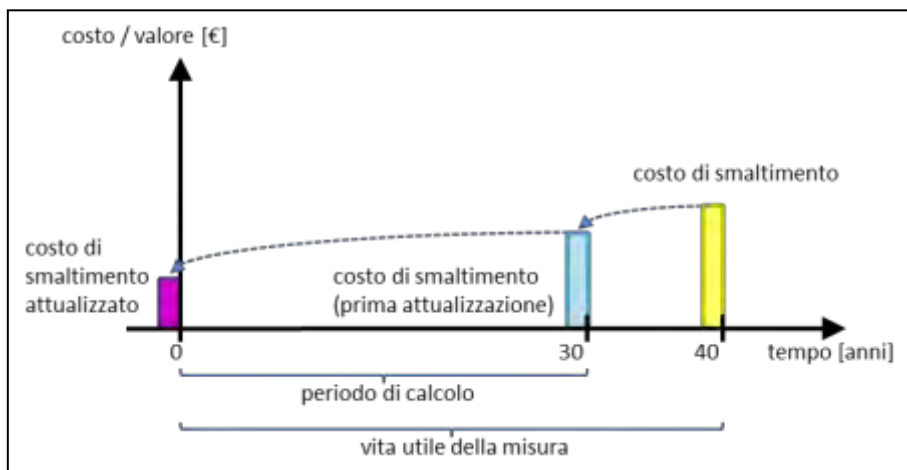


Figura 3.4 Esempio grafico di attualizzazione del costo di smaltimento.

Voci di costo

Lo schema generale delle voci di costo indicato nel Regolamento è mostrato nella Figura 3.5. Tuttavia, lo scopo del calcolo non è determinare il costo dell'edificio in sé, ma confrontare il costo globale risultante dall'applicazione di misure di efficienza energetica o alimentate da fonti rinnovabili. Per questa ragione non sono presi in conto i flussi di cassa dovuti a elementi dell'edificio che non hanno influenza sulla prestazione energetica dell'edificio e che non sono legati direttamente o indirettamente all'adozione di misure. A titolo di esempio non esaustivo, non sono rilevanti ai fini della *cost-optimal methodology* i costi del terreno sui cui è costruito l'edificio, delle fondazioni, della pavimentazione e dell'arredamento. Devono, invece, essere considerati i seguenti flussi di cassa:

- investimento iniziale per la progettazione, l'acquisto, l'installazione e/o la posa in opera delle misure di efficienza energetica o alimentate da fonti rinnovabili;
- costi annui di manutenzione per ciascuna misura;
- costo di sostituzione all'esaurirsi della vita utile della misura se la vita utile è inferiore al periodo di calcolo;
- valore residuo della misura se la vita utile eccede il periodo di calcolo;
- eventuali costi di smaltimento;
- costi energetici;
- costo delle emissioni di CO₂;
- ricavi derivanti dalla vendita di energia elettrica prodotta con moduli fotovoltaici o cogeneratori.

L'approccio adottato è di tipo *full cost*, ovvero si valuta il costo complessivo dell'edificio. Questo approccio è in opposizione a quelli di tipo *additional cost* in cui viene valorizzata solo la differenza tra i flussi di cassa effettivi e quelli di un edificio di riferimento. Nonostante ciò, il Regolamento ammette alcune semplificazioni: in particolare, nel caso in cui alcune voci di costo siano identiche per tutte le misure prese in considerazione su un edificio, è possibile trascurare tali voci.

Per gli edifici esistenti si ipotizza che la ristrutturazione energetica avvenga durante una cosiddetta finestra di opportunità, ovvero contestualmente ad opere di manutenzione straordinaria necessarie per la funzionalità, la sicurezza e il decoro dell'edificio. Questa ipotesi porta con sé importanti semplificazioni giacché alcune voci di costo possono essere così trascurate. Ad esempio, immaginando il già totale rifacimento della facciata, non è necessario tenere conto del costo dovuto dell'impalcatura nel caso di misure di coibentazione delle pareti esterne. Allo stesso modo saranno trascurati i costi legati alle opere di messa a norma e in sicurezza degli impianti termici che non impattano direttamente sulla prestazione energetica.

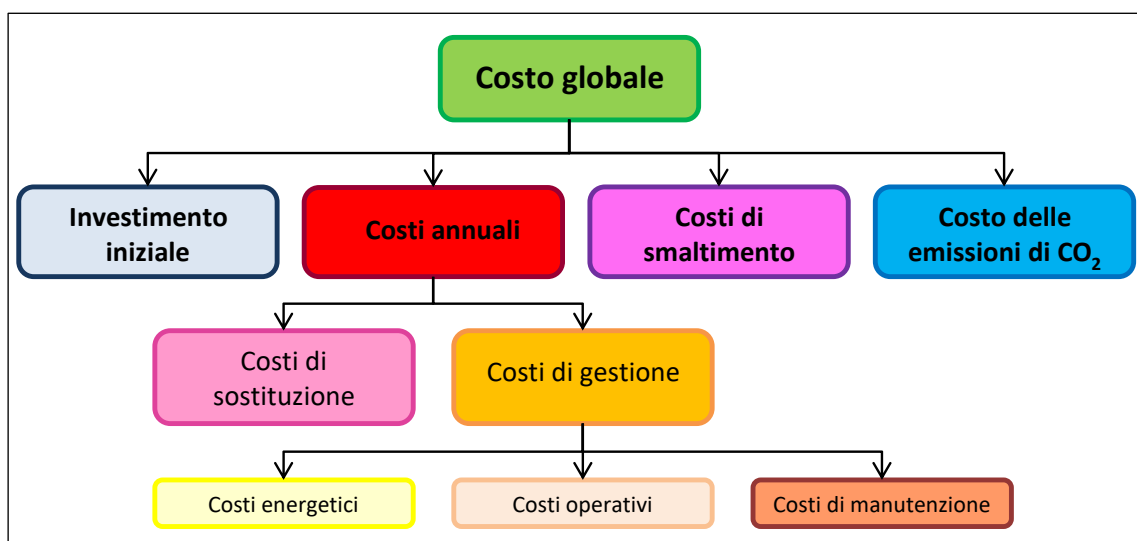


Figura 3.5 Schema delle categorie di costi.

Si noti che questa classificazione si discosta leggermente da quella comunemente utilizzata nelle valutazioni di tipo *lifecycle cost*.

Prospettiva finanziaria e prospettiva macroeconomica

Il Regolamento prescrive che vengano effettuate due distinte valutazioni, l'una basata sulla prospettiva dell'investitore privato che decide di costruire o ristrutturare un edificio (prospettiva finanziaria), l'altra che tenga in conto il punto di vista dello Stato membro (prospettiva macroeconomica).

Nella prospettiva finanziaria rientrano i costi così come sono visti dal cittadino, comprensivi di IVA, accise e tasse in generale, si utilizza un tasso di attualizzazione corrispondente al tasso di interesse del mercato e non sono valorizzati i costi delle emissioni di CO₂. In accordo con il Regolamento che lascia libera scelta allo Stato Membro, si è deciso di non considerare nessuna forma di incentivo o sussidio a causa della continua evoluzione del quadro legislativo in materia e il breve orizzonte temporale di alcuni di essi. Nella presente attività, l'IVA è stata esclusa dal calcolo poiché i costi riportati nella Sezione 5 sono considerati già comprensivi dell'imposta.

La prospettiva macroeconomica si distingue dalla precedente perché tiene in conto i costi delle emissioni di CO₂, utilizza un tasso di attualizzazione inferiore rispetto al tasso di interesse del mercato, e trascura tasse ed incentivi.

L'adozione delle due prospettive, ovviamente, comporterà diversi valori di costo globale per lo stesso edificio e pertanto potrebbe dare risultati diversi anche in termini di livello di prestazione ottimale in funzione dei costi.

Il calcolo, effettuato nella presente attività nella prospettiva finanziaria, è stato affiancato da un'analisi di sensitività (Sezione 6.2), in cui sono stati testati due tassi di attualizzazione, indicati ed evidenziati nella Tabella 3.1.

Tabella 3.1 Tassi di attualizzazione utilizzati.

	Tasso 1	Tasso 2
Prospettiva finanziaria	4%	5%
Prospettiva macroeconomica	3%	4%

Come per il pacchetto di fogli di calcolo per i fabbisogni energetici degli edifici, anche quello riguardante il calcolo del costo globale è stato aggiornato rispetto alla precedente applicazione [17]. In particolare, il

data-base dei costi, comprensivi dei costi d'investimento per le misure di efficienza energetica, i costi di manutenzione e sostituzione dei componenti e dei vettori energetici, è stato aggiornato e integrato secondo quanto specificato nell'analisi dei costi curata dal Comitato Termotecnico Italiano Energia e Ambiente (CTI), nell'ambito dell'aggiornamento dell'applicazione della metodologia di calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica.

3.3 Procedura di ottimizzazione

Una volta calcolato il fabbisogno energetico degli edifici di riferimento si procede, mediante un calcolo iterativo, all'individuazione del pacchetto di interventi che garantisce per quella specifica categoria edilizia il livello ottimale di costo.

A tal fine è stata sviluppata una macro di ottimizzazione che si interfaccia con i fogli per il calcolo del fabbisogno di energia (UNI/TS 11300-1, -2, -3, -4 e -5 [8][12]) e del costo globale. Un foglio ausiliario permette di associare ad ogni pacchetto di interventi individuato dalla procedura di ottimizzazione tutti i dati di input necessari a descrivere l'edificio e a fare i calcoli energetici. Rispetto al *tool* precedente, la macro di ottimizzazione è stata adattata al fine di considerare l'ipotesi di non intervento sugli edifici esistenti, considerando, quindi, la situazione corrispondente allo stato di fatto tra le misure testate (livello 1).

In Figura 3.6 si riporta un quadro riassuntivo della procedura di ottimizzazione adottata.

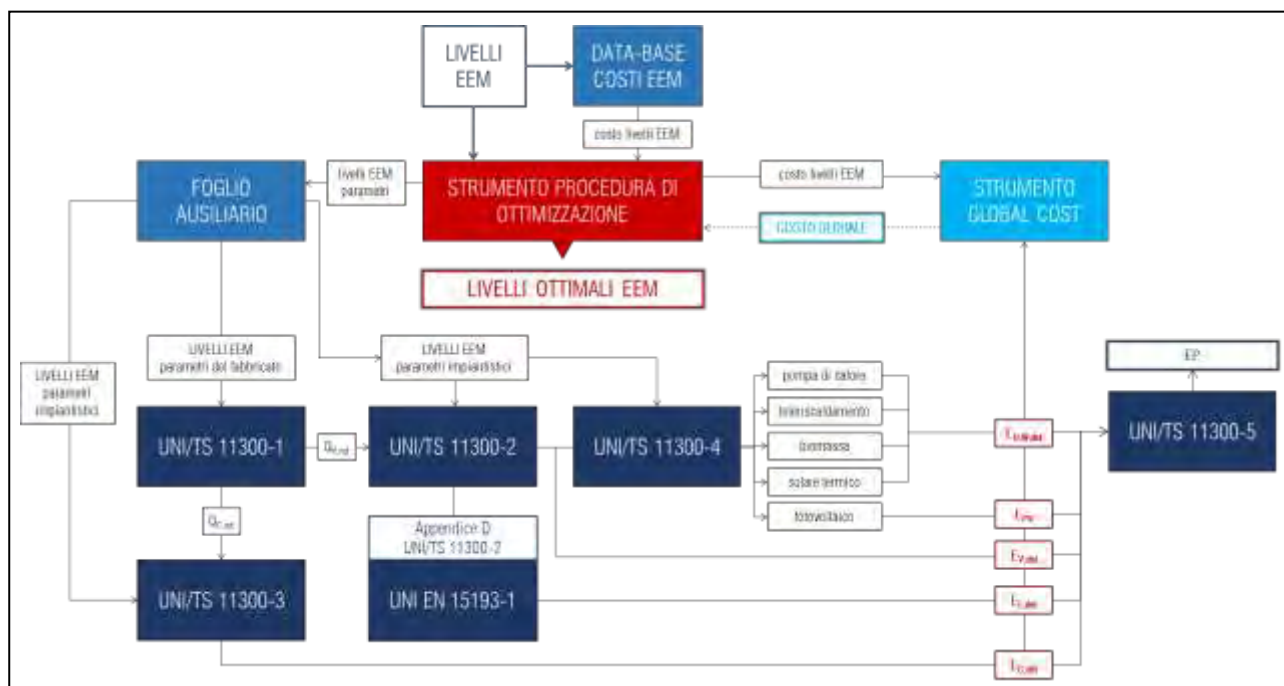


Figura 3.6 La procedura di ottimizzazione e il collegamento tra i fogli di calcolo.

La metodologia di ottimizzazione considera opzioni discrete di efficienza energetica (per esempio, differenti livelli di isolamento termico), applicate una per volta al fine di ottenere per ogni passo del calcolo un nuovo parziale “edificio ottimizzato”.

Si assume come punto di partenza del calcolo iterativo di ottimizzazione un pacchetto di riferimento di opzioni energetiche efficienti; il valore attuale di ciascuna serie di opzioni energetiche efficienti è definita rispetto al set di riferimento. Successivamente la procedura consente di individuare una successione di configurazioni (pacchetti di interventi) che costituiscono “ottimi parziali”. Per passare da un ottimo parziale al successivo vengono modificati, uno alla volta, tutti i parametri che caratterizzano i livelli di ciascuna

misura di efficienza energetica. Tra tutte le configurazioni testate, l'ottimo parziale successivo è quello che consente la maggiore riduzione del costo globale. In Figura 3.7 si riporta il flow-chart della procedura di ottimizzazione.

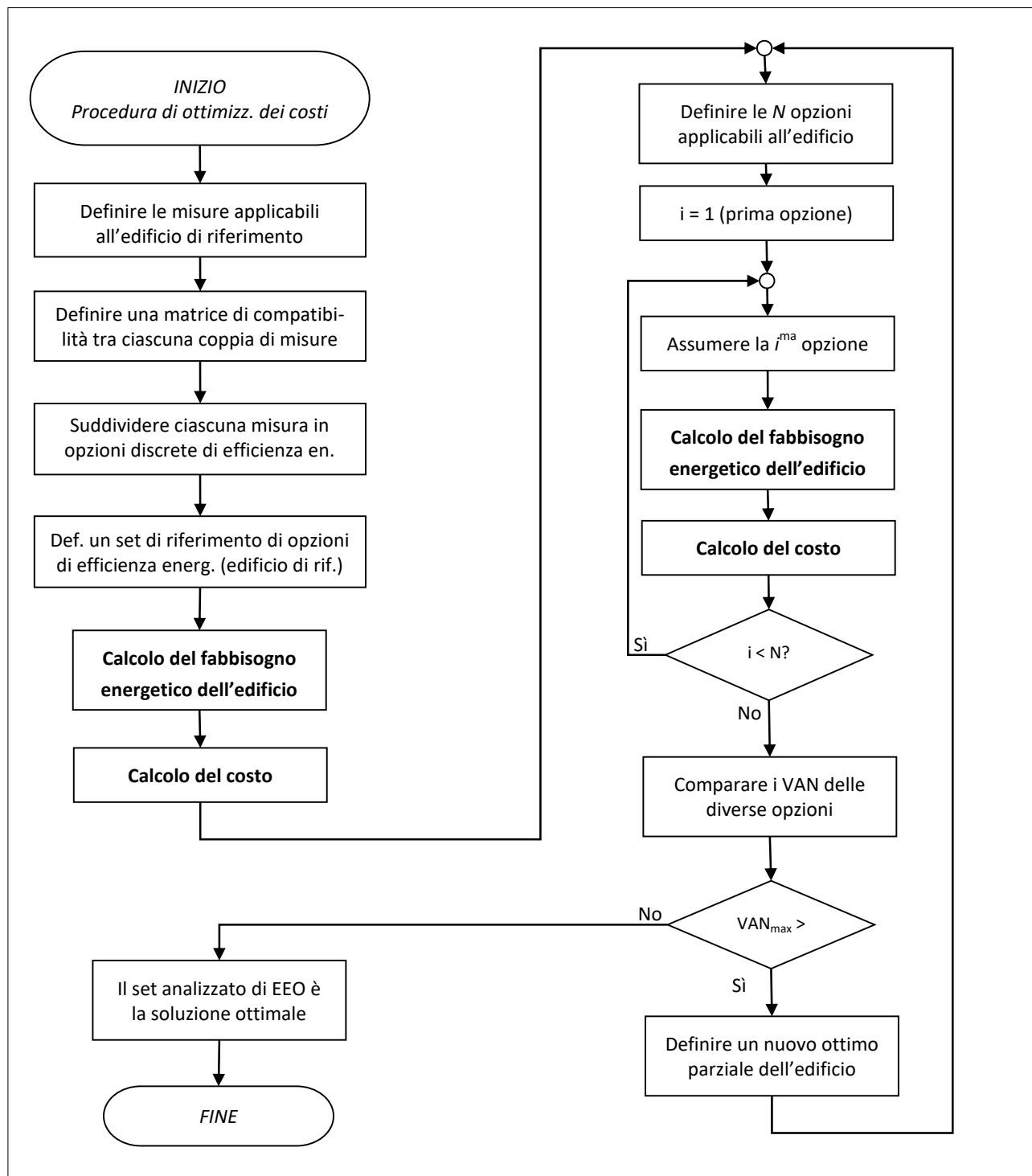


Figura 3.7 Flow-chart della procedura di ottimizzazione.

Nelle successive figure si riportano alcuni esempi di rappresentazione dei risultati. La Figura 3.8 mostra il percorso di ottimizzazione tramite "ottimi parziali" per due differenti scenari di partenza: il percorso di sinistra è ottenuto partendo da un basso livello di efficienza energetica globale dell'edificio, mentre per lo scenario di destra si sono utilizzati i massimi livelli di efficienza energetica per ogni parametro prestazionale

costituente il pacchetto di misure EEM considerato. I risultati mostrano come indipendentemente dal pacchetto, più o meno prestante, dal quale si avvia la procedura di ottimizzazione, i risultati convergono al medesimo valore di costo globale, con scarsi scostamenti in termini di corrispondente fabbisogno di energia primaria.

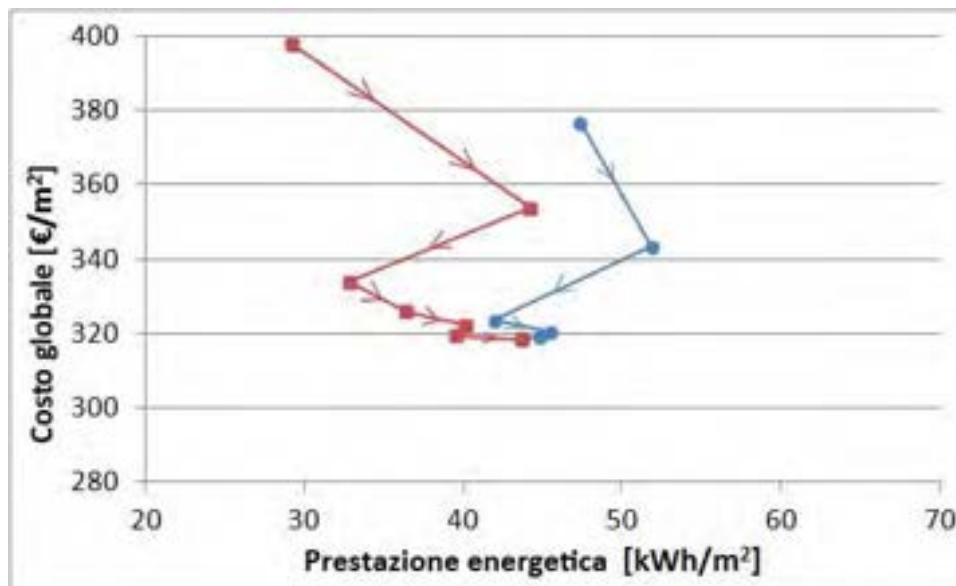


Figura 3.8 Percorso di ottimizzazione per due differenti scenari iniziali di efficienza energetica.

La Figura 3.9 mostra i costi attualizzati (distinti per costo dell'energia, costo d'investimento iniziale e costi operativi e di manutenzione) dei sei ottimi parziali ottenuti dal processo di ottimizzazione, per lo scenario di destra di Figura 3.8. Il sesto ottimo parziale corrisponde al livello ottimale finale.



Figura 3.9 Costi attualizzati dei successivi ottimi parziali in un processo di ottimizzazione.

Applicando differenti scenari iniziali al processo di ottimizzazione, si ottiene quanto riportato in Figura 3.10: i punti più bassi corrispondono allo scenario per il quale si ottiene il minore costo globale, mentre i corrispettivi valori di energia primaria costituiscono un “intervallo ottimale”.

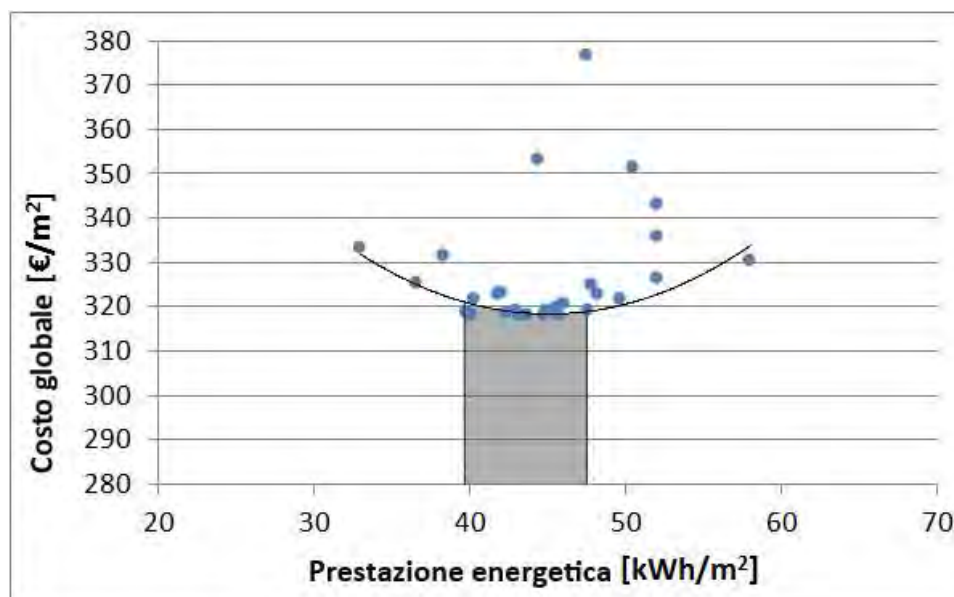


Figura 3.10 Range del livello ottimale in funzione dei costi.

4 Analisi delle misure di efficienza energetica

In base alla Direttiva 2010/31/UE [2] e al Regolamento, gli Stati Membri sono tenuti a definire le misure di efficienza energetica da applicare agli edifici di riferimento definiti. Le misure soggette al calcolo devono riguardare anche i sistemi di fornitura energetica decentrati, la cogenerazione, il teleriscaldamento e il teleraffreddamento e le pompe di calore, oltre a misure basate sull'energia da fonti rinnovabili.

Al fine di prendere in considerazione l'interazione tra le differenti misure (ad esempio isolamento dell'involucro che incide sulla potenza e le dimensioni dei sistemi impiantistici), le misure sono state combinate in pacchetti e/o varianti, per creare sinergie volte ad ottenere risultati migliori (in termini di costi e prestazioni energetiche) rispetto a quelli ottenibili con misure singole.

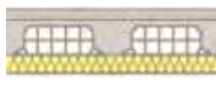
Gli interventi di riqualificazione energetica (EEM) considerati all'interno della metodologia comparativa sono 16 e sono stati raggruppati in tre sottoinsiemi: involucro edilizio opaco e trasparente (Tabella 4.1), impianti di riscaldamento, raffrescamento, ACS, ventilazione e illuminazione (Tabella 4.2) e impianti a fonti rinnovabili (Tabella 4.3). Per ogni intervento sono stati considerati diversi livelli di efficienza energetica delle misure (da 2 a 5), dei quali, il primo rappresenta lo stato di fatto per gli edifici esistenti, e una situazione peggiorativa non conforme alle attuali prescrizioni di legge per i nuovi (es. involucro non isolato), mentre l'ultimo livello considera sempre soluzioni migliorative. I livelli intermedi sono individuati con incrementi crescenti delle prestazioni dei parametri oggetto di valutazione. Il numero di livelli testati è variabile in funzione dell'edificio di riferimento.

A differenza dell'attività precedente [17], sono stati considerati dei costi di investimento più realistici per quanto riguarda gli edifici esistenti, considerando l'ipotesi di non intervenire sullo stato di fatto, rispecchiando meglio, inoltre, le condizioni effettive del patrimonio edilizio nazionale.

4.1 Misure di efficienza energetica dell'involucro

Le misure di efficienza dell'involucro trattano, in particolare, l'isolamento termico dei componenti d'involucro opaco (verticali e orizzontali) e trasparente, come riportato in Tabella 4.1. Sull'involucro trasparente, inoltre, è prevista un'ulteriore misura di efficienza energetica, che consiste nell'installazione o nella sostituzione di un sistema di schermature solari esterne. La tabella seguente (Tabella 4.1) riporta i parametri e il numero di livelli di prestazione energetica considerati.

Tabella 4.1 Misure di efficienza energetica dell'involucro.

N. ID. EEM		MISURE DI EFFICIENZA ENERGETICA		PARAMETRO	N Livelli Max.
INVOLUCRO OPACO	1	Isolamento termico delle chiusure verticali verso l'esterno a cappotto		U_{wall} [W/m ² K]	5
	2	Isolamento termico delle chiusure verticali verso l'esterno in intercapedine (se presente)		U_{wall}^2 [W/m ² K]	5
	3	Isolamento termico delle chiusure orizzontali superiori (ultimo solaio)		$U_{roof/uf}$ [W/m ² K]	5
	4	Isolamento termico delle chiusure orizzontali inferiori (primo solaio)		U_{lf} [W/m ² K]	5
INVOLUCRO TRASPARENTE	5	Installazione di serramenti ad alta prestazione energetica		U_w [W/m ² K]	5
	6	Installazione di schermature solari esterne		τ_{sol} [-]	2

In particolare, per quanto le trasmittanze termiche dei cinque livelli di efficienza delle misure, i valori utilizzati nel calcolo sono stati forniti dall'ENEA, rispettivamente per gli edifici esistenti o di nuova costruzione, e per le due zone climatiche considerate (E – Milano, B – Palermo). La definizione dei valori di ciascun livello è stata eseguita secondo i seguenti criteri:

- Livello 1: per gli edifici esistenti, corrisponde al valore attuale (stato di fatto) di trasmittanza termica (assenza di interventi); per gli edifici di nuova costruzione, invece, corrisponde a valori di trasmittanza termica in assenza di isolamento;
- Livello 2: sia per gli edifici esistenti che di nuova costruzione, corrisponde ad una maggiorazione del 20% dei valori relativi all'edificio di riferimento al 2015 (livello 3). I valori calcolati risultano maggiori dei corrispondenti valori utilizzati nel lavoro precedente [17];
- Livello 3: sia per gli edifici esistenti che di nuova costruzione, corrisponde ai valori relativi dell'edificio di riferimento al 2015;
- Livello 4: sia per gli edifici esistenti che di nuova costruzione, corrisponde ai valori relativi dell'edificio di riferimento al 2019/2021;

- Livello 5: sia per gli edifici esistenti che di nuova costruzione, corrisponde ad una riduzione dei valori di trasmittanza termica del livello 4, rispettivamente del 35% per le chiusure verticali verso l'esterno e per le chiusure orizzontali inferiori e del 20% per le chiusure orizzontali superiori.

La Tabella 4.2 e la Tabella 4.3 riportano i valori delle trasmittanze termiche dei componenti d'involucro considerate, rispettivamente per gli edifici esistenti e di nuova costruzione.

Tabella 4.2 Trasmittanze termiche delle EEM sull'involucro edilizio – edifici esistenti.

EEM	Descrizione EEM	Trasmittanza termica [W/m ² K]									
		Zona climatica B					Zona climatica E				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	Chiusure verticali verso l'esterno	SF	0,54	0,45	0,40	0,26	SF	0,36	0,30	0,28	0,19
2	Chiusure orizzontali superiori	SF	0,41	0,34	0,32	0,26	SF	0,32	0,26	0,24	0,20
3	Chiusure orizzontali inferiori	SF	0,58	0,48	0,42	0,28	SF	0,38	0,31	0,29	0,19
4	Serramenti	SF	3,80	3,20	3,00	1,60	SF	2,30	1,90	1,40	1,10

SF: corrisponde al valore della trasmittanza termica allo stato di fatto.

Tabella 4.3 Trasmittanze termiche delle EEM sull'involucro edilizio – edifici di nuova costruzione.

EEM	Descrizione EEM	Trasmittanza termica [W/m ² K]									
		Zona climatica B					Zona climatica E				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	Chiusure verticali verso l'esterno	1,50	0,54	0,45	0,43	0,28	1,50	0,36	0,30	0,26	0,17
2	Chiusure orizzontali superiori	1,50	0,46	0,38	0,35	0,28	1,50	0,30	0,25	0,22	0,18
3	Chiusure orizzontali inferiori	1,50	0,56	0,46	0,44	0,29	1,50	0,36	0,30	0,26	0,17
4	Serramenti	5,00	3,80	3,20	3,00	1,60	5,00	2,20	1,80	1,40	1,10

Le trasmittanze termiche dei componenti edilizi verso ambienti non climatizzati (EEM2 e EEM3) inserite nel *tool* di calcolo sono le trasmittanze termiche fornite dall'ENEA (Tabella 4.2 e Tabella 4.3) corrette in funzione del fattore di correzione dello scambio di energia termica tra ambienti climatizzato e non climatizzato ($b_{tr,U}$), secondo quanto riportato nella norma tecnica UNI/TS 11300-1 [8].

Poiché le trasmittanze sopra indicate non sono comprensive dei ponti termici, il contributo dei ponti termici non eliminabili tramite le misure di efficienza energetica è stato determinato attraverso l'utilizzo di trasmittanze lineiche ottimali di riferimento, fornite dal Comitato Termotecnico Italiano Energia e Ambiente, in collaborazione con il Gruppo Consultivo CTI "Legge 90". Le trasmittanze lineiche sono state calcolate per tutte le zone climatiche considerando strutture con isolamento tale da raggiungere i valori di trasmittanza in sezione corrente previsti dall'attuale D.M. 26 giugno 2015 [1]. In particolare, per ogni tipologia di ponte termico, per gli edifici di nuova costruzione, è stato considerato un isolante termico posizionato sul lato esterno. Per gli edifici esistenti, invece, è stato considerata l'assenza di isolamento, un isolante termico posizionato sul lato esterno e in intercapedine. Le tabelle seguenti riportano i valori di trasmittanza lineica dei ponti termici considerati relative sia alle dimensioni interne (Ψ_{int}) che esterne (Ψ_{est}), per le due zone termiche analizzate, e distinte per edifici esistenti (Tabella 4.4) e di nuova costruzione (Tabella 4.5).

Tabella 4.4 Trasmittanze termiche lineiche dei ponti termici di riferimento – edifici esistenti.

Ponte termico	Assenza di isolamento				Isolamento lato esterno				Isolamento in intercapedine			
	Ψ_{int} [W/mK]		Ψ_{est} [W/mK]		Ψ_{int} [W/mK]		Ψ_{est} [W/mK]		Ψ_{int} [W/mK]		Ψ_{est} [W/mK]	
	B	E	B	E	B	E	B	E	B	E	B	E
Pilastro	0,585	0,585	0,585	0,585	0,051	0,025	0,051	0,025	0,849	0,849	0,849	0,849
Solaio interpiano	0,739	0,739	0,329	0,329	0,189	0,127	0,032	0,015	0,757	0,757	0,579	0,579
Aggancio balcone	0,680	0,680	0,289	0,289	0,590	0,578	0,441	0,472	0,695	0,695	0,526	0,526
Angolo	0,359	0,359	-0,294	-0,294	0,200	0,156	-0,094	-0,075	0,463	0,463	0,180	0,180
Parete interna	0,108	0,108	-0,001	-0,001	0,041	0,029	0	0	0,047	0,047	0	0
Copertura	0,515	0,515	-0,356	-0,356	0,506	0,513	0,210	0,278	0,567	0,567	-0,095	-0,095
Angolo convesso	-0,185	-0,185	0,467	0,467	-0,233	-0,189	0,062	0,041	0,257	0,257	0,541	0,541
Finestra	-0,040	-0,040	-0,040	-0,040	0,083	0,115	0,083	0,115	-0,082	-0,082	-0,082	-0,082

Tabella 4.5 Trasmittanze termiche lineiche dei ponti termici di riferimento – edifici di nuova costruzione.

Ponte termico	Ψ_{int} [W/mK]		Ψ_{est} [W/mK]	
	B	E	B	E
Pilastro in linea	0,181	0,050	0,181	0,050
Angolo sporgente con pilastro	0,245	0,158	-0,062	-0,053
Angolo rientrante con pilastro	-0,192	-0,166	0,114	0,045
Nodo parete corrente – Solaio interpiano	0,372	0,158	0,194	0,054
Nodo parete – Copertura	0,469	0,293	0,176	0,087
Nodo parete – Solaio contro terra fondazione	0,133	0,148	-0,077	-0,012
Nodo parete corrente – Balcone	0,570	0,398	0,391	0,293
Nodo pilastro parete – Balcone	2,087	0,815	1,920	0,711
Nodo balcone con portafinestra	0,697	0,540	0,519	0,435
Finestra, davanzale	0,098	0,104	0,098	0,104
Finestra, spalla laterale	0,072	0,081	0,072	0,081
Finestra, architrave	0,115	0,123	0,115	0,123
Finestra, cassonetto	0,279	0,219	0,279	0,219

Per quanto riguarda l'installazione di nuovi serramenti o la sostituzione di quelli esistenti, le tecnologie considerate sono serramenti con vetro camera basso emissivo e due tipi di telaio, rispettivamente in legno e in alluminio. In fase di valutazione, i serramenti con telaio in legno sono stati applicati agli edifici residenziali, mentre quelli con telaio in alluminio sono stati applicati agli edifici non residenziali.

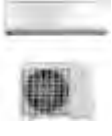
Infine, per quanto riguarda l'installazione di sistemi di schermatura solare, poiché il D.M. 26 giugno 2015 [1] impone un fattore di trasmissione solare totale per i componenti finestrati con orientamento Est, Sud e Ovest, nel *tool* di calcolo le schermature solari vengono applicate solo nei quadranti sopracitati, ad esclusione, quindi, del quadrante Nord.

Le due opzioni di efficienza energetica relative alle schermature di riferiscono ad un unico valore del parametro τ_{sol} (pari a 0,2), ma a due alternative, una a lamelle fisse (frangisole) e una a lamelle mobili (veneziane), entrambe ipotizzate sul lato esterno del serramento.

4.2 Misure di efficienza energetica degli impianti di riscaldamento, raffrescamento e ACS

Le misure di efficienza degli impianti trattano della sostituzione o dell'installazione di generatori ad alta efficienza per il riscaldamento, il raffrescamento e l'acqua calda sanitaria, dell'installazione di un impianto di ventilazione meccanica con recuperatore di calore e di sistemi di regolazione ad alta efficienza. Vengono considerate, inoltre, misure sull'impianto di illuminazione, nel caso di edifici non residenziali. La Tabella 4.6 riporta i parametri e il numero di livelli di prestazione energetica considerati.

Tabella 4.6 Misure di efficienza energetica degli impianti di riscaldamento, raffrescamento, ventilazione, acqua calda sanitaria e illuminazione.

N. ID. EEM	MISURE DI EFFICIENZA ENERGETICA		PARAMETRO	N Livelli Max.
RISCALDAMENTO, RAFFRESCAMENTO, ACS, VENTILAZIONE E ILLUMINAZIONE	7	Installazione di macchina frigorifera aria-aria (multi-split)	 EER [-]	2
	8	Installazione di generatore di energia termica per riscaldamento	 $\eta_{H,gn}$ /COP [-]	5
	9	Installazione di generatore di energia termica per ACS	 $\eta_{W,gn}$ /COP [-]	3
	10	Installazione di generatore di energia termica combinato per riscaldamento e ACS	 $\eta_{H+W,gn}$ /COP [-]	3
	11	Installazione di pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e ACS (con ventilconvettori)	COP [-]	2
			EER [-]	2
	14	Recupero termico sulla ventilazione	 η_{hru} [-]	3
	15	Installazione di sistema di regolazione ad alta precisione per riscaldamento e raffrescamento	 η_{rg} [-]	4
	16	Installazione di apparecchi illuminanti ad alta efficienza	 PN [W/m ²]	3
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F_o [-]	
		Fattore di dipendenza dal daylight	F_D [-]	
		Fattore di illuminamento costante	F_C [-]	

Per quanto riguarda le misure di efficienza energetica relative ai sistemi impiantistici (Tabella 4.6) e agli impianti a fonti rinnovabili (descritti sezione seguente), il *tool* di calcolo considera diverse tecnologie e diverse integrazioni delle stesse, come riportato in Tabella 4.7.

Tabella 4.7 Tecnologie impiantistiche inserite nel *tool* di calcolo.

EEM7: Installazione di macchina frigorifera		
Macchina frigorifera aria-aria (multi-split)	Con/senza sostituzione del sottosistema di regolazione: - Zona - Ambiente - Zona + climatica	
EEM8: Installazione di generatore di energia termica per riscaldamento		
Caldaia standard	Con/senza sostituzione dei terminali di emissione: - Ventilconvettori - Pannelli radianti - Radiatori	Con/senza sostituzione del sottosistema di regolazione: - Zona - Ambiente - Zona + climatica
Caldaia a condensazione		
Caldaia a biomassa ¹		
Teleriscaldamento		
Pompa di calore aria-acqua, a compressione		
¹ È prevista l'integrazione di un sistema di accumulo		
EEM9: Installazione di generatore di energia termica per ACS		
Caldaia standard	È prevista l'integrazione di un sistema di accumulo	
Caldaia a condensazione		
Pompa di calore aria-acqua, a compressione		
EEM10: Installazione di generatore di energia termica combinato per riscaldamento e ACS		
Caldaia standard	Con/senza sostituzione dei terminali di emissione: - Ventilconvettori - Pannelli radianti - Radiatori	Con/senza sostituzione del sottosistema di regolazione: - Zona - Ambiente - Zona + climatica
Caldaia a condensazione		
Caldaia a biomassa ¹		
Teleriscaldamento		
Pompa di calore aria-acqua, a compressione		
¹ È prevista l'integrazione di un sistema di accumulo		
EEM11: Installazione di generatore di energia termica combinato per riscaldamento, raffrescamento e ACS		
Pompa di calore aria-acqua, a compressione, reversibile	Con/senza sostituzione dei terminali di emissione: - Ventilconvettori	Con/senza sostituzione del sottosistema di regolazione: - Zona - Ambiente - Zona + climatica
EEM12: Installazione di collettori solari (solo per ACS)		
Collettore a tubi sottovuoto con assorbitore piano	Utilizzo: - Solo riscaldamento - Solo ACS - Riscaldamento + ACS	È prevista l'integrazione di un sistema di accumulo
Collettore a tubi sottovuoto con assorbitore circolare		
Collettore piano vetrato		
Collettore non vetrato		
EEM13: Installazione di pannelli fotovoltaici		
È prevista l'integrazione di un sistema fotovoltaico per la produzione di energia elettrica		

EEM15: Installazione di sistema di regolazione ad alta precisione per riscaldamento e raffrescamento	
È prevista l'integrazione di un sistema di ventilazione meccanica con recuperatore di calore	
EEM16: Installazione di sistema di regolazione dell'impianto di illuminazione	
Tubolari fluorescenti	È prevista l'integrazione di un sistema di controllo (fattori F_C , F_D , F_O secondo norma UNI EN 15193 [14]).
LED	

Delle tecnologie riportate, a valle di analisi di fattibilità tecnica ed economica, nella presente attività ne sono state considerate solo alcune, in particolare:

- Per le misure EEM8 e EEM10, le caldaie tradizionali a bassa temperatura, le caldaie a condensazione e le pompe di calore aria-acqua, escludendo il teleriscaldamento e le caldaie a biomassa;
- Per i pannelli solari termici, collettori a tubi sottovuoto con assorbitore piano.

Poiché le configurazioni impiantistiche non sono generalizzabili per tutte le tipologie di edifici, nell'applicazione delle misure di efficienza energetica agli edifici di riferimento sono state proposte delle combinazioni sulla base di quello che viene più comunemente realizzato. Ad eccezione della misura EEM7 che si riferisce al solo raffrescamento e prevede dei sistemi multisplit in tutti gli edifici di riferimento (esclusa l'edificio ad uso scolastico), per tutte le altre misure relative ai sistemi impiantistici, sono state testate diverse configurazioni, e relative tecnologie, come riportato in Tabella 4.8. Nello specifico con configurazione impiantistica si intende se la produzione di riscaldamento e acqua calda sanitaria è combinata o separata.

Per gli edifici residenziali, la valutazione energetica è stata condotta in regime di funzionamento continuo dell'impianto di climatizzazione; invece, per gli edifici non residenziali, è stato considerato un regime di funzionamento intermittente.

Tabella 4.8 Configurazioni impiantistiche e relative tecnologie per gli edifici di riferimento.

Edificio		Configurazione impiantistica	EEM			
			8	9	10	11
Residenziale monofamiliare	Nuovo	Produzione separata	Pompa di calore centralizzata	Caldaia a condensazione/a bassa temperatura centralizzata		
		Produzione combinata			Caldaia a condensazione centralizzata	
	Esistente	Produzione separata	Pompa di calore centralizzata	Caldaia a condensazione/a bassa temperatura centralizzata		
		Produzione combinata			Caldaia a condensazione/a bassa temperatura centralizzata	
						Pompa di calore centralizzata
Piccolo/grande condominio	Nuovo	Produzione separata	Caldaia a condensazione/pompa di calore centralizzata	Caldaia a condensazione/a bassa temperatura autonoma		
		Produzione combinata			Caldaia a condensazione autonoma	
	Esistente	Produzione separata	Caldaia a condensazione/a bassa temperatura/pompa di calore centralizzata	Caldaia a condensazione/a bassa temperatura autonoma		
		Produzione combinata			Caldaia a condensazione/a bassa temperatura autonoma	
Edificio ad uffici	Nuovo	Produzione combinata			Caldaia a condensazione/a bassa temperatura centralizzata	
						Pompa di calore centralizzata
	Esistente	Produzione combinata			Caldaia a condensazione/a bassa temperatura centralizzata	
						Pompa di calore centralizzata
Edificio scolastico	Esistente	Produzione combinata			Caldaia a condensazione/a bassa temperatura centralizzata	

4.3 Misure di efficienza energetica degli impianti a fonti rinnovabili

Per quanto riguarda, infine, le misure sugli impianti a fonti rinnovabili, queste consistono nell'installazione di un sistema a collettori solari per la sola produzione di acqua calda sanitaria, e di un sistema a pannelli fotovoltaici. La Tabella 4.9 riporta i parametri e il numero di livelli di prestazione energetica considerati.

Tabella 4.9 Misure di efficienza energetica relative agli impianti a fonti rinnovabili.

N. ID. EEM		MISURE DI EFFICIENZA ENERGETICA		PARAMETRO	N Livelli Max.
FONTI RINNOVABILI	12	Installazione di collettori solari (solo per ACS)		A_{coll} [m ²]	4
	13	Installazione di pannelli fotovoltaici		W_p [kW _p]	4

Per queste misure, i diversi livelli rappresentano delle variazioni ai parametri corrispondenti prescritti dal Decreto Legislativo 3 marzo 2011, n. 28 [5], sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, considerati a loro volta come livello centrale. In particolare, per quanto riguarda il solare termico, i diversi livelli corrispondono a diverse coperture del fabbisogno di acqua calda sanitaria; per il fotovoltaico, invece, i livelli corrispondono ad una variazione di $\pm 20\%$ rispetto al valore limite centrale.

4.4 Misure di efficienza energetica applicate agli edifici di riferimento

Per ciascun edificio di riferimento, da Tabella 4.10 a Tabella 4.35 si riportano i valori dei parametri per ciascun livello delle misure di efficienza energetica.

Tabella 4.10 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio monofamiliare nuovo – zona climatica E (Milano).

Tipologia: Edificio Monofamiliare									
Epoca: Nuovo									
Zona climatica: E (Milano)									
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	Livello di EEM				
					1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	5	1,50	0,36	0,30	0,26	0,17
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m^2K)	$U_{w,c}$	-	-	-	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_r	5	1,67	0,43	0,36	0,31	0,26
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_f	5	2,50	0,60	0,50	0,43	0,28
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	5	3,80	2,20	1,80	1,40	1,10
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	2	fissa	mobile	-	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	1	3,30	-	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	$\eta_{gn,H}$	2	3,7 + fancoil	4,1 + pan rad	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	$\eta_{gn,W}$	2	0,93	1	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η_{gn}	1	1,00 + pan rad	-	-	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	2	3,1 + fancoil	4,1 + fancoil	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		2,9	3,5	-	-	-
12	Impianto solare termico	m^2 di collettori solari	m^2	3	1	2	3	-	-
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata	kWp	3	2	2,5	3	-	-
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η_r	3	0,6	0,7	0,9	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	η_{ctr}	3	1	2	3	-	-
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m^2)	PN	-	-	-	-	-	-
17	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F_o		-	-	-	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F_c		-	-	-	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F_D		-	-	-	-	-

Tabella 4.11 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio monofamiliare nuovo – zona climatica B (Milano).

Tipologia: Edificio Monofamiliare									
Epoca: Nuovo									
Zona climatica: B (Palermo)									
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	Livello di EEM				
					1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	5	1,50	0,54	0,45	0,43	0,28
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m^2K)	$U_{w,c}$	-	-	-	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_r	5	1,67	0,66	0,54	0,50	0,40
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_f	5	2,50	0,93	0,77	0,73	0,48
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	5	5,00	3,80	3,20	3,00	1,60
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	2	fissa	mobile	-	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	1	3,30	-	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	$\eta_{gn,H}$	2	3,7 + fancoil	4,1 + pan rad	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	$\eta_{gn,W}$	2	0,93	1	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η_{gn}	1	1,00 + pan rad	-	-	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	2	3,1 + fancoil	4,1 + fancoil	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		2,9	3,5	-	-	-
12	Impianto solare termico	m^2 di collettori solari	m^2	3	1	2	3	-	-
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata	kWp	3	2	2,5	3	-	-
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η_r	3	0,6	0,7	0,9	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	η_{ctr}	3	1	2	3	-	-
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m^2)	PN	-	-	-	-	-	-
17	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F_o		-	-	-	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F_c		-	-	-	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F_D		-	-	-	-	-

Tabella 4.12 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio monofamiliare esistente (1946-76) – zona climatica E (Milano).

Tipologia: Edificio Monofamiliare									
Epoca: 1946-76									
Zona climatica: E (Milano)									
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	Livello di EEM				
					1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	5	SF (*)	0,36	0,30	0,28	0,19
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _{w,c}	-	-	-	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _r	5	SF	0,32	0,26	0,24	0,20
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _f	5	SF	0,84	0,69	0,64	0,42
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	5	SF	2,30	1,90	1,40	1,10
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	3	SF	fissa	mobile	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2	SF	3,30	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	η _{gn,H}	2	3,7 + fancoil	4,1 + fancoil	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	η _{gn,W}	2	0,93	1,00	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η _{gn}	3	SF	0,93 + radiat.	1,00 + fancoil	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	1	4,1 + fancoil	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		3,5	-	-	-	-
12	Impianto solare termico	m ² di collettori solari	m ²	4	SF	1	2	3	-
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata	kWp	4	SF	1,36	1,7	2,04	-
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η _r	-	-	-	-	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	η _{ctr}	4	SF	1	2	3	-
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN	-	-	-	-	-	-
17	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O		-	-	-	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F _C		-	-	-	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F _D		-	-	-	-	-

(*) I livelli riportanti la sigla SF corrispondono alla situazione allo stato di fatto

Tabella 4.13 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio monofamiliare esistente (1946-76) – zona climatica B (Palermo).

Tipologia: Edificio Monofamiliare									
Epoca: 1946-76									
Zona climatica: B (Palermo)									
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	Livello di EEM				
					1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	5	SF (*)	0,54	0,45	0,40	0,26
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m^2K)	$U_{w,c}$	-	-	-	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_r	5	SF	0,41	0,34	0,32	0,26
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_f	5	SF	1,29	1,07	0,93	0,62
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	5	SF	3,80	3,20	3,00	1,60
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	3	SF	fissa	mobile	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2	SF	3,30	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	$\eta_{gn,H}$	2	3,7 + fancoil	4,1 + fancoil	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	$\eta_{gn,W}$	2	0,93	1,00	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η_{gn}	3	SF	0,93 + radiat.	1,00 + fancoil	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	1	4,1 + fancoil	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		3,5	-	-	-	-
12	Impianto solare termico	m^2 di collettori solari	m^2	4	SF	1	2	3	-
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata	kWp	4	SF	1,36	1,7	2,04	-
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η_r	-	-	-	-	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	η_{ctr}	4	SF	1	2	3	-
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m^2)	PN	-	-	-	-	-	-
17	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F_o		-	-	-	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F_c		-	-	-	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F_D		-	-	-	-	-

(*) I livelli riportanti la sigla SF corrispondono alla situazione allo stato di fatto

Tabella 4.14 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio monofamiliare esistente (1977-90) – zona climatica E (Milano).

Tipologia: Edificio Monofamiliare									
Epoca: 1977-90									
Zona climatica: E (Milano)									
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	Livello di EEM				
					1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	5	SF (*)	0,36	0,30	0,28	0,19
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _{w,c}	1	0,27	-	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _r	5	SF	0,32	0,26	0,24	0,20
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _f	5	SF	0,63	0,52	0,48	0,32
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	5	SF	2,30	1,90	1,40	1,10
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	3	SF	fissa	mobile	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2	SF	3,30	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	η _{gn,H}	2	3,7 + fancoil	4,1 + fancoil	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	η _{gn,W}	2	0,93	1,00	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η _{gn}	3	SF	0,93 + radiator i	1,00 + fancoil	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	1	4,1 + fancoil	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		3,5	-	-	-	-
12	Impianto solare termico	m ² di collettori solari	m ²	4	SF	1	2	3	-
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata	kWp	4	SF	1,36	1,7	2,04	-
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η _r	-	-	-	-	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	η _{ctr}	4	SF	1	2	3	-
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN	-	-	-	-	-	-
17	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O		-	-	-	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F _C		-	-	-	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F _D		-	-	-	-	-

(*) I livelli riportanti la sigla SF corrispondono alla situazione allo stato di fatto

Tabella 4.15 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio monofamiliare esistente (1977-90) – zona climatica B (Palermo).

Tipologia: Edificio Monofamiliare									
Epoca: 1977-90									
Zona climatica: B (Palermo)									
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	Livello di EEM				
					1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	5	SF	0,54	0,45	0,40	0,26
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m^2K)	$U_{w,c}$	1	0,37	-	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_r	5	SF	0,41	0,34	0,32	0,26
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_f	5	SF	0,97	0,80	0,70	0,47
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	5	SF	3,80	3,20	3,00	1,60
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	3	SF	fissa	mobile	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2	SF	3,30	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	$\eta_{gn,H}$	2	3,7 + fancoil	4,1 + fancoil	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	$\eta_{gn,W}$	2	0,93	1,00	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η_{gn}	3	SF	0,93 + radiator i	1,00 + fancoil	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	1	4,1 + fancoil	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		3,5	-	-	-	-
12	Impianto solare termico	m^2 di collettori solari	m^2	4	SF	1	2	3	-
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata	kWp	4	SF	1,36	1,7	2,04	-
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η_r	-	-	-	-	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	η_{ctr}	4	SF	1	2	3	-
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m^2)	PN	-	-	-	-	-	-
17	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F_o		-	-	-	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F_c		-	-	-	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F_D		-	-	-	-	-

(*) I livelli riportanti la sigla SF corrispondono alla situazione allo stato di fatto

Tabella 4.16 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: piccolo condominio nuovo – zona climatica E (Milano).

Tipologia: Piccolo condominio									
Epoca: Nuovo									
Zona climatica: E (Milano)									
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	Livello di EEM				
					1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	5	1,50	0,36	0,30	0,26	0,17
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _{w,c}	-	-	-	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _r	5	1,67	0,43	0,36	0,31	0,26
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _f	5	2,50	0,60	0,50	0,43	0,28
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	5	3,80	2,20	1,80	1,40	1,10
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	2	fissa	mobile	-	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	1	3,00	-	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	η _{gn,H}	3	1,00 + pan rad	3,7 + fancoil	4,1 + pan rad	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	η _{gn,W}	2	0,93	1,00	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η _{gn}	1	1,00 + pan rad	-	-	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	-	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		-	-	-	-	-
12	Impianto solare termico	m ² di collettori solari	m ²	3	7	12	17	-	-
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata	kWp	3	3,2	4	4,8	-	-
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η _r	3	0,6	0,7	0,9	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	η _{ctr}	3	1	2	3	-	-
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN	-	-	-	-	-	-
17	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O		-	-	-	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F _C		-	-	-	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F _D		-	-	-	-	-

Tabella 4.17 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: piccolo condominio nuovo – zona climatica B (Milano).

Tipologia: Piccolo condominio									
Epoca: Nuovo									
Zona climatica: B (Palermo)									
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	Livello di EEM				
					1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	5	1,50	0,54	0,45	0,43	0,28
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m^2K)	$U_{w,c}$	-	-	-	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_r	5	1,67	0,66	0,54	0,50	0,40
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_f	5	2,50	0,93	0,77	0,73	0,48
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	5	5,00	3,80	3,20	3,00	1,60
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	2	fissa	mobile	-	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	1	3,00	-	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	$\eta_{gn,H}$	3	1,00 + pan rad	3,7 + fancoil	4,1 + pan rad	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	$\eta_{gn,W}$	2	0,93	1,00	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η_{gn}	1	1,00 + pan rad	-	-	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	-	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		-	-	-	-	-
12	Impianto solare termico	m^2 di collettori solari	m^2	3	7	12	17	-	-
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata	kWp	3	3,2	4	4,8	-	-
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η_r	3	0,6	0,7	0,9	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	η_{ctr}	3	1	2	3	-	-
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m^2)	PN	-	-	-	-	-	-
17	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F_o		-	-	-	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F_c		-	-	-	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F_D		-	-	-	-	-

Tabella 4.18 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: piccolo condominio esistente (1946-76) – zona climatica E (Milano).

Tipologia: Piccolo condominio									
Epoca: 1946-76									
Zona climatica: E (Milano)									
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	Livello di EEM				
					1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	5	SF (*)	0,36	0,30	0,28	0,19
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _{w,c}	1	0,37	-	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _r	5	SF	0,46	0,37	0,34	0,29
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _f	5	SF	0,63	0,52	0,48	0,32
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	5	SF	2,30	1,90	1,40	1,10
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	3	SF	fissa	mobile	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2	SF	3,00	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	η _{gn,H}	5	SF	0,94 + radiator i	1,00 + fancoil	3,7 + fancoil	4,1 + fancoil
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	η _{gn,W}	3	SF	0,93	1,00	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η _{gn}	2	0,93 + radiator i	1,00 + fancoil	-	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	-	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		-	-	-	-	-
12	Impianto solare termico	m ² di collettori solari	m ²	4	SF	7	12	17	
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata	kWp	4	SF	5,6	7	8,4	
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η _r	-	-	-	-	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	η _{ctr}	4	SF	1	2	3	
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN	-	-	-	-	-	-
17	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O		-	-	-	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F _C		-	-	-	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F _D		-	-	-	-	-

(*) I livelli riportanti la sigla SF corrispondono alla situazione allo stato di fatto

Tabella 4.19 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: piccolo condominio esistente (1946-76) – zona climatica B (Palermo).

Tipologia: Piccolo condominio									
Epoca: 1946-76									
Zona climatica: B (Palermo)									
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	Livello di EEM				
					1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	5	SF (*)	0,54	0,45	0,40	0,26
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m^2K)	$U_{w,c}$	-	-	-	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_r	5	SF	0,59	0,49	0,46	0,37
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_f	5	SF	0,97	0,80	0,70	0,47
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	5	SF	3,80	3,20	3,00	1,60
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	3	SF	fissa	mobile	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2	SF	3,00	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	$\eta_{gn,H}$	5	SF	0,94 + radiator i	1,00 + fancoil	3,7 + fancoil	4,1 + fancoil
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	$\eta_{gn,W}$	3	SF	0,93	1,00	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η_{gn}	2	0,93 + radiator i	1,00 + fancoil	-	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	-	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		-	-	-	-	-
12	Impianto solare termico	m^2 di collettori solari	m^2	4	SF	7	12	17	
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata	kWp	4	SF	5,6	7	8,4	
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η_r	-	-	-	-	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	η_{ctr}	4	SF	1	2	3	
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m^2)	PN	-	-	-	-	-	-
17	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F_o		-	-	-	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F_c		-	-	-	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F_D		-	-	-	-	-

(*) I livelli riportanti la sigla SF corrispondono alla situazione allo stato di fatto

Tabella 4.20 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: piccolo condominio esistente (1977-90) – zona climatica E (Milano).

Tipologia: Piccolo condominio									
Epoca: 1977-90									
Zona climatica: E (Milano)									
					Livello di EEM				
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _w	5	SF (*)	0,36	0,30	0,28	0,19
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _{w,c}	-	-	-	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _r	5	SF	0,46	0,37	0,34	0,29
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _f	5	SF	0,38	0,31	0,29	0,19
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _w	5	SF	2,30	1,90	1,40	1,10
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	3	SF	fissa	mobile	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2	SF	3,00	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	η _{gn,H}	5	SF	0,94 + radiator i	1,00 + fancoil	3,7 + fancoil	4,1 + fancoil
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	η _{gn,W}	3	SF	0,93	1,00	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η _{gn}	2	0,93 + radiator i	1,00 + fancoil	-	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	-	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		-	-	-	-	-
12	Impianto solare termico	m² di collettori solari	m²	4	SF	7	12	17	-
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata	kWp	4	SF	6,4	8	9,6	-
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η _r	-	-	-	-	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	η _{ctr}	4	SF	1	2	3	
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m²)	PN	-	-	-	-	-	-
17	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O		-	-	-	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F _C		-	-	-	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F _D		-	-	-	-	-

(*) I livelli riportanti la sigla SF corrispondono alla situazione allo stato di fatto

Tabella 4.21 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: piccolo condominio esistente (1977-90) – zona climatica B (Palermo).

Tipologia: Piccolo condominio									
Epoca: 1977-90									
Zona climatica: B (Palermo)									
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	Livello di EEM				
					1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	5	SF (*)	0,54	0,45	0,40	0,26
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _{w,c}	1	0,35	-	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _r	5	SF	0,59	0,49	0,46	0,37
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _f	5	SF	0,58	0,48	0,42	0,28
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	5	SF	3,80	3,20	3,00	1,60
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	3	SF	fissa	mobile	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2	SF	3,00	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	η _{gn,H}	5	SF	0,94 + radiator i	1,00 + fancoil	3,7 + fancoil	4,1 + fancoil
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	η _{gn,W}	3	SF	0,93	1,00	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η _{gn}	2	0,93 + radiator i	1,00 + fancoil	-	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	-	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		-	-	-	-	-
12	Impianto solare termico	m ² di collettori solari	m ²	4	SF	7	12	17	-
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata	kWp	4	SF	6,4	8	9,6	-
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η _r	-	-	-	-	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	η _{ctr}	4	SF	1	2	3	-
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN	-	-	-	-	-	-
17	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O		-	-	-	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F _C		-	-	-	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F _D		-	-	-	-	-

(*) I livelli riportanti la sigla SF corrispondono alla situazione allo stato di fatto

Tabella 4.22 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: grande condominio nuovo – zona climatica E (Milano).

Tipologia: Grande condominio									
Epoca: Nuovo									
Zona climatica: E (Milano)									
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	Livello di EEM				
					1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	5	1,50	0,36	0,30	0,26	0,17
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m^2K)	$U_{w,c}$	-	-	-	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_r	5	1,67	0,43	0,36	0,31	0,26
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_f	5	2,50	0,60	0,50	0,43	0,28
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	5	3,80	2,20	1,80	1,40	1,10
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	2	fissa	mobile	-	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	1	3,00	-	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	$\eta_{gn,H}$	3	1,00 + pan rad	3,7 + fancoil	4,1 + pan rad	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	$\eta_{gn,W}$	2	0,93	1,00	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η_{gn}	1	1,00 + pan rad	-	-	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	-	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		-	-	-	-	-
12	Impianto solare termico	m^2 di collettori solari	m^2	4	20	30	50	70	-
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata	kWp	3	4,8	6	7,2	-	-
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η_r	3	0,6	0,7	0,9	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	η_{ctr}	3	1	2	3	-	-
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m^2)	PN	-	-	-	-	-	-
17	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F_o		-	-	-	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F_c		-	-	-	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F_D		-	-	-	-	-

Tabella 4.23 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: grande condominio nuovo – zona climatica B (Milano).

Tipologia: Grande condominio									
Epoca: Nuovo									
Zona climatica: B (Palermo)									
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	Livello di EEM				
					1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	5	1,50	0,54	0,45	0,43	0,28
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m^2K)	$U_{w,c}$	-	-	-	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_r	5	1,67	0,66	0,54	0,50	0,40
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_f	5	2,50	0,93	0,77	0,73	0,48
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	5	5,00	3,80	3,20	3,00	1,60
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	2	fissa	mobile	-	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	1	3,00	-	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	$\eta_{gn,H}$	3	1,00 + pan rad	3,7 + fancoil	4,1 + pan rad	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	$\eta_{gn,W}$	2	0,93	1,00	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η_{gn}	1	1,00 + pan rad	-	-	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	-	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		-	-	-	-	-
12	Impianto solare termico	m^2 di collettori solari	m^2	4	20	30	50	70	-
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata	kWp	3	4,8	6	7,2	-	-
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η_r	3	0,6	0,7	0,9	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	η_{ctr}	3	1	2	3	-	-
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m^2)	PN	-	-	-	-	-	-
17	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F_o		-	-	-	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F_c		-	-	-	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F_D		-	-	-	-	-

Tabella 4.24 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: grande condominio esistente (1946-76) – zona climatica E (Milano).

Tipologia: Grande condominio									
Epoca: 1946-76									
Zona climatica: E (Milano)									
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	Livello di EEM				
					1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	5	SF (*)	0,36	0,30	0,28	0,19
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _{w,c}	1	0,37	-	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _r	5	SF	0,46	0,37	0,34	0,29
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _f	5	SF	0,63	0,52	0,48	0,32
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	5	SF	2,30	1,90	1,40	1,10
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	3	SF	fissa	mobile	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2	SF	3,00	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	η _{gn,H}	5	SF	0,95 + radiator i	1,00 + fancoil	3,7 + fancoil	4,1 + fancoil
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	η _{gn,W}	3	SF	0,93	1,00	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η _{gn}	2	0,93 + radiator i	1,00 + fancoil	-	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	-	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		-	-	-	-	-
12	Impianto solare termico	m ² di collettori solari	m ²	-	SF	20	30	50	70
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata	kWp	4	SF	7,2	9	10,8	-
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η _r	-	-	-	-	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	η _{ctr}	4	SF	1	2	3	-
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN	-	-	-	-	-	-
17	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O		-	-	-	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F _C		-	-	-	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F _D		-	-	-	-	-

(*) I livelli riportanti la sigla SF corrispondono alla situazione allo stato di fatto

Tabella 4.25 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: grande condominio esistente (1946-76) – zona climatica B (Palermo).

Tipologia: Grande condominio									
Epoca: 1946-76									
Zona climatica: B (Palermo)									
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	Livello di EEM				
					1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	5	SF (*)	0,54	0,45	0,40	0,26
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m^2K)	$U_{w,c}$	1	0,35	-	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_r	5	SF	0,59	0,49	0,46	0,37
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_f	5	SF	0,97	0,80	0,70	0,47
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	5	SF	3,80	3,20	3,00	1,60
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	3	SF	fissa	mobile	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2	SF	3,00	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	$\eta_{gn,H}$	5	SF	0,95 + radiator i	1,00 + fancoil	3,7 + fancoil	4,1 + fancoil
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	$\eta_{gn,W}$	3	SF	0,93	1,00	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η_{gn}	2	0,93 + radiator i	1,00 + fancoil	-	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	-	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		-	-	-	-	-
12	Impianto solare termico	m^2 di collettori solari	m^2	5	SF	20	30	50	70
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata	kWp	4	SF	7,2	9	10,8	
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η_r	-	-	-	-	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	η_{ctr}	4	SF	1	2	3	
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m^2)	PN	-	-	-	-	-	-
17	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F_o		-	-	-	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F_c		-	-	-	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F_D		-	-	-	-	-

(*) I livelli riportanti la sigla SF corrispondono alla situazione allo stato di fatto

Tabella 4.26 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: grande condominio esistente (1977-90) – zona climatica E (Milano).

Tipologia: Grande condominio									
Epoca: 1977-90									
Zona climatica: E (Milano)									
					Livello di EEM				
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _w	5	SF (*)	0,36	0,30	0,28	0,19
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _{w,c}	1	0,27	-	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _r	5	SF	0,46	0,37	0,34	0,29
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _f	5	SF	0,63	0,52	0,48	0,32
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _w	5	SF	2,30	1,90	1,40	1,10
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	3	SF	fissa	mobile	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2	SF	3,00	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	η _{gn,H}	5	SF	0,95 + radiator i	1,00 + fancoil	3,7 + fancoil	4,1 + fancoil
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	η _{gn,W}	3	SF	0,93	1,00	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η _{gn}	2	0,93 + radiator i	1,00 + fancoil	-	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	-	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		-	-	-	-	-
12	Impianto solare termico	m² di collettori solari	m²	5	SF	20	30	50	70
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata	kWp	4	SF	11,2	14	16,8	-
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η _r	-	-	-	-	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	η _{ctr}	4	SF	1	2	3	
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m²)	PN	-	-	-	-	-	-
17	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O		-	-	-	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F _C		-	-	-	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F _D		-	-	-	-	-

(*) I livelli riportanti la sigla SF corrispondono alla situazione allo stato di fatto

Tabella 4.27 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: grande condominio esistente (1977-90) – zona climatica B (Palermo).

Tipologia: Grande condominio									
Epoca: 1977-90									
Zona climatica: B (Palermo)									
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	Livello di EEM				
					1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	5	SF (*)	0,54	0,45	0,40	0,26
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _{w,c}	1	0,35	-	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _r	5	SF	0,59	0,49	0,46	0,37
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _f	5	SF	0,97	0,80	0,70	0,47
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	5	SF	3,80	3,20	3,00	1,60
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	3	SF	fissa	mobile	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2	SF	3,00	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	η _{gn,H}	5	SF	0,95 + radiator i	1,00 + fancoil	3,7 + fancoil	4,1 + fancoil
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	η _{gn,W}	3	SF	0,93	1,00	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η _{gn}	2	0,93 + radiator i	1,00 + fancoil	-	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	-	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		-	-	-	-	-
12	Impianto solare termico	m ² di collettori solari	m ²	5	SF	20	30	50	70
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata	kWp	4	SF	11,2	14	16,8	-
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η _r	-	-	-	-	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	η _{ctr}	4	SF	1	2	3	-
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN	-	-	-	-	-	-
17	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O		-	-	-	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F _C		-	-	-	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F _D		-	-	-	-	-

(*) I livelli riportanti la sigla SF corrispondono alla situazione allo stato di fatto

Tabella 4.28 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio ad uso uffici nuovo – zona climatica E (Milano).

Tipologia: Ufficio									
Epoca: Nuovo									
Zona climatica: E (Milano)									
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	Livello di EEM				
					1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	5	1,50	0,36	0,30	0,26	0,17
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m^2K)	$U_{w,c}$	-	-	-	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_r	5	1,50	0,30	0,25	0,22	0,18
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_f	5	1,88	0,45	0,38	0,33	0,21
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	5	5,00	2,20	1,80	1,40	1,10
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	2	fissa	mobile	-	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	1	3,30	-	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	$\eta_{gn,H}$	-	-	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	$\eta_{gn,W}$	-	-	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η_{gn}	2	0,93 + radiator i	1,05 + fancoil	-	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	2	3,0 + fancoil	3,5 + fancoil	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		2,8	3,2	-	-	-
12	Impianto solare termico	m^2 di collettori solari	m^2	5	2	4	6	8	10
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata	kWp	3	8,8	11	13,2	-	-
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η_r	3	0,6	0,7	0,9	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	η_{ctr}	3	1	2	3	-	-
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m^2)	PN	2	6	6	-	-	-
17	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F_o		1	0,8	-	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F_c		1	0,9	-	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F_D		1	0,9	-	-	-

Tabella 4.29 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio ad uso uffici nuovo – zona climatica B (Milano).

Tipologia: Ufficio									
Epoca: Nuovo									
Zona climatica: B (Palermo)									
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	Livello di EEM				
					1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	5	1,50	0,54	0,45	0,43	0,28
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m^2K)	$U_{w,c}$	-	-	-	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_r	5	1,50	0,46	0,38	0,35	0,28
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_f	5	1,88	0,70	0,58	0,55	0,36
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	5	5,00	3,80	3,20	3,00	1,60
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	2	fissa	mobile	-	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	1	3,30	-	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	$\eta_{gn,H}$	-	-	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	$\eta_{gn,W}$	-	-	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η_{gn}	2	0,93 + radiator i	1,05 + fancoil	-	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	2	3,0 + fancoil	3,5 + fancoil	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		2,8	3,2	-	-	-
12	Impianto solare termico	m^2 di collettori solari	m^2	5	2	4	6	8	10
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata	kWp	3	8,8	11	13,2	-	-
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η_r	3	0,6	0,7	0,9	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	η_{ctr}	3	1	2	3	-	-
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m^2)	PN	2	6	6	-	-	-
17	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F_o		1	0,8	-	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F_c		1	0,9	-	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F_D		1	0,9	-	-	-

Tabella 4.30 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio ad uso uffici esistente (1946-76) – zona climatica E (Milano).

Tipologia: Ufficio									
Epoca: 1946-76									
Zona climatica: E (Milano)									
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	Livello di EEM				
					1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	5	SF (*)	0,36	0,30	0,28	0,19
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _{w,c}	1	0,15	-	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _r	5	SF	0,32	0,26	0,24	0,20
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _f	5	SF	0,84	0,69	0,64	0,42
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	5	SF	2,30	1,90	1,40	1,10
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	3	SF	1	2	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2	SF	3,30	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	η _{gn,H}	1	SF	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	η _{gn,W}	1	SF	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η _{gn}	2	0,934 + radiator i	1,03 + fancoil	-	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	2	3,1 + fancoil	4,2 + fancoil	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		2,9	3,1	-	-	-
12	Impianto solare termico	m ² di collettori solari	m ²	5	SF	1	2	3	4
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata	kWp	4	SF	3,84	4,8	5,76	-
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η _r	4	SF	0,6	0,7	0,9	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	η _{ctr}	4	SF	1	2	3	-
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN	3	SF	6	6	-	-
17	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O		SF	1	0,8	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F _C		SF	1	0,9	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F _D		SF	1	0,9	-	-

(*) I livelli riportanti la sigla SF corrispondono alla situazione allo stato di fatto

Tabella 4.31 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio ad uso ufficio esistente (1946-76) – zona climatica B (Palermo).

Tipologia: Ufficio									
Epoca: 1946-76									
Zona climatica: B (Palermo)									
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	Livello di EEM				
					1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	5	SF (*)	0,54	0,45	0,40	0,26
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m^2K)	$U_{w,c}$	1	0,15	-	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_r	5	SF	0,41	0,34	0,32	0,26
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_f	5	SF	1,29	1,07	0,93	0,62
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	5	SF	3,80	3,20	3,00	1,60
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	3	SF	fissa	mobile	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2	SF	3,30	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	$\eta_{gn,H}$	1	SF	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	$\eta_{gn,W}$	1	SF	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η_{gn}	2	0,934 + radiator i	1,03 + fancoil	-	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	2	3,1 + fancoil	4,2 + fancoil	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		2,9	3,1	-	-	-
12	Impianto solare termico	m^2 di collettori solari	m^2	5	SF	1	2	3	4
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata	kWp	4	SF	3,84	4,8	5,76	-
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η_r	4	SF	0,6	0,7	0,9	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	η_{ctr}	4	SF	1	2	3	-
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m^2)	PN	3	SF	6	6	-	-
17	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F_o		SF	1	0,8	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F_c		SF	1	0,9	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F_D		SF	1	0,9	-	-

(*) I livelli riportanti la sigla SF corrispondono alla situazione allo stato di fatto

Tabella 4.32 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio ad uso uffici esistente (1977-90) – zona climatica E (Milano).

Tipologia: Ufficio									
Epoca: 1977-90									
Zona climatica: E (Milano)									
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	Livello di EEM				
					1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	5	SF (*)	0,36	0,30	0,28	0,19
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _{w,c}	1	0,18	-	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _r	5	SF	0,32	0,26	0,24	0,20
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _f	5	SF	0,84	0,69	0,64	0,42
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	5	SF	2,30	1,90	1,40	1,10
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	3	SF	fissa	mobile	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2	SF	3,30	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	η _{gn,H}	1	SF	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	η _{gn,W}	1	SF	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η _{gn}	2	0,934 + radiator i	1,03 + fancoil	-	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	2	3,1 + fancoil	4,2 + fancoil	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		2,9	3,1	-	-	-
12	Impianto solare termico	m ² di collettori solari	m ²	5	SF	2	4	6	8
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata	kWp	4	SF	8,8	11	13,2	-
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η _r	4	SF	0,6	0,7	0,9	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	η _{ctr}	4	SF	1	2	3	-
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN	3	SF	6	6	-	-
17	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O		SF	1	0,8	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F _C		SF	1	0,9	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F _D		SF	1	0,9	-	-

(*) I livelli riportanti la sigla SF corrispondono alla situazione allo stato di fatto

Tabella 4.33 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio ad uso uffici esistente (1977-90) – zona climatica B (Palermo).

Tipologia: Ufficio									
Epoca: 1977-90									
Zona climatica: B (Palermo)									
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	Livello di EEM				
					1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	5	SF (*)	0,54	0,45	0,40	0,26
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _{w,c}	1	0,15	-	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _r	5	SF	0,41	0,34	0,32	0,26
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _f	5	SF	1,29	1,07	0,93	0,62
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	5	SF	3,80	3,20	3,00	1,60
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	3	SF	fissa	mobile	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2	SF	3,30	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	η _{gn,H}	1	SF	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	η _{gn,W}	1	SF	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η _{gn}	2	0,934 + radiator i	1,03 + fancoil	-	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	2	3,1 + fancoil	4,2 + fancoil	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		2,9	3,1	-	-	-
12	Impianto solare termico	m ² di collettori solari	m ²	5	SF	2	4	6	8
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata	kWp	4	SF	8,8	11	13,2	-
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η _r	4	SF	0,6	0,7	0,9	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	η _{ctr}	4	SF	1	2	3	-
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN	3	SF	6	6	-	-
17	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O		SF	1	0,8	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F _C		SF	1	0,9	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F _D		SF	1	0,9	-	-

(*) I livelli riportanti la sigla SF corrispondono alla situazione allo stato di fatto

Tabella 4.34 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio scolastico esistente (1946-76) – zona climatica E (Milano).

Tipologia: Scuola									
Epoca: 1946-76									
Zona climatica: E (Milano)									
					Livello di EEM				
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _w	5	SF (*)	0,36	0,30	0,28	0,19
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _{w,c}	1	0,12	-	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _r	5	SF	0,46	0,37	0,34	0,29
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _f	5	SF	0,38	0,31	0,29	0,19
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _w	5	SF	2,30	1,90	1,40	1,10
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	3	SF	fissa	mobile	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-	-	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	η _{gn,H}	1	SF	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	η _{gn,W}	1	SF	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η _{gn}	4	0,934 + radiator i	1,03 + fancoil	3,1 + fancoil	4,2 + fancoil	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	-	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		-	-	-	-	-
12	Impianto solare termico	m² di collettori solari	m²	5	SF	2	4	6	8
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata	kWp	4	SF	52,8	66	79,2	-
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η _r	4	SF	0,6	0,7	0,9	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	η _{ctr}	4	SF	1	2	3	-
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m²)	PN	2	SF	6	-	-	-
17	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O		SF	1	-	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F _C		SF	1	-	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F _D		SF	1	-	-	-

(*) I livelli riportanti la sigla SF corrispondono alla situazione allo stato di fatto

Tabella 4.35 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio scolastico esistente (1946-76) – zona climatica B (Palermo).

Tipologia: Scuola									
Epoca: 1946-76									
Zona climatica: B (Palermo)									
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	Livello di EEM				
					1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	5	SF (*)	0,54	0,45	0,40	0,26
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m^2K)	$U_{w,c}$	1	0,18	-	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_r	5	SF	0,41	0,34	0,32	0,26
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_f	5	SF	1,29	1,07	0,93	0,62
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	5	SF	3,80	3,20	3,00	1,60
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	3	SF	fissa	mobile	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-	-	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	$\eta_{gn,H}$	1	SF	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	$\eta_{gn,W}$	1	SF	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η_{gn}	4	0,934 + radiator i	1,03 + fancoil	3,1 + fancoil	4,2 + fancoil	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	-	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		-	-	-	-	-
12	Impianto solare termico	m^2 di collettori solari	m^2	5	SF	2	4	6	8
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata	kWp	4	SF	52,8	66	79,2	-
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η_r	4	SF	0,6	0,7	0,9	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	η_{ctr}	4	SF	1	2	3	-
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m^2)	PN	2	SF	6	-	-	-
17	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F_o		SF	1	-	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F_c		SF	1	-	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F_D		SF	1	-	-	-

(*) I livelli riportanti la sigla SF corrispondono alla situazione allo stato di fatto

5 I costi delle misure di efficienza energetica

L'analisi dei costi d'investimento per le misure di efficienza energetica riportata in questa sezione e, in particolare, la descrizione e i costi specifici di ciascuna tecnologia, sono state curate dal Comitato Termotecnico Italiano Energia e Ambiente (CTI).

I costi di seguito riportati sono stati estrapolati da analisi di mercato e dai prezzari. Poiché i costi dei prezzari sono generalmente più alti rispetto a quelli di mercato di almeno un 30%, i costi utilizzati nella procedura di ottimizzazione sono stati considerati comprensivi di IVA, trasporto e installazione.

Per quanto riguarda i costi sull'involucro opaco e trasparente, per la determinazione dei prezzi unitari è stato utilizzato il prezzario DEI (Tipografia del Genio Civile) dei Prezzi Informativi dell'Edilizia per le Nuove Costruzioni (2017), che elenca in sezioni distinti sia i materiali che le opere compiute, ed altri costi eventuali da considerare nell'efficientamento energetico degli edifici (come ad esempio l'utilizzo di ponteggi, o l'impermeabilizzazione delle coperture).

Per quanto riguarda, invece, gli interventi sugli impianti, da un'analisi bibliografica è emerso come, in particolare per alcune tecnologie impiantistiche, le economie di scala giochino un ruolo non trascurabile sulla determinazione del prezzo. Non si è, quindi, ritenuta non trascurabile la variazione di prezzo in funzione della taglia (potenza), pertanto per diverse misure prese in considerazione non si è fornito un unico prezzo per unità specifica (ad es. €/kW, €/m², ecc.) bensì una relazione (formula) che permetta di calcolare innanzitutto un prezzo specifico in funzione della potenza e, in un secondo momento, il costo dell'intervento in funzione della taglia dell'impianto e del prezzo specifico predeterminato.

5.1 Costi degli interventi sui componenti d'involucro opaco

5.1.1 EEM1 e EEM2: Isolamento delle pareti esterne

L'isolamento termico delle pareti viene eseguito in modi differenti che si tratti di edifici di nuova costruzione o di edifici esistenti sottoposti a riqualificazione. Per quanto riguarda il primo caso, l'intervento viene eseguito tramite fornitura e messa in opera dall'esterno di pannelli di isolante ancorati alla muratura, completo di intonaco sottile armato con fibra di vetro (EEM1). Negli edifici esistenti, invece, può essere eseguito tramite fornitura e messa in opera:

- dall'esterno con pannelli di isolante ancorati alla muratura, completo di intonaco sottile armato con fibra di vetro (EEM1);
- dall'interno, con pannelli di isolante e finitura in lastre di gesso; oppure,
- in intercapedine tramite insufflaggio (EEM2).

Anche per quanto riguarda i costi dell'intervento, questi vengono distinti che si tratti di edifici di nuova costruzione o edifici esistenti. Le Tabelle Tabella 5.1 e Tabella 5.2 riportano i costi dei principali materiali isolanti in commercio, e le rispettive conducibilità termiche. In particolare, viene riportato per ciascun isolante un prezzo base al m² riferito ad uno spessore base e un prezzo al m² per ogni centimetro aggiuntivo di isolante.

Tabella 5.1 Costi materiali isolanti per l'isolamento termico delle pareti esterne – edifici nuovi.

Parete esterna - nuovo					
Materiale		Prezzo base	Spessore base	Prezzo al cm	λ
		€/m ²	cm	€/m ²	(W/mK)
Cappotto	MW (glass)	58,92	4	4,01	0,032
	EPS	49,28	3	2,1	0,034
	XPS	52,85	3	2,49	0,034

Tabella 5.2 Costi materiali isolanti per l'isolamento termico delle pareti esterne – edifici esistenti.

Parete esterna - esistenti					
Materiale		Prezzo base	Spessore base	Prezzo al cm	λ
		€/m ²	cm	€/m ²	(W/mK)
Cappotto	MW (glass)	70,72	4	4,71	0,032
	EPS	63,12	3	2,49	0,034
	XPS	63,28	4	2,85	0,034
Insufflaggio	LWA	28,39	1	2,83	0,10
	EV	54,34	1	5,43	0,06
	PES	31,63	1	3,16	0,05
	ICB	31	1	3,10	0,04
intercapedine riempita con pannelli	EPS	10,58	3	2,04	0,033
	XPS	11,4	3	2,20	0,034
	PU	18,23	3	9,40	0,028
	MW (glass)	11,81	3	2,34	0,039

Per ragioni economiche, i costi inseriti nel *tool* di calcolo sono riferiti agli isolanti più convenienti. Si tratta, in particolare, del polistirene espanso (EPS) sia per edifici nuovi che esistenti, e in questo caso, sia per l'isolamento dall'esterno che in intercapedine.

Per quanto riguarda le opere di ristrutturazione dell'involucro opaco verticale su edifici esistenti, è necessario aggiungere il costo del ponteggio. Nel presente lavoro, è stato considerato un ponteggio a tubo giunto in acciaio con altezza fino a 20 m, con un costo pari alla somma di tre voci spiegate di seguito:

- 1) 7,14 €/m² di facciata: montaggio comprensivo di trasporto, approvvigionamento, scarico e avvicinamento;
- 2) 2,67 €/m² di facciata: smontaggio a fine lavoro;
- 3) 5,74 €/m² di superficie del piano di lavoro: piano di lavoro per ponteggi costituito da tavole metalliche prefabbricate od in legno di abete. La superficie del piano di lavoro viene valutata per una larghezza del ponteggio di 1 m e una lunghezza pari al perimetro dell'edificio, per il numero di piani.

Analogamente al discorso del ponteggio, qualora si realizzi l'intervento di efficienza energetica sugli edifici esistenti, in caso di cappotto occorre considerare anche il costo di tinteggiatura. Nel presente lavoro, è stata considerata una tinteggiatura con idropittura a base di resine silossaniche in dispersione acquosa a finitura opaca, per esterni, resistente alla luce, ad elevata permeabilità al vapore acqueo, applicata a pennello a due mani su supporto preparato, con costo pari a 15,81 €/m² di facciata.

La Tabella 5.3 riporta i costi aggiuntivi da considerare per gli interventi di isolamento delle pareti esterne su edifici esistenti.

Tabella 5.3 Costi aggiuntivi per l'isolamento termico delle pareti esterne – edifici esistenti.

Costi aggiuntivi – edifici esistenti		
Intervento		Prezzo
		€/m ²
EEM1	Tinteggiatura	15,81
	Ponteggio (montaggio e smontaggio)	9,81*
	Ponteggio (per piano)	5,74
EEM2	Ponteggio (montaggio e smontaggio)	9,81*
	Ponteggio (per piano)	5,74
*il costo di 9,81 €/m ² di facciata è comprensivo dei costi per il montaggio (1) e smontaggio (2) del ponteggio		

La tabella seguente riporta il riepilogo dei costi per l'isolamento termico delle pareti esterne (Tabella 5.4).

Tabella 5.4 Riepilogo dei costi per l'isolamento termico delle pareti esterne.

Riepilogo costi – isolamento termico delle pareti esterne							
Edificio	Intervento	Isolante	Prezzo base isolante	Prezzo al cm isolante	Tinteggiatura	Ponteggio	Ponteggio (per piano)
			€/m ² _{fac}	€/m ² _{fac}	€/m ² _{fac}	€/m ² _{fac}	€/m ² _{p.lavoro}
Nuova costruzione	Cappotto	EPS	49,28	2,10			
Esistente	Cappotto	EPS	63,12	2,49	15,81	9,81	5,74
Esistente	Intercapedine	EPS	10,58	2,04		9,81	5,74

5.1.2 EEM3: Isolamento della copertura o del solaio superiore

L'isolamento termico della copertura viene eseguito in modi differenti che si tratti di una copertura piana, inclinata o un solaio superiore (sottotetto).

Il costo dell'isolamento termico della copertura è comprensivo del costo del materiale isolante e dell'impermeabilizzazione della copertura. Il costo del materiale isolante dipende che si tratti di edifici di nuova costruzione o edifici esistenti, dal tipo di esecuzione della misura e dal tipo di isolante.

Il costo dell'impermeabilizzazione, invece, dipende solo che si tratti di una superficie inclinata o piana. In particolare, nel presente studio viene analizzata un'impermeabilizzazione bituminosa tradizionale con malta di cemento additivata con resina acrilica per le superfici orizzontali, e con malta di cemento rinforzata con rete sintetica per le superfici inclinate. I costi dell'impermeabilizzazione sono pari a 18,90 €/m² di copertura per superfici orizzontali e pari a 19,03 €/m² di copertura per superfici inclinate.

Per quanto riguarda il costo dei materiali isolanti per gli edifici di nuova costruzione, le Tabelle Tabella 5.5, Tabella 5.6 e Tabella 5.7 riportano i costi dei principali materiali isolanti in commercio, e le rispettive conducibilità termiche. In particolare, viene indicato per ciascun isolante un prezzo base al m² riferito ad uno spessore base e un prezzo al m² per ogni centimetro aggiuntivo di isolante.

Tabella 5.5 Costi materiali isolanti per l'isolamento termico della copertura piana – edifici nuovi.

Copertura piana					
Materiale		Prezzo base	Spessore base	Prezzo al cm	λ
		€/m ²	cm	€/m ²	(W/mK)
isolante lato esterno	MW (glass)	15,12	3	3,98	0,032
	EP	8,71	2	3,61	0,050
	EP	11,19	2	3,61	0,050
	XPS	8,8	3	1,86	0,035
	EPS	7,42	3	1,72	0,033
	EPS	8,44	3	2,06	0,034
	PU	11,19	3	2,88	0,023
	PU	11,93	3	3,13	0,028
	CG	49,57	4	8,12	0,040
	CG	44,26	4	9,03	0,040
isolante lato interno	PU	24,19	3	2,07	0,028
	EPS	22,49	3	1,72	0,033
	XPS	27,08	4	2,46	0,034
	MW	25,17	4	1,94	0,035
	MW (glass)	29,24	3	3,98	0,032
	MW (glass)	32,13	3	4,94	0,031

Tabella 5.6 Costi materiali isolanti per l'isolamento termico della copertura inclinata – edifici nuovi.

Copertura inclinata					
Materiale		Prezzo base	Spessore base	Prezzo al cm	λ
		€/m ²	cm	€/m ²	(W/mK)
isolante lato esterno	MW (glass)	11,15	3	2,38	0,037
	PU	13,43	3	3,13	0,028
	EPS	13,64	4	2,46	0,034
isolante lato interno	MW (glass)	21,67	4	1,76	0,034
	PU	27,55	3	3,13	0,028
	XPS	23,6	3	1,87	0,034
	EPS	23,17	3	1,72	0,033

Tabella 5.7 Costi materiali isolanti per l'isolamento termico del sottotetto – edifici nuovi.

Sottotetto					
Materiale		Prezzo base	Spessore base	Prezzo al cm	λ
		€/m ²	cm	€/m ²	(W/mK)
Non praticabile	EPS	7,32	3	1,72	0,033
	MW (glass)	5,75	5	0,54	0,043
	XPS	7,75	3	1,86	0,034
Primo solaio (estradosso)	XPS	7,84	3	1,87	0,034
	EPS	7,42	3	1,72	0,033
	MW (glass)	10,31	2	4,04	0,032
Primo solaio (intradosso)	MW (glass)	40,9	2	1,99	0,035
	MW (glass)	56,53	4	4,94	0,031
	EPS	42,01	3	1,72	0,033
	XPS	47,96	3	2,46	0,034

Per ragioni economiche, i costi per l'isolamento della copertura o del solaio superiore di edifici di nuova costruzione inseriti nel *tool* di calcolo sono riferiti agli isolanti più convenienti. Si tratta, in particolare, del polistirene espanso (EPS) sia per la copertura piana che inclinata e della lana di vetro (MW-glass) per l'isolamento del sottotetto.

Per quanto riguarda gli edifici esistenti, le Tabelle Tabella 5.8, Tabella 5.9 e Tabella 5.10 riportano i costi dei principali materiali isolanti in commercio, e le rispettive conducibilità termiche. In particolare, viene indicato per ciascun isolante un prezzo base al m² riferito ad uno spessore base e un prezzo al m² per ogni centimetro aggiuntivo di isolante.

Tabella 5.8 Costi materiali isolanti per l'isolamento termico della copertura piana – edifici esistenti.

Copertura piana					
Materiale		Prezzo base	Spessore base	Prezzo al cm	λ
		€/m ²	cm	€/m ²	(W/mK)
isolante lato esterno	MW (glass)	17,64	3	4,66	0,032
	EP	9,98	2	3,64	0,050
	EP	12,46	2	3,64	0,050
	XPS	10,27	3	2,20	0,034
	XPS	28,25	6	4,96	0,036
	EPS	9,79	3	2,04	0,033
	EPS	10,98	3	2,44	0,033
	PU	17,09	3	4,40	0,023
	PU	15,04	3	3,73	0,028
	CG	58,03	4	9,58	0,040
	CG	52,12	4	10,65	0,040

Copertura piana					
Materiale		Prezzo base	Spessore base	Prezzo al cm	λ
		€/m ²	cm	€/m ²	(W/mK)
isolante lato interno	PU	27,57	3	2,69	0,028
	EPS	25,49	3	2,04	0,033
	XPS	30,48	4	2,80	0,034
	MW 100 kg/m ³	28,3	4	2,30	0,036
	MW 100 kg/m ³	25,82	4	2,11	0,036
	LV	33,39	3	4,66	0,031
	LV	36,71	3	5,78	0,032

Tabella 5.9 Costi materiali isolanti per l'isolamento termico della copertura inclinata – edifici esistenti.

Copertura inclinata					
Materiale		Prezzo base	Spessore base	Prezzo al cm	U
		€/m ²	cm	€/m ²	(W/m ² K)
isolante lato esterno	MW (glass)	13,34	3	2,8	0,037
	PU	16,18	3	3,73	0,028
	XPS	15,91	3	2,8	0,034
isolante lato interno	MW (glass)	25,71	4	2,08	0,034
	PU	32,79	3	3,73	0,028
	XPS	28,02	3	2,2	0,034
	EPS	27,54	3	2,04	0,033

Tabella 5.10 Costi materiali isolanti per l'isolamento termico del sottotetto – edifici esistenti.

Sottotetto					
Materiale		Prezzo base	Spessore base	Prezzo al cm	λ
		€/m ²	cm	€/m ²	(W/mK)
Non praticabile	EPS	9,09	3	2,04	0,033
	MW (glass)	6,71	5	0,65	0,043
	XPS	9,57	3	2,20	0,034

Per ragioni economiche, i costi per l'isolamento della copertura o del solaio superiore di edifici esistenti inseriti nel *tool* di calcolo sono riferiti agli isolanti più convenienti. Si tratta, in particolare, del polistirene espanso (EPS) per la copertura piana, del polistirene estruso (EPS) per la copertura inclinata e della lana di vetro (MW-glass) per l'isolamento del sottotetto.

La Tabella 5.11 riporta il riepilogo dei costi per l'isolamento termico delle coperture e del solaio superiore.

Tabella 5.11 Riepilogo dei costi per l'isolamento termico delle coperture o del solaio superiore.

Riepilogo costi – isolamento termico delle coperture e del solaio superiore					
Edificio	Intervento	Isolante	Prezzo base isolante	Prezzo al cm isolante	Impermeabilizzazione
			€/m ²	€/m ²	€/m ²
Nuova costruzione	Copertura piana	EPS	8,44	2,06	18,90
	Copertura inclinata	EPS	13,64	2,46	19,03
	Sottotetto	MW (glass)	5,75	0,54	
Edificio esistente	Copertura piana	EPS	9,79	2,04	18,90
	Copertura inclinata	XPS	15,91	2,80	19,03
	Sottotetto	LV	6,71	0,65	

5.1.3 EEM4: Isolamento del solaio inferiore

L'isolamento termico del solaio inferiore viene eseguito in modi differenti che si tratti di un solaio su ambiente non climatizzato (isolamento all'estradosso), oppure verso il terreno (isolamento in intradosso).

Il costo dell'isolamento termico del solaio inferiore è comprensivo del solo costo del materiale isolante, il quale varia a seconda che si tratti di edifici di nuova costruzione o edifici esistenti, dal tipo di esecuzione della misura e dal tipo di isolante.

Per quanto riguarda il costo dei materiali isolanti per gli edifici di nuova costruzione, la Tabella 5.12 riporta i costi dei principali materiali isolanti in commercio, e le rispettive conducibilità termiche. In particolare, viene indicato per ciascun isolante un prezzo base al m² riferito ad uno spessore base e un prezzo al m² per ogni centimetro aggiuntivo di isolante.

Tabella 5.12 Costi materiali isolanti per l'isolamento termico del primo solaio – edifici nuovi.

Primo solaio					
Materiale		Prezzo base	Spessore base	Prezzo al cm	λ
		€/m ²	cm	€/m ²	(W/mK)
Estradosso	XPS	7,84	3	1,87	0,034
	EPS	7,42	3	1,72	0,033
	MW (glass)	10,31	2	4,04	0,032
Intradosso	MW (glass)	40,9	2	1,99	0,035
	MW (glass)	56,53	4	4,94	0,031
	EPS	42,01	3	1,72	0,033
	XPS	47,96	3	2,46	0,034

Per ragioni economiche, i costi per l'isolamento del primo solaio di edifici di nuova costruzione inseriti nel *tool* di calcolo sono riferiti agli isolanti più convenienti. Si tratta, in particolare, del polistirene espanso (EPS) sia per l'isolamento all'estradosso che in intradosso.

Per quanto riguarda gli edifici esistenti, la Tabella 5.13 riporta i costi dei principali materiali isolanti in commercio, e le rispettive conducibilità termiche. In particolare, viene riportato per ciascun isolante un prezzo base al m² riferito ad uno spessore base e un prezzo al m² per ogni centimetro aggiuntivo di isolante.

Tabella 5.13 Costi materiali isolanti per l'isolamento termico del primo solaio – edifici esistenti.

Sottotetto					
Materiale		Prezzo base	Spessore base	Prezzo al cm	λ
		€/m ²	cm	€/m ²	(W/mK)
Primo solaio (estradosso)	XPS	9,70	3	2,20	0,034
	EPS	9,22	3	2,04	0,033
	MW (glass)	12,55	2	5,16	0,032
Primo solaio (intradosso)	MW (glass)	47,95	2	2,34	0,039
	MW (glass)	66,19	4	5,78	0,031
	EPS	53,72	3	2,04	0,033
	XPS	56,32	4	2,8	0,034

Per ragioni economiche, i costi per l'isolamento del primo solaio di edifici esistenti inseriti nel *tool* di calcolo sono riferiti agli isolanti più convenienti. Si tratta, in particolare, del polistirene espanso (EPS) sia per l'isolamento all'estradosso che in intradosso. Gli isolanti scelti sono evidenziati nelle tabelle precedenti.

La Tabella 5.14 riporta il riepilogo dei costi per l'isolamento termico del solaio inferiore.

Tabella 5.14 Riepilogo dei costi per l'isolamento termico del primo solaio.

Riepilogo costi – isolamento termico del primo solaio				
Edificio	Intervento	Isolante	Prezzo base isolante	Prezzo al cm isolante
			€/m ²	€/m ²
Nuova costruzione	Estradosso	EPS	7,42	1,72
	Intradosso	EPS	42,01	1,72
Edificio esistente	Estradosso	EPS	9,22	2,04
	Intradosso	EPS	53,72	2,04

5.2 Costi degli interventi sui componenti d'involucro trasparente

5.2.1 EEM5: Isolamento dell'involucro trasparente

La valutazione dei costi dei serramenti è stata eseguita per finestre a due battenti, con vetro camera basso emissivo con argon e con due tipologie di telaio, rispettivamente in legno e in alluminio.

I costi del componente sono differenziati in relazione alle caratteristiche termiche del componente; a questo è necessario aggiungere il costo della posa in opera, pari a 50 €/m² di serramento.

Per serramenti con trasmittanze termiche comprese tra 1,1 e 1,9 W/m²K, è stato fatto riferimento a costi medi. Inoltre, per l'analisi condotta si è scelto di considerare anche l'eventualità di serramenti con prestazioni inferiori. Per la scarsità dei dati disponibili, si è scelto di utilizzare i dati di costo/prestazione a disposizione e di procedere per estrapolazione, ricavando così i prezzi anche per serramenti con trasmittanze più elevate di quelle per le quali si hanno a disposizione i prezzi. I valori estrapolati sono stati considerati fino al raggiungimento di un valore limite minimo di costo di 150 €/m² per i serramenti in

alluminio e 250 €/m² per i serramenti in legno. In Figura 5.1 e in Figura 5.2 sono riportati i grafici e le equazioni di interpolazione per le tipologie considerate.

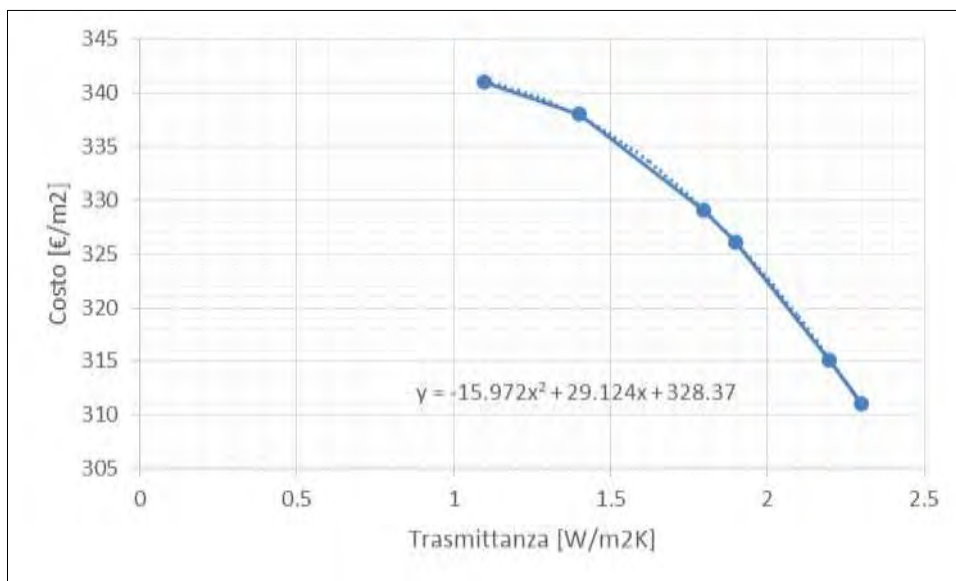


Figura 5.1 Costi normalizzati dei serramenti in alluminio.

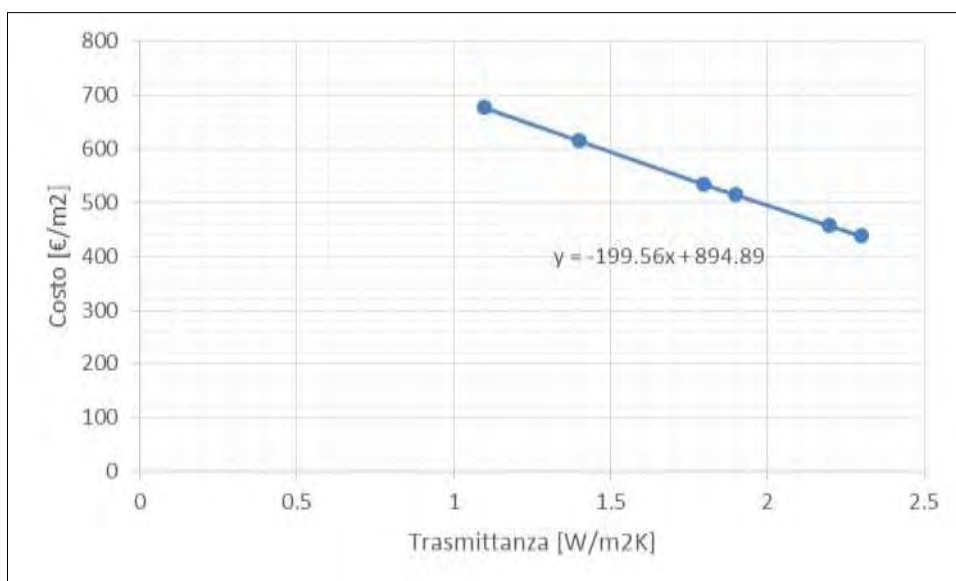


Figura 5.2 Costi normalizzati dei serramenti in legno.

La Tabella 5.15 riporta i costi medi dei serramenti considerati in relazione alla trasmittanza termica per le due tipologie di telaio utilizzate.

Tabella 5.15 Costi medi dei serramenti per l'isolamento termico dell'involucro trasparente.

Serramenti		
Trasmittanza termica	Telaio in alluminio	Telaio in legno
W/m ² K	€/m ²	€/m ²
1,1	341,00	677,00
1,2	340,50	656,00
1,3	339,25	635,50
1,4	338,00	615,00
1,5	336,00	594,50
1,6	334,00	574,00
1,7	331,50	554,00
1,8	329,00	534,00
1,9	326,00	514,00
2,0	322,33	494,67
2,1	318,67	475,33
2,2	315,00	456,00
2,3	311,00	438,00
3,0	271,99	296,21
3,2	258,01	256,30
3,8	208,41	250,00
5,0	150,00	250,00

5.2.2 EEM 6: Sistemi di schermatura solare

La misura consiste nell'installazione di sistemi di schermatura solare, sia nel caso di edifici esistenti che di nuova costruzione. Nella valutazione dei costi dei sistemi di schermatura solare, gli elementi schermanti considerati sono i sistemi a veneziana e i frangisole.

Il costo di questi elementi varia in relazione alle dimensioni del serramento e, a differenza delle precedenti misure di efficienza energetica, non varia a seconda che l'edificio sia esistente o di nuova costruzione. Sono espressi in €/m² (riferiti alla superficie del serramento).

Per quanto riguarda i sistemi schermanti a veneziana, per interni ed esterni, si tratta di sistemi composti da lamelle di spessore variabile (tra i 15 mm e 50 mm) in alluminio verniciate a fuoco, completi di cassonetto in lamiera zincata e verniciata, nastri di nylon per il raccoglimento e asta di plastica per la movimentazione. Il costo degli elementi schermanti, variabile a seconda dello spessore delle lamelle e dell'altezza del serramento (120, 160, 200, 220 cm), è funzione della sola dimensione di base B (espressa in cm). La Tabella 5.16 riporta i costi degli elementi schermanti.

Tabella 5.16 Costi elementi schermanti – veneziane.

Elementi schermanti a veneziana				
Altezza finestra	Costo [€/m ²]			
	Spessore lamelle			
[cm]	15 mm	25 mm	35 mm	50 mm
120	$0,0018*B^2 - 0,6182*B + 89,287$	$0,0016*B^2 - 0,5254*B + 69,793$	$0,0002*B^2 - 0,0943*B + 38,729$	$-0,0731*B + 39,877$
160	$0,0014*B^2 - 0,4602*B + 71,202$	$0,0012*B^2 - 0,3861*B + 54,25$	$-0,0316*B + 29,969$	$-0,0484*B + 31,755$
200	$0,0011*B^2 - 0,3752*B + 60,973$	$0,001*B^2 - 0,3331*B + 46,803$	$-0,0282*B + 27,494$	$-0,0453*B + 29,022$
220	$0,001*B^2 - 0,3427*B + 57,072$	$0,0009*B^2 - 0,2847*B + 42,631$	$-0,0257*B + 26,485$	$-0,066*B + 31,794$

Per quanto riguarda i sistemi schermanti a frangisole a pale orizzontali o verticali, si tratta di sistemi costituiti da frangisole di spessore 200-300 mm in lamiera in alluminio presso-piegata, a movimentazione manuale, completo di struttura portante realizzata con bracci di supporto delle pale in tubolare di alluminio, fissati ad apposite staffe in acciaio zincato. Il costo degli elementi schermanti varia a seconda dell'altezza dell'elemento, come è indicato in Tabella 5.17.

Tabella 5.17 Costi elementi schermanti – frangisole.

Frangisole in alluminio (pale orizzontali o verticali)		
Larghezza	Altezza	Costo
[mm]	[cm]	[€/m ²]
200-300	100	200
	300	170

In questo ambito, le schermature considerate sono le seguenti:

- Per le finestre, veneziane mobili con lamelle da 50 mm per 160 cm di altezza;
- Per le portefinestre, veneziane mobili con lamella da 50 mm per 220 cm di altezza;
- Frangisole fissi, per 300 cm di altezza.

I costi relativi ai sistemi di schermatura considerati sono evidenziati nelle Tabelle Tabella 5.16 e Tabella 5.17. La Tabella 5.18 riporta il riepilogo dei costi per l'installazione dei sistemi di schermature solari.

Tabella 5.18 Riepilogo dei costi per l'installazione di sistemi di schermatura solare.

Riepilogo costi – sistemi di schermatura solare					
Edificio	Sistema di schermatura	Elemento	Spessore lamelle	Altezza	Costo
			cm	cm	€/m ²
Nuova costruzione/ Edificio esistente	Mobile	Finestra	5	160	$-0,0484*B + 31,755$
	Mobile	Porta finestra	5	220	$-0,066*B + 31,794$
	Fissa		20 – 30	300	170

5.3 Costi dei sistemi impiantistici

5.3.1 EEM 7: High efficiency chiller

La misura consiste nell'installazione di un chiller ad alta efficienza per il raffrescamento degli ambienti, o la sostituzione dei chiller esistenti con sistemi a maggiore efficienza. In fase di valutazione, è stato considerato un sistema a motocondensante esterna per sistemi di condizionamento autonomo multisplit a pompa di calore funzionante con R410A, in lamiera d'acciaio zincata e verniciata, con compressore ermetico rotativo ad alta efficienza, batteria di scambio termico e ventilatore elicoidale ad espulsione orizzontale, collegabile a più unità interne anche differenti tra loro (per condizionatori autonomi multisplit solo raffreddamento o a pompa di calore).

Per la definizione dei costi dei sistemi di condizionamento autonomo multisplit sono stati considerati diversi valori di potenza, compresi tra 3,9 e 6,8 kWf. La Tabella 5.19 riporta i costi dei sistemi di raffrescamento ad alta efficienza, riferiti rispettivamente alle sole unità esterne, alle sole unità interne e alle macchine esterne comprensive di unità interne.

Tabella 5.19 Costi e caratteristiche dei condizionatori multisplit.

Condizionatori autonomi multisplit										
Unità	Costo	Potenza			COP medio	ERR medio	Costo normalizzato			
	€	kW _t	kW _f	kW _{assorbiti}			€/kW _t	€/kW _f	(€/kW _t)/COP	(€/kW _f)/EER
esterna	995,4	3,9	4,4	1,22	3,6	3,2	255	226	70,70	70,70
	1699	5,2	6,8	1,75	3,9	3,0	327	250	83,99	84,13
	1638,7	5,2	6,8	1,71	4,0	3,0	315	241	79,18	79,27
	2304,4	6,8	8,6	2,06	4,2	3,3	339	268	81,27	81,20
interna	342,6	2,7	2	-	-	-	127	171	-	-
	373,2	4	3,5	-	-	-	93	107	-	-
	646	5,8	5	-	-	-	111	129	-	-
	782	7	6	-	-	-	112	130	-	-
esterna + interna	1680,5	-	3,9	-	-	-	-	431	-	-
	2445,3	-	5,2	-	-	-	-	470	-	-
	2666,4	-	5,2	-	-	-	-	513	-	-
	3424,9	-	6,8	-	-	-	-	504	-	-

In fase di valutazione, nel calcolo sono state considerate le macchine con 5,2 e 6,8 kWf di potenza (evidenziati in giallo), secondo le taglie determinate nell'attività precedente [17] ed in linea con i costi degli stessi.

Al costo della tecnologia, è necessario aggiungere il costo relativo alla manodopera per l'installazione dei sistemi. In particolare, per interventi su edifici esistenti, la manodopera equivale al 10% del costo della tecnologia, mentre è uguale al 5% per gli edifici di nuova costruzione.

La Tabella 5.20 riporta il riepilogo dei costi per l'installazione di sistemi di raffrescamento con chiller ad alta efficienza.

Tabella 5.20 Riepilogo dei costi per l'installazione di sistemi di raffrescamento con chiller ad alta efficienza.

Riepilogo costi – chiller ad alta efficienza					
Edificio	Unità	Potenza	EER	Costo per unità	Costo manodopera per unità
		kW _f	-	€	€
Nuova costruzione	Esterna+interna	5,2	3,0	2445,3	122,3
	Esterna+interna	6,8	3,3	3424,9	171,2
Edificio esistente	Esterna+interna	5,2	3,0	2445,3	244,5
	Esterna+interna	6,8	3,3	3424,9	342,5

5.3.2 EEM8: Generatore di calore per riscaldamento centralizzato

La misura consiste nell'installazione di un generatore di calore ad alta efficienza per il solo riscaldamento centralizzato degli ambienti, o la sostituzione dei generatori esistenti con sistemi a maggiore efficienza. A questa misura viene associata anche l'installazione o la sostituzione dei terminali di emissione (Sezione 5.3.6.1).

I generatori di calore considerati in fase di valutazione sono i seguenti:

- Caldaia tradizionale a bassa temperatura;
- Caldaia a condensazione;
- Pompa di calore.

Per quanto riguarda la **caldaia tradizionale a bassa temperatura**, è stata presa in considerazione una caldaia murale ad alto rendimento (classe C in riscaldamento e B in Acs secondo direttiva ErP) da esterno, funzionante a gas metano o gasolio, classe 2 di emissioni NOx, camera aperta a tiraggio naturale, valvola gas, pressostato acqua sanitaria, circolatore, valvola deviatrice, valvola di sicurezza, con protezione antigelo fino a - 15 °C, alimentazione elettrica 230 V-1-50 Hz, per riscaldamento. I costi della caldaia tradizionale sono stati valutati a partire da due specifici livelli di potenza di una macchina tipo (24 e 28 kW). In Tabella 5.21 sono riportati i costi per il generatore di calore in riferimento alla potenza.

Al costo della tecnologia, è necessario aggiungere il costo relativo alla manodopera per l'installazione dei sistemi. In particolare, per interventi su edifici esistenti, la manodopera equivale al 10% del costo della tecnologia, mentre è uguale al 5% per gli edifici di nuova costruzione.

Tabella 5.21 Costi e caratteristiche delle caldaie tradizionali a bassa temperatura.

Caldaia tradizionale		
Potenza	Costo	Costo normalizzato
kW	€	€/kW
24	841	35
28	908	32

In particolare, in questo lavoro è stato considerato un costo base pari a 35 €/kW, riferita ad una potenza di 24 kW. In aggiunta, sono state fatte le seguenti assunzioni:

- È stato assunto un valore minimo ammissibile di potenza del generatore pari a 24 kW (a cui corrisponde un costo minimo di 840 €);
- Per potenze superiori a 24 kW, il costo del generatore risulta pari al prodotto tra il costo normalizzato del generatore, pari a 35 €/kW, e la potenza del generatore.

Al costo della tecnologia, è necessario aggiungere il costo relativo alla manodopera per l'installazione dei sistemi. In particolare, per interventi su edifici esistenti, la manodopera equivale al 10% del costo della tecnologia, mentre è uguale al 5% per gli edifici di nuova costruzione.

La Tabella 5.22 riporta il riepilogo dei costi (tecnologia e manodopera) relativi all'installazione di caldaie tradizionali come generatori di calore per il riscaldamento centralizzato.

Tabella 5.22 Riepilogo dei costi per l'installazione di generatori di calore per riscaldamento centralizzato – caldaia tradizionale.

Riepilogo costi - Caldaia tradizionale					
Edificio	Potenza	Costo normalizzato	Costo generatore	Costo manutenzione	Costo finale generatore
	kW	€/kW	€	%	€
Esistente	< 24	35	840	10	924
	≥ 24	35	$35 \cdot P_n$		$(35 \cdot P_n) \cdot 1,1$
Nuova costruzione	< 24	35	840	5	882
	≥ 24	35	$35 \cdot P_n$		$(35 \cdot P_n) \cdot 1,05$

Per quanto riguarda la **caldaia a condensazione**, per la definizione dei costi, sono state considerate tre diversi range di potenza termica nominale, contraddistinti da tre diverse tipologie di macchina-tipo di piccola, media e grande taglia. I range sono caratterizzati da valori di potenza e costo variabile. L'analisi dell'andamento del costo normalizzato in funzione della potenza consente di definire, per ognuna delle tre taglie mediante regressione, il costo della macchina-tipo con potenza compresa nel range considerato. Di seguito vengono riportate le caratteristiche dei sistemi considerati e i costi riferiti a diverse potenze:

- Taglia piccola: caldaia a basamento a condensazione ad alto rendimento (classe A), camera stagna, bruciatore atmosferico, scambiatore, pompa di circolazione, vaso d'espansione, valvola miscelatrice, valvola di ritegno, valvola di sicurezza caldaia e bollitore, valvolina di sfiato aria, rubinetto di scarico bollitore. La Tabella 5.23 riporta i costi del generatore per diverse potenze nominali; la Figura 5.3 riporta la relazione tra il costo normalizzato del generatore e la potenza nominale.

Tabella 5.23 Costi e caratteristiche delle caldaie a condensazione di taglia piccola.

Caldaia a condensazione – taglia piccola		
Potenza	Costo	Costo normalizzato
kW	€	€/kW
17,2	1.797	104
24,3	2.267	93
33,3	2.624	79

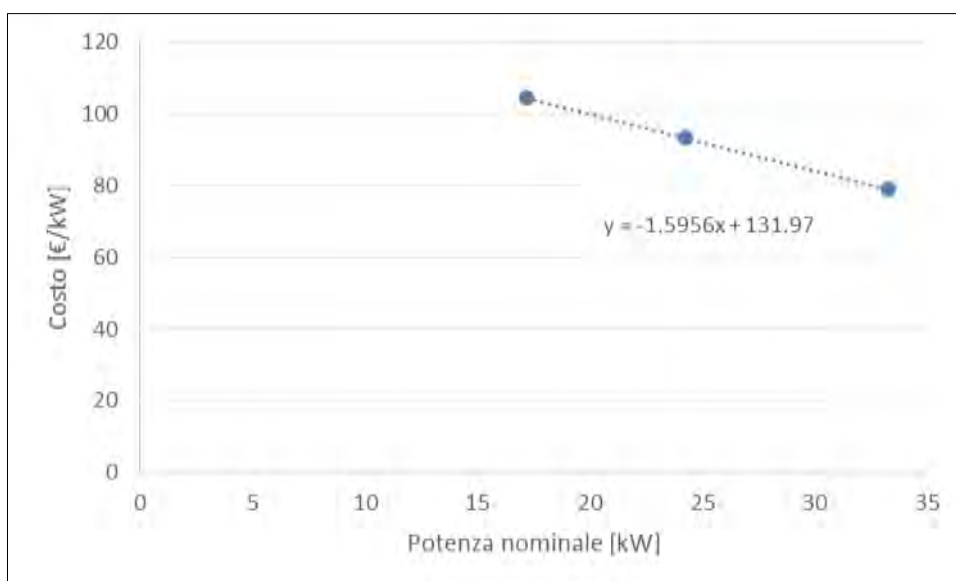


Figura 5.3 Costi normalizzati delle caldaie a condensazione di taglia piccola.

- Taglia media: caldaia murale a condensazione ad alto rendimento (classe A) adatta anche per installazione a cascata con scambiatore termico in acciaio, bruciatore in acciaio inox, con superficie in fibra metallica per la combustione del metano a bassa emissione di sostanze nocive, ventilatore alimentato a corrente continua con velocità variabile, regolazione gas/aria per ottimizzare la combustione e modulazione della potenza, classe 5 di emissione di NOx; funzionamento del bruciatore completamente automatico, con accensione ad alta tensione e controllo della fiamma di ionizzazione; pannello di comando della caldaia integrato; dispositivo di sicurezza a microprocessore, valvola gas combinata composta da due valvole principali, rivestimento colorato verniciato a polvere e termo isolamento, alimentazione elettrica. La Tabella 5.24 riporta i costi del generatore per diverse potenze nominali; la Figura 5.4 riporta la relazione tra il costo normalizzato del generatore e la potenza nominale.

Tabella 5.24 Costi e caratteristiche delle caldaie a condensazione di taglia media.

Caldaia a condensazione – taglia media		
Potenza	Costo	Costo normalizzato
kW	€	€/kW
45	1.999	44
70	2.421	35
82	3.059	37
102	3.801	37
123	4.271	35

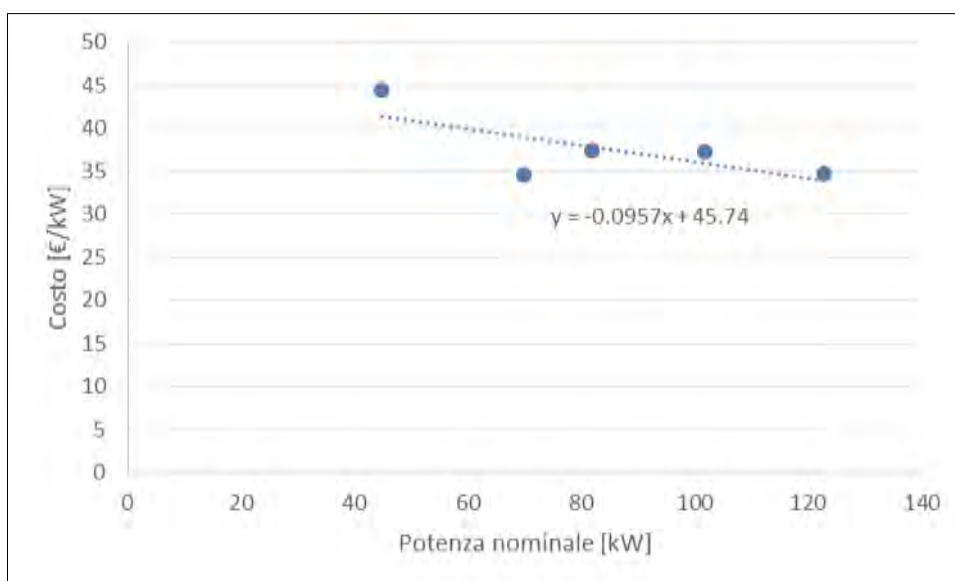


Figura 5.4 Costi normalizzati delle caldaie a condensazione di taglia media.

- Taglia grande: caldaia a basamento a condensazione ad alto rendimento (classe A) adatta anche per installazione a cascata, con scambiatore termico in alluminio-silicio, bruciatore in acciaio inox, con superficie in fibra metallica per la combustione del metano a bassa emissione di sostanze nocive, ventilatore alimentato a corrente continua con velocità costante, controllo aria comburente per mezzo del sensore della pressione differenziale, regolazione gas/aria per ottimizzare la combustione e modulazione della potenza, funzionamento del bruciatore completamente automatico, con accensione ad alta tensione e controllo della fiamma di ionizzazione, pannello di comando della caldaia integrato, dispositivo di sicurezza a microprocessore, valvola del gas combinata composta da due valvole. La Tabella 5.25 riporta i costi del generatore per diverse potenze nominali; la Figura 5.5 riporta la relazione tra il costo normalizzato del generatore per la potenza nominale.

Tabella 5.25 Costi e caratteristiche delle caldaie a condensazione di taglia grande.

Caldaia a condensazione – taglia grande		
Potenza	Costo	Costo normalizzato
kW	€	€/kW
115	6.995	61
150	9.023	60
200	10.352	52
240	12.161	51
280	13.220	47

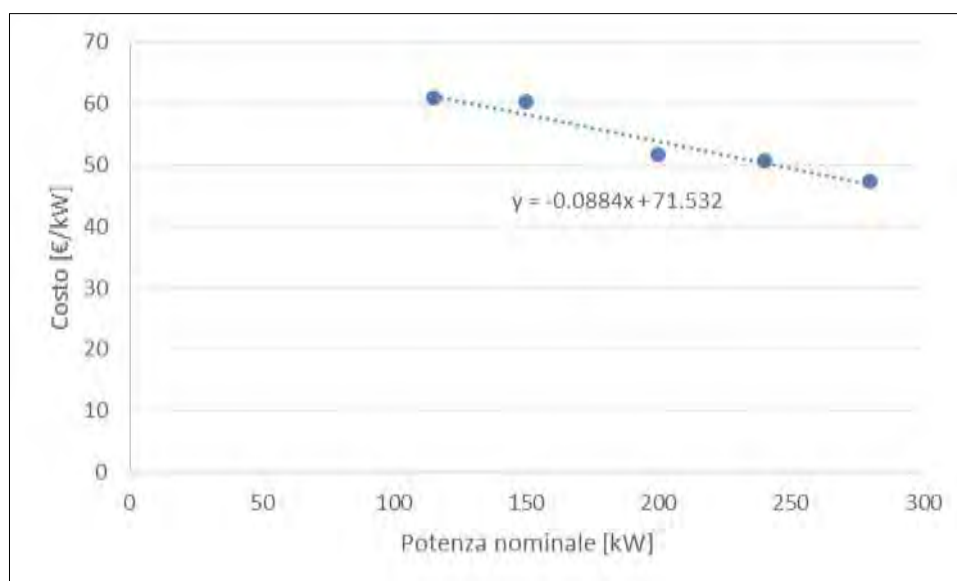


Figura 5.5 Costi normalizzati delle caldaie a condensazione di taglia grande.

In questo lavoro si è fatto riferimento, in particolare, alla relazione tra il costo normalizzato e la potenza nominale del generatore. Infatti, per valutare il costo del generatore, sono state considerate cinque fasce di potenza nominale (v. Tabella 5.26, ciascuna associata ad una taglia di generatore e ad un'equazione per la definizione del costo normalizzato. Come per la caldaia tradizionale a bassa temperatura, sono state fatte le seguenti assunzioni:

- È stato assunto un valore minimo ammissibile di potenza del generatore pari a 17 kW, a cui corrisponde un costo minimo di 1785 €;
- Per potenze comprese tra 17 kW e 300 kW, il costo normalizzato del generatore varia in relazione alla potenza nominale del generatore e alla taglia corrispondente;
- Per potenze superiori a 300 kW, si assume un costo normalizzato costante, pari a 45 €/kW.

Al costo della tecnologia, è necessario aggiungere il costo relativo alla manodopera per l'installazione dei sistemi. In particolare, per interventi su edifici esistenti, la manodopera equivale al 10% del costo della tecnologia, mentre è uguale al 5% per gli edifici di nuova costruzione.

La Tabella 5.26 riporta il riepilogo dei costi (tecnologia e manodopera) relativi all'installazione di caldaie a condensazione come generatori di calore per il riscaldamento centralizzato.

Tabella 5.26 Riepilogo dei costi per l'installazione di generatori di calore per riscaldamento centralizzato – caldaia a condensazione.

Riepilogo costi – caldaia a condensazione					
Edificio	Taglia	Potenza	Costo normalizzato	Costo	Costo manodopera
		kW	€/kW	€	%
Esistente	Piccola	< 17	105	1785	10
		17 – 50	$-1,5956 \cdot P_n + 131,97$	$(-1,5956 \cdot P_n + 131,97) \cdot P_n$	
	Media	51 – 120	$-0,0957 \cdot P_n + 45,740$	$(-0,0957 \cdot P_n + 45,740) \cdot P_n$	
		121 - 300	$-0,0884 \cdot P_n + 71,532$	$(-0,0884 \cdot P_n + 71,532) \cdot P_n$	
	Grande	> 300	45	$45 \cdot P_n$	
Nuova costruzione	Piccola	< 17	105	1785	5
		17 – 50	$-1,5956 \cdot P_n + 131,97$	$(-1,5956 \cdot P_n + 131,97) \cdot P_n$	
	Media	51 – 120	$-0,0957 \cdot P_n + 45,740$	$(-0,0957 \cdot P_n + 45,740) \cdot P_n$	
		121 - 300	$-0,0884 \cdot P_n + 71,532$	$(-0,0884 \cdot P_n + 71,532) \cdot P_n$	
	Grande	> 300	45	$45 \cdot P_n$	

Per quanto riguarda la **pompa di calore**, è stata considerata una pompa di calore a compressione aria-acqua. Per la definizione dei costi, sono state considerate diverse macchine di potenza e costo variabile. Attraverso l'analisi dell'andamento del costo normalizzato in funzione della potenza è stato possibile definire mediante regressione il costo della macchina tipo con potenza termica compresa nel range considerato (25 – 170 kW_t). In particolare, è stata considerata un'unità motocondensante esterna a volume (flusso) di refrigerante variabile a recupero di calore, condensata ad aria dotata di compressori ermetici del tipo scroll ad inverter, variazione automatica e dinamica della temperatura di evaporazione/condensazione del refrigerante, riscaldamento continuo durante la fase di sbrinamento, delle funzioni di carica e verifica automatica del quantitativo di refrigerante presente all'interno dell'impianto, possibilità di alimentazione mediante circuito frigorifero a due o tre tubi in rame di unità interne di diversa tipologia con una potenzialità totale sino al 200% della potenzialità totale dell'unità esterna, trasmissione dati mediante cavo di bus del tipo bipolare non polarizzato, struttura esterna in lamiera zincata con verniciatura acrilica, griglie di ripresa aria batterie disposte sui lati maggiori della macchina con espulsione dall'alto mediante uno o più ventilatori elicoidali a basso numero di giri equilibrati dinamicamente e staticamente. In Tabella 5.27 vengono riportati i costi riferiti a diverse potenze e nelle Figure Figura 5.6 e Figura 5.7 la relazione tra la potenza nominale del generatore e il costo normalizzato.

Tabella 5.27 Costi e caratteristiche delle pompe di calore aria-acqua.

Pompa di calore aria-acqua									
Costo	Potenza			COP medio	ERR medio	Costo normalizzato			
€	kW _t	kW _f	kW _{assorbiti}			€/kW _t	€/kW _f	(€/kW _t)/COP	(€/kW _f)/EER
7.494	25,0	22,4	4,56	5,48	4,91	300	335	54,7	68
9.145	31,5	28,0	6,19	5,09	4,52	290	327	57,1	72
10.263	37,5	33,5	8,31	4,51	4,03	274	306	60,6	76
11.973	45,0	40,0	9,61	4,68	4,16	266	299	56,8	72
14.988	50,0	45,0	9,88	5,06	4,55	300	333	59,2	73
16.047	56,5	50,4	15,20	3,72	3,32	284	318	76,4	96
17.757	63,0	56,0	18,60	3,39	3,01	282	317	83,2	105
18.816	69,0	61,5	16,38	4,21	3,75	273	306	64,7	81
21.170	75,0	67,4	18,11	4,14	3,72	282	314	68,2	84
22.237	82,5	73,5	19,93	4,14	3,69	270	303	65,1	82

Pompa di calore aria-acqua									
Costo €	Potenza			COP medio	ERR medio	Costo normalizzato			
	kW _t	kW _f	kW _{assorbiti}			€/kW _t	€/kW _f	(€/kW _t)/COP	(€/kW _f)/EER
23.939	87,5	78,5	19,25	4,55	4,08	274	305	60,2	75
25.997	94,0	83,9	24,43	3,85	3,43	277	310	71,9	90
27.352	100,0	90,0	22,40	4,46	4,02	274	304	61,3	76
29.410	106,5	95,4	28,00	3,80	3,41	276	308	72,6	90
30.722	113,0	101,0	31,40	3,60	3,22	272	304	75,5	95
33.491	119,0	106,3	29,74	4,00	3,57	281	315	70,3	88
34.549	125,5	111,9	31,58	3,97	3,54	275	309	69,3	87
35.904	131,5	118	32,75	4,02	3,60	273	304	68,0	84
37.615	137,5	123,5	34,83	3,95	3,55	274	305	69,3	86
39.325	145,0	130	36,3	3,99	3,58	271	303	67,9	84
41.027	150,0	135	38,4	3,91	3,52	274	304	70,0	86
43.085	156,5	140	40,8	3,84	3,43	275	308	71,8	90
45.143	163,0	145,8	43,2	3,77	3,38	277	310	73,4	92
47.201	169,5	151,2	45,6	3,72	3,32	278	312	74,9	94

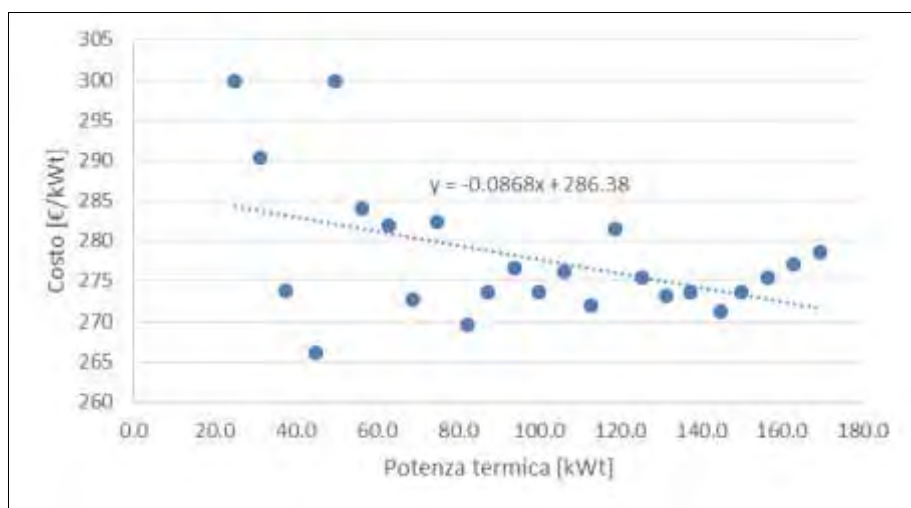


Figura 5.6 Costi normalizzati (€/kW_t) delle pompe di calore aria-acqua.

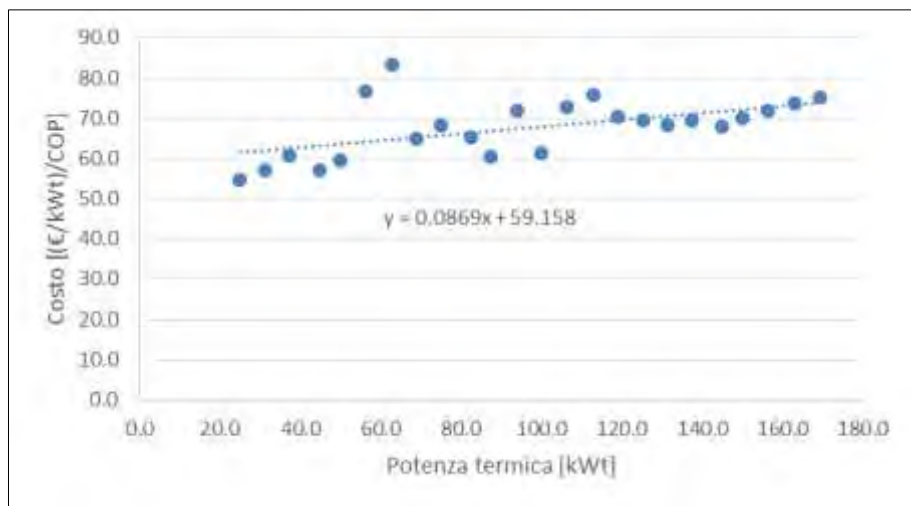


Figura 5.7 Costi normalizzati ((€/kW_t)/COP) delle pompe di calore aria-acqua.

In questo lavoro si è fatto riferimento, in particolare, alla relazione tra il costo normalizzato (€/kW·COP) e la potenza nominale del generatore. Infatti, per valutare il costo del generatore, sono state considerate tre fasce di potenza nominale. In Tabella 5.28 sono riportati i costi per il generatore di calore in riferimento alla potenza. Come per i generatori di calore riportati precedentemente, sono state fatte le seguenti assunzioni:

- È stato assunto un valore minimo ammissibile di potenza del generatore pari a 25 kW, a cui corrisponde un costo normalizzato costante di 61,33 €/kW·COP;
- Per potenze comprese tra 25 kW e 170 kW, il costo normalizzato del generatore varia in relazione alla potenza nominale del generatore;
- Per potenze superiori a 170 kW, si assume un costo normalizzato costante, pari a 73,93 €/kW·COP per generatore.

Al costo della tecnologia, è necessario aggiungere il costo relativo alla manodopera per l'installazione dei sistemi. In particolare, per interventi su edifici esistenti, la manodopera equivale al 10% del costo della tecnologia, mentre è uguale al 5% per gli edifici di nuova costruzione.

Tabella 5.28 Riepilogo dei costi per l'installazione di generatori di calore per riscaldamento centralizzato – pompa di calore aria-acqua.

Riepilogo costi – pompa di calore aria-acqua				
Edificio	Potenza	Costo normalizzato	Costo generatore	Costo manodopera
	kW	€/kW·COP	€	%
Esistente	< 25	61,33	$61,33 \cdot (P_n \cdot \text{COP})$	10
	25 – 170	$0,0869 \cdot P_n + 59,158$	$(0,0869 \cdot P_n + 59,158) \cdot (P_n \cdot \text{COP})$	
	> 170	73,93	$73,93 \cdot (P_n \cdot \text{COP})$	
Nuova costruzione	< 25	61,33	$61,33 \cdot (P_n \cdot \text{COP})$	5
	25 – 170	$0,0869 \cdot P_n + 59,158$	$(0,0869 \cdot P_n + 59,158) \cdot (P_n \cdot \text{COP})$	
	> 170	73,93	$73,93 \cdot (P_n \cdot \text{COP})$	

5.3.3 EEM9: Generatore di calore per la produzione di acqua calda sanitaria

La misura consiste nell'installazione di un generatore di calore ad alta efficienza per la produzione di acqua calda sanitaria (scalda-acqua autonomi), o la sostituzione dei generatori esistenti con sistemi a maggiore efficienza. Per la definizione dei costi, sono stati considerati sistemi con **caldaie tradizionali a bassa temperatura e caldaie a condensazione**.

Per quanto riguarda la descrizione e i costi dei generatori di calore considerati, si fa riferimento a quanto riportato nella Sezione 5.3.2, relativo ai generatori ad alta efficienza per il solo riscaldamento. In particolare, per la caldaia tradizionale si assume un costo normalizzato pari a 35 €/kW e sono state fatte le seguenti assunzioni:

- È stato assunto un valore minimo ammissibile di potenza del generatore pari a 10 kW, valore tipico degli scalda-bagno autonomi, a cui corrisponde un costo minimo di 350 €;
- Per potenze superiori a 10 kW, il costo del generatore risulta pari al prodotto tra il costo normalizzato del generatore, pari a 35 €/kW, e la potenza del generatore.

Per la caldaia a condensazione, invece, è stato assunto un costo normalizzato pari a 105 €/kW e sono state fatte le seguenti assunzioni:

- È stato assunto un valore minimo ammissibile di potenza del generatore pari a 10 kW, valore tipico degli scalda-bagno autonomi, a cui corrisponde un costo minimo di 1050 €;

- Per potenze superiori a 10 kW, il costo del generatore risulta pari al prodotto tra il costo normalizzato del generatore, pari a 105 €/kW, e la potenza del generatore.

Al costo della tecnologia, è necessario aggiungere il costo relativo alla manodopera per l'installazione dei sistemi. In particolare, per interventi su edifici esistenti, la manodopera equivale al 10% del costo della tecnologia, mentre è uguale al 5% per gli edifici di nuova costruzione. La Tabella 5.29 riporta il riepilogo dei costi per l'installazione dei sistemi autonomi di produzione di acqua calda sanitaria.

Tabella 5.29 Riepilogo dei costi per l'installazione di generatori di calore autonomi per la produzione di acqua calda sanitaria.

Riepilogo costi – Generatori di calore autonomi per la produzione di acqua calda sanitaria						
Edificio	Generatore di calore	Potenza	Costo normalizzato	Costo generatore	Costo manutenzione	Costo finale generatore
		kW	€/kW	€	%	€
Esistente	Tradizionale	< 10	35	350	10	385
		≥ 10		$35 \cdot P_n$		$(35 \cdot P_n) \cdot 1,10$
	Condensazione	< 10	105	1050		1155
		≥ 10		$105 \cdot P_n$		$(105 \cdot P_n) \cdot 1,10$
Nuovo	Tradizionale	< 10	35	350	5	367,5
		≥ 10		$35 \cdot P_n$		$(35 \cdot P_n) \cdot 1,05$
	Condensazione	< 10	105	1050		1102,5
		≥ 10		$105 \cdot P_n$		$(105 \cdot P_n) \cdot 1,05$

5.3.4 EEM10: Generatore di calore combinato per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria

La misura consiste nell'installazione di un generatore di calore combinato ad alta efficienza per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria, o la sostituzione dei generatori esistenti con sistemi a maggiore efficienza. A questa misura viene associata anche l'installazione o la sostituzione dei terminali di emissione (Sezione 5.3.6.1).

Per la definizione dei costi, sono stati considerati sistemi diversi a seconda che l'edificio fosse ad uso residenziale o non residenziale. In particolare, sono stati considerati i seguenti generatori di calore:

- **Caldia a condensazione** autonoma per edifici ad uso residenziale;
- **Caldia a condensazione o pompa di calore con accumulo** centralizzate per edifici ad uso non residenziale.

Per la definizione dei costi della caldaia a condensazione combinata per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria in edifici ad uso residenziale è stata considerata una caldaia murale a condensazione ad alto rendimento (classe A) con scambiatore termico e bruciatore in acciaio inox, con superficie in fibra metallica per la combustione del metano a bassa emissione di sostanze nocive, ventilatore alimentato a corrente continua con velocità variabile, regolazione gas/aria per ottimizzare la combustione, valvola del gas combinata, modulazione della potenza, funzionamento del bruciatore completamente automatico, con accensione ad alta tensione e controllo della fiamma di ionizzazione, pannello di comando della caldaia integrato, dispositivo di sicurezza a microprocessore, in opera esclusi circolatori, vaso d'espansione e collegamenti elettrici. La Tabella 5.30 riporta i costi del generatore in relazione a diverse taglie, mentre la Figura 5.8 mostra la relazione tra il costo normalizzato del generatore e la sua potenza nominale. I costi riportati sono comprensivi del costo relativi alla manodopera.

Tabella 5.30 Costi e caratteristiche delle caldaie a condensazione per il riscaldamento e la produzione combinata di acqua calda sanitaria per edifici ad uso residenziale (impianti autonomi).

Caldaia a condensazione (riscaldamento e ACS) – edifici ad uso residenziale		
Potenza	Costo	Costo normalizzato
kW	€	€/kW
25	2357	94
30	2454	82
34	2619	77

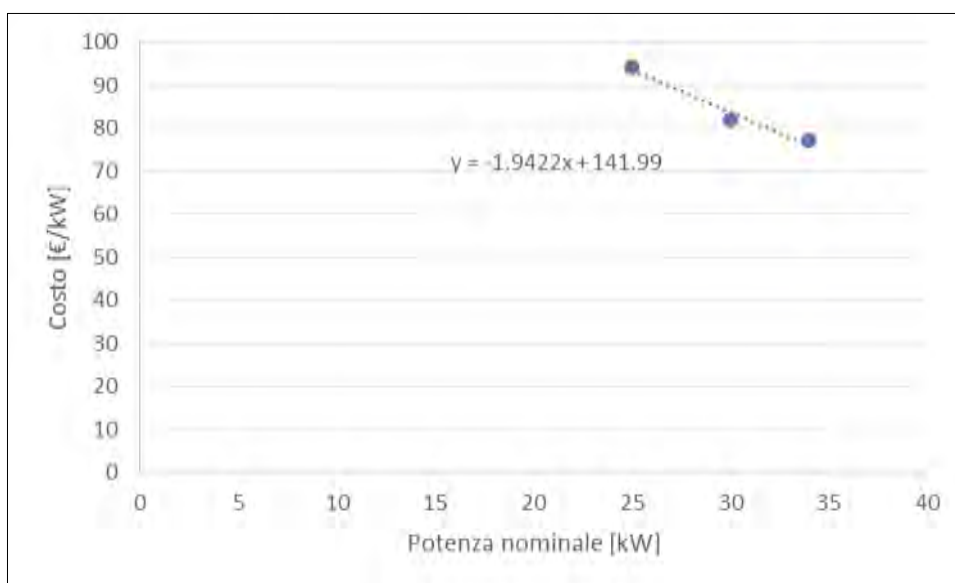


Figura 5.8 Costi normalizzati delle caldaie a condensazione per il riscaldamento e la produzione combinata di acqua calda sanitaria per edifici ad uso residenziale (impianti autonomi).

Nel presente lavoro, sono state fatte le seguenti assunzioni:

- È stato assunto un valore minimo ammissibile di potenza del generatore pari a 25 kW, a cui corrisponde un costo normalizzato costante pari a 94 €/kW;
- Per potenze comprese tra 25 kW e 34 kW, il costo normalizzato del generatore varia in relazione alla potenza nominale del generatore;
- Per potenze superiori a 34 kW, si assume un costo normalizzato costante pari a 76 €/kW.

La Tabella 5.31 riporta il riepilogo dei costi (tecnologia e manodopera) relativi all'installazione di caldaie a condensazione autonome come generatori di calore combinati per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria.

Tabella 5.31 Riepilogo dei costi per l'installazione di generatori di calore combinati per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria – edifici ad uso residenziale (impianti autonomi).

Riepilogo costi – caldaia a condensazione (riscaldamento e ACS)			
Potenza	Costo normalizzato	Costo	Costo manodopera
kW	€/kW	€	
≤ 25	94	$94 * P_n$	Inclusa
25 – 34	$-1,9422 * P_n + 141,99$	$(-1,9422 * P_n + 141,99) * P_n$	
≥ 34	76	$76 * P_n$	

Per quanto riguarda gli edifici non residenziali, per i costi dei generatori (caldaia a condensazione e pompa di calore aria-acqua) si fa riferimento a quanto riportato nella Sezione precedente (Sezione 5.3.2), maggiorati dei costi di manodopera, pari al 10% e al 5% del costo del generatore, rispettivamente per edifici esistenti e di nuova costruzione.

5.3.5 EEM11: Generatore di calore combinato per riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria

La misura consiste nell'installazione di un generatore di calore combinato ad alta efficienza per il riscaldamento, il raffrescamento e la produzione di acqua calda sanitaria, o la sostituzione dei generatori esistenti con sistemi a maggiore efficienza. In particolare, per questa misura si fa riferimento ad una pompa di calore aria-acqua. In particolare, il sistema di considera composto da due pompe di calore per i seguenti usi:

- Pompa di calore 1) riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria nel periodo invernale, e solo raffrescamento nel periodo estivo;
- Pompa di calore 2) produzione di acqua calda sanitaria nel periodo estivo.

Per il costo della pompa di calore si fa riferimento alla Sezione 5.3.2, alle Tabelle Tabella **5.27** e Tabella 5.28, e alle Figure Figura 5.6 e Figura 5.7, maggiorato dei costi di manodopera (pari al 10% e al 5% del costo del generatore, rispettivamente per edifici esistenti e di nuova costruzione).

5.3.6 Costi aggiuntivi associati alle misure EEM8, EEM10 e EEM11

5.3.6.1 Terminali di emissione

Le misure relative alla sostituzione o installazione di generatori di calore per il solo riscaldamento (EEM8), per il combinato riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria (EEM10) e il combinato riscaldamento, raffrescamento e produzione acqua calda sanitaria (EEM11) vengono associate alla sostituzione o installazione dei terminali di emissione. I sistemi di emissioni considerati sono i seguenti:

- Ventilconvettori (uso riscaldamento e uso raffrescamento);
- Radiatori;
- Pannelli radianti.

Per quanto riguarda i **ventilconvettori**, sono stati considerati ventilconvettore con ventilatore di mandata del tipo centrifugo assiale costituito da carter in lamiera metallica verniciata a fuoco, telaio portante in profilati metallici, vasca di raccolta condensa, filtri in materiale sintetico rigenerabile, commutatore di velocità a tre posizioni, piedini di sostegno, con le seguenti prestazioni in condizioni medie di funzionamento (temperatura acqua in raffreddamento 7/12 °C, temperatura acqua in riscaldamento 50/40 °C), con una batteria a 4 ranghi, con mobile per installazione verticale. I costi sono stati per diverse potenze, riportati nelle Tabelle 5.32 e 5.33 e sono state ricavate delle relazioni di estrapolazione da

utilizzare per la valutazione del costo del sistema tipo con potenza termica compresa nel range considerato (Figura 5.9). I costi riportati sono comprensivi del costo relativo alla manodopera.

Tabella 5.32 Costi e caratteristiche dei ventilconvettori ad uso riscaldamento.

Ventilconvettori – uso riscaldamento		
Costo	Potenza	Costo normalizzato
€	kW _t	€/kW _t
292	1,27	229,6
313	1,72	181,6
339	2,23	152,2
358	2,72	131,7
379	3,81	99,4
414	4,69	88,3
457	5,55	82,4
518	7,36	70,3
538	8,53	63,1

Tabella 5.33 Costi e caratteristiche dei ventilconvettori ad uso raffrescamento.

Ventilconvettori – uso raffrescamento		
Costo	Potenza	Costo normalizzato
€	kW _f	€/kW _f
292	1,02	285,9
313	1,43	218,4
339	1,89	179,5
358	2,28	157,1
379	3,25	116,6
414	3,86	107,3
457	4,64	98,5
518	5,73	90,3
538	6,54	82,3

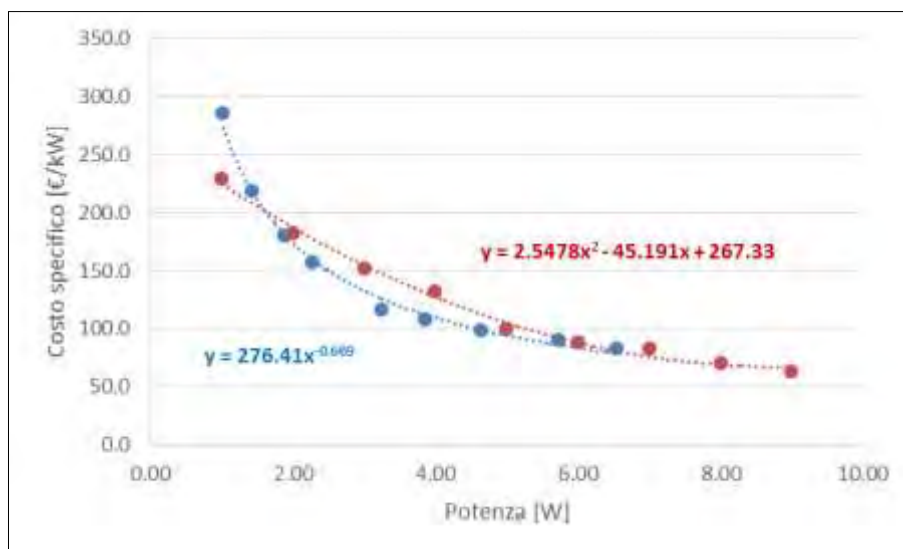


Figura 5.9 Costi normalizzati dei ventilconvettori ad uso riscaldamento (in rosso) e raffrescamento (in blu).

Nel presente lavoro, sono state fatte le assunzioni riportate di seguito. In particolare, per i ventilconvettori ad uso riscaldamento:

- Per potenze inferiori a 1,27 kW, si assume un costo normalizzato costante pari a 229,6 €/kW;
- Per potenze comprese tra 1,27 kW e 8,53 kW, il costo normalizzato del generatore varia in relazione alla potenza nominale del terminale;
- Per potenze superiori a 8,53 kW, si assume un costo normalizzato costante pari a 8,53 €/kW.

La Tabella 5.34 riporta il riepilogo dei costi (tecnologia e manodopera) relativi all'installazione di ventilconvettori ad uso riscaldamento.

Tabella 5.34 Riepilogo dei costi dei ventilconvettori ad uso riscaldamento.

Riepilogo costi – ventilconvettori (uso riscaldamento)			
Potenza	Costo normalizzato	Costo	Costo manodopera
kW	€/kW	€	
≤ 1,27	229,6	$229,6 \cdot P_n$	Inclusa
1,27 – 8,53	$2,5478 \cdot P_n^2 - 45,191 \cdot P_n + 267,33$	$(2,5478 \cdot P_n^2 - 45,191 \cdot P_n + 267,33) \cdot P_n$	
≥ 8,53	8,53	$8,53 \cdot P_n$	

Invece, per i ventilconvettori ad uso raffrescamento:

- Per potenze inferiori a 1,02 kW, si assume un costo normalizzato costante pari a 285,9 €/kW;
- Per potenze comprese tra 1,02 kW e 5,3 kW, il costo normalizzato del generatore varia in relazione alla potenza nominale del terminale;
- Per potenze superiori a 5,3 kW, si assume un costo normalizzato costante pari a 90,3 €/kW.

La Tabella 5.35 riporta il riepilogo dei costi (tecnologia e manodopera) relativi all'installazione di ventilconvettori ad uso raffrescamento.

Tabella 5.35 Riepilogo dei costi dei ventilconvettori ad uso raffrescamento.

Riepilogo costi – ventilconvettori (uso raffrescamento)			
Potenza	Costo normalizzato	Costo	Costo manodopera
kW	€/kW	€	
≤ 1,02	285,9	$285,9 \cdot P_n$	Inclusa
1,02 – 5,3	$276,41 P_n^{-0,669}$	$276,41 P_n^{-0,669} \cdot P_n$	
≥ 5,3	90,3	$90,3 \cdot P_n$	

In riferimento alla misura EEM11 (pompa di calore), in cui i ventilconvettori vengono utilizzati sia per il riscaldamento che il raffrescamento, il costo viene valutato in funzione della massima potenza tra riscaldamento e raffrescamento. Quindi, se prevale la potenza di riscaldamento, il costo dei terminali farà riferimento al costo dei ventilconvettori ad uso riscaldamento; al contrario, il costo farà riferimento al costo dei ventilconvettori ad uso raffrescamento.

Per quanto riguarda i **radiatori**, sono stati considerati radiatori in alluminio ad elementi componibili con profondità compresa tra 95 e 100 mm, preverniciati al forno con polveri epossidiche e preassemblati mediante nipples in acciaio. I costi sono stati valutati per diverse potenze, riportati nella Tabella 5.36 e sono state ricavate delle relazioni di estrapolazione da utilizzare per la valutazione del costo del sistema tipo con

potenza termica compresa nel range considerato (Figura 5.10). I costi riportati sono comprensivi del costo relativo alla manodopera.

Tabella 5.36 Costi e caratteristiche dei radiatori.

Costo radiatori			
N. Elementi	Potenza	Costo	Costo normalizzato
	W	€	€/W
2	370	94	254,6
4	740	128	173,5
6	1110	162	145,9
8	1480	196	132,1
10	1850	229	123,9
12	2220	263	118,4

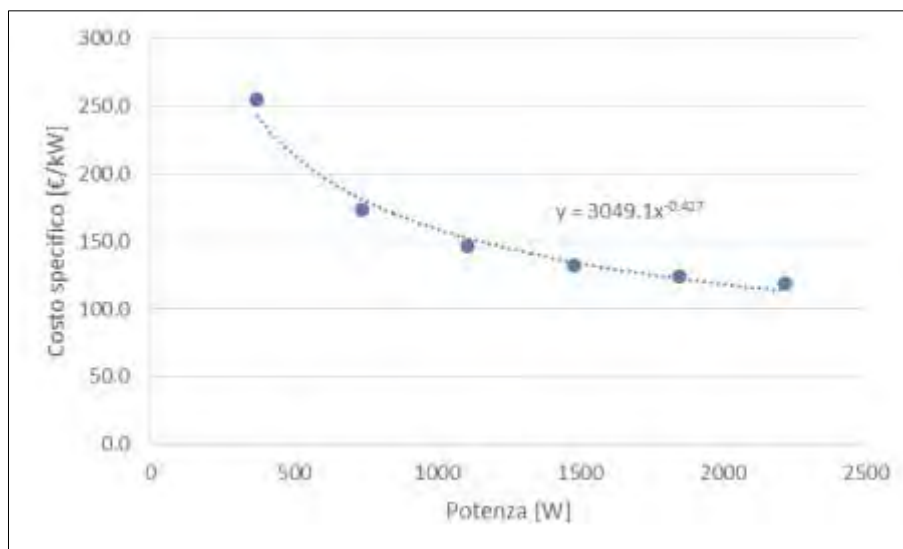


Figura 5.10 Costi normalizzati dei radiatori.

Nel presente lavoro, sono state fatte le seguenti assunzioni:

- Per potenze inferiori a 0,37 kW, si assume un costo normalizzato costante pari a 254,6 €/kW;
- Per potenze comprese tra 0,37 kW e 2,2 kW, il costo normalizzato del generatore varia in relazione alla potenza nominale del terminale;
- Per potenze superiori a 2,2 kW, si assume un costo normalizzato costante pari a 118,4 €/kW.

La Tabella 5.37 riporta il riepilogo dei costi (tecnologia e manodopera) relativi all'installazione di radiatori.

Tabella 5.37 Riepilogo dei costi dei radiatori.

Riepilogo costi – radiatori			
Potenza	Costo normalizzato	Costo	Costo manodopera
kW	€/kW	€	
≤ 0,37	254,6	$254,6 \cdot P_n$	Inclusa
0,37 – 2,2	$3049,1 \cdot P_n^{-0,427}$	$3049,1 \cdot P_n^{-0,427} \cdot P_n$	
≥ 82,2	118,4	$118,4 \cdot P_n$	

Infine, per quanto riguarda i **pannelli radianti**, è stato considerato un impianto a pavimento completo di pannelli porta tubo, tubazione in polietilene reticolato, bordatura isolante, collettori di distribuzione, giunti di dilatazione, centralina climatica di regolazione, valvola motorizzata a tre vie da 1/2", valvola di taratura e disareatore. Il costo normalizzato del sistema (riportato in Tabella 5.38) è espresso in funzione della superficie utile di pavimento ed è comprensivo del costo relativo alla manodopera.

Tabella 5.38 Costi e caratteristiche dei pannelli radianti.

Costo pannelli radianti		
Costo normalizzato	Costo	Costo manodopera
€/m ²	€	
101	101*S _p	Inclusa

5.3.6.2 Serbatoio di accumulo

In presenza di una pompa di calore, per questa misura è necessario aggiungere i costi relativi al **sistema di accumulo** di acqua calda. Per la definizione dei costi, si fa riferimento ad un bollitore modulare (classe C) in acciaio, verticale e coibentato, con temperatura massima di accumulo pari a 99°C, corredato di termostato e termometro, e scambiatore spirale fisso. La Tabella 5.39 riporta i costi dell'accumulo in relazione a diverse capacità, mentre la Figura 5.11 Costi normalizzati dei sistemi di accumulo, mostra la relazione tra il costo normalizzato dell'accumulo e la sua capacità. I costi riportati sono comprensivi del costo relativi alla manodopera.

Tabella 5.39 Costi e caratteristiche dei sistemi di accumulo.

Sistema di accumulo		
Capacità	Costo	Costo specifico
l	€	€/l
160	1481	9,3
300	2054	6,8
500	2881	5,8
800	3644	4,6
1.000	4351	4,4
1.400	4820	3,4
2.000	5631	2,8

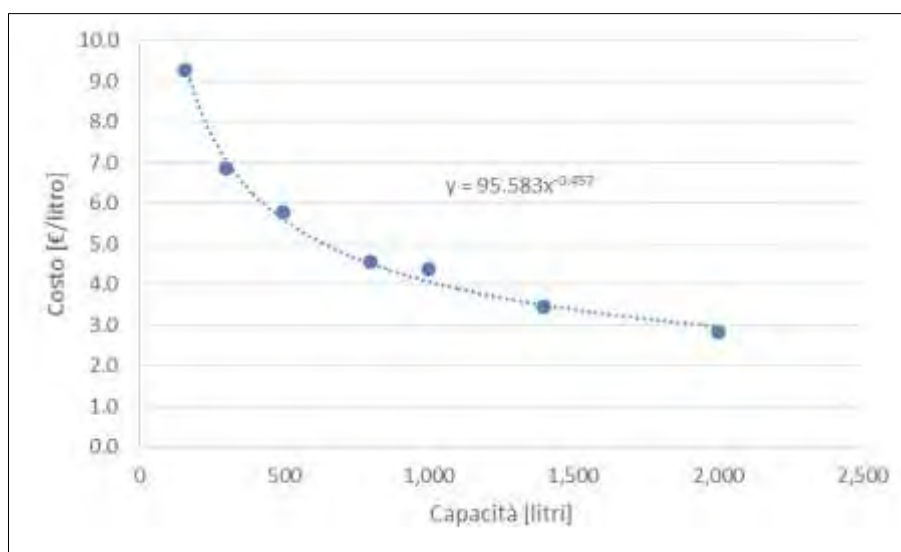


Figura 5.11 Costi normalizzati dei sistemi di accumulo.

Nel presente lavoro, sono state fatte le seguenti assunzioni:

- Per capacità inferiori a 160 l, si assume un costo normalizzato costante pari a 9,4 €/l;
- Per capacità comprese tra 160 l e 2000 l, il costo normalizzato dell'accumulo varia in relazione alla capacità dell'accumulo;
- Per capacità superiori a 2000 l, si assume un costo normalizzato costante pari a 3 €/l.

La Tabella 5.40 riporta il riepilogo dei costi (tecnologia e manodopera) relativi all'installazione di sistemi di accumulo.

Tabella 5.40 Riepilogo dei costi dei sistemi di accumulo.

Riepilogo costi – sistemi di accumulo			
Capacità	Costo normalizzato	Costo	Costo manodopera
l	€/l	€	
≤ 160	9,4	9,4*V	Inclusa
160 – 2000	$95,583 \cdot V^{0,457}$	$(95,583 \cdot V^{0,457}) \cdot V$	
≥ 2000	3	3*V	

5.3.7 EEM12: Impianto solare termico

La misura consiste nell'installazione di un impianto solare per la produzione di acqua calda sanitaria. In particolare, si fa riferimento ad un sistema composto da collettori solari a tubi sottovuoto in acciaio inox, bollitore per ACS a doppio scambiatore con doppia vetrificazione interna e rivestimento esterno in poliuretano e PVC, scambiatore in acciaio al carbonio, stazione solare premontata, centralina per la gestione del circuito solare e valvola miscelatrice termostatica.

I costi sono stati valutati per diverse superfici dei collettori, riportati in Tabella 5.41 e sono state ricavate delle relazioni di estrapolazione da utilizzare per la valutazione del costo del sistema tipo con potenza termica compresa nel range considerato (Figura 5.12). I costi riportati sono comprensivi del costo relativo all'accumulo di acqua calda e alla manodopera.

Tabella 5.41 Costi e caratteristiche dei collettori solari termici.

Collettori solari termici		
Costo	Superficie	Costo specifico
€	m ²	€/m ²
5615	3,94	1426
6398	4,93	1297
7846	7,88	997
8212	9,87	832

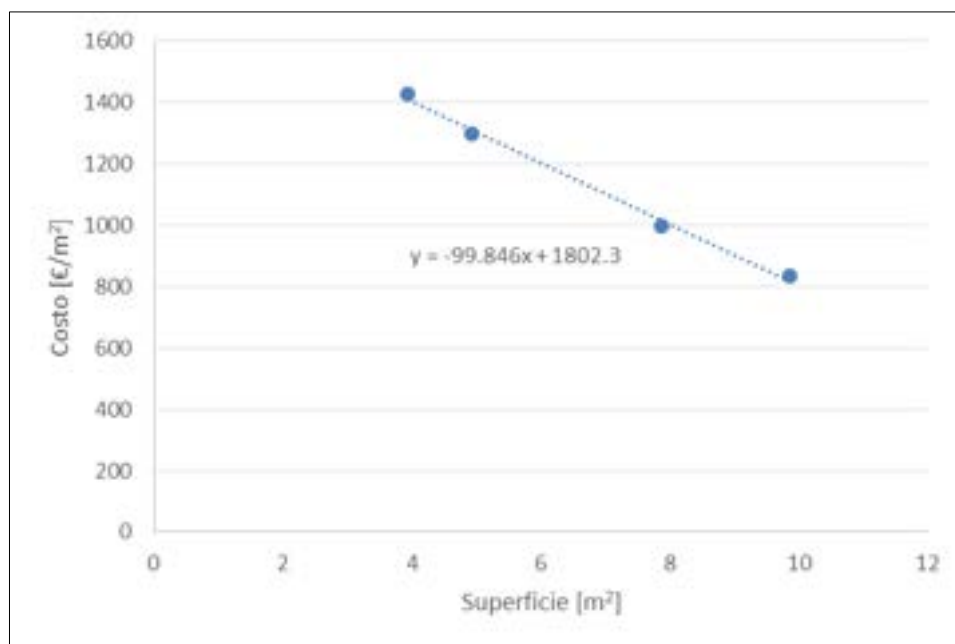


Figura 5.12 Costi normalizzati dei collettori solari termici.

Nel presente lavoro, sono state fatte le seguenti assunzioni:

- Per superfici dei collettori inferiori a 4 m², si assume un costo normalizzato costante pari a 1400 €/m²;
- Per superfici dei collettori comprese tra 4 m² e 10 m², il costo normalizzato del generatore varia in relazione alla superficie del collettore;
- Per potenze superiori a 10 m², si assume un costo normalizzato costante pari a 804 €/m².

La Tabella 5.42 riporta il riepilogo dei costi (tecnologia, accumulo e manodopera) relativi all'installazione dell'impianto solare termico.

Tabella 5.42 Riepilogo dei costi degli impianti solari termici.

Riepilogo costi – impianto solare termico				
Superficie del collettore	Costo normalizzato	Costo	Costo accumulo	Costo manodopera
m ²	€/m ²	€		
≤ 4	1400	1400*A _c	Inclusa	Inclusa
4 – 10	-99,846*A _c + 1802,3	(-99,846*A _c + 1802,3)*A _c		
≥ 10	804	804*A _c		

5.3.8 EEM13: Impianto solare fotovoltaico

La misura consiste nell'installazione di un impianto solare fotovoltaico, comprensivo di pannelli in silicio multi-cristallino installati in copertura, inverter e quadro di controllo. I costi dell'impianto variano con la potenza di picco del pannello e sono riportati in Tabella 5.43.

Tabella 5.43 Riepilogo dei costi degli impianti solari fotovoltaici.

Costi impianto solare fotovoltaico	
Potenza	Costo specifico
kW	€/kW
≤ 5	1500
> 5	1250

5.3.9 EEM14: Ventilazione meccanica con recuperatore di calore

La misura consiste nell'installazione di un impianto di ventilazione meccanica controllata con recuperatore di calore, e all'installazione di nuove canalizzazioni. Per la definizione dei costi dei recuperatori di calore, sono stati considerati tre differenti recuperatori di calore, uno per ciascun livello di efficienza, e ne sono stati valutati i costi per diverse portate d'aria. È stato quindi possibile, mediante regressione, ricavare il costo del sistema tipo con portata compresa nel range considerato. Di seguito vengono riportate le caratteristiche dei sistemi considerati e i costi riferiti a diverse portate:

- **Recuperatore di calore compatto con scambiatore di calore statico a flussi incrociati** (tipologia 1), completo di filtri classe G4, ventilatori centrifughi a doppia aspirazione direttamente accoppiati a girante pale avanti, motore con alimentazione elettrica 230 V-1-50 grado di protezione IP 20, classe d'isolamento F, sono esclusi gli eventuali staffaggi e supporti antivibranti. La Tabella 5.44 riporta i costi del recuperatore di calore per diverse portate massime d'aria; il grafico in Figura 5.13 riporta la relazione tra il costo normalizzato del recuperatore per la portata d'aria. I costi seguenti si assumono comprensivi dei costi relativi alla manodopera.

Tabella 5.44 Costi e caratteristiche dei recuperatori di calore – tipologia 1.

Costi recuperatore di calore – tipologia 1		
Portata massima	Costo	Costo normalizzato
m ³ /h	€	€/(m ³ /h)
300	1487	5,0
620	1576	2,5
920	2002	2,2
1.580	2227	1,4
1.850	2802	1,5
2.250	3295	1,5
2.950	3519	1,2
3920	4192	1,1

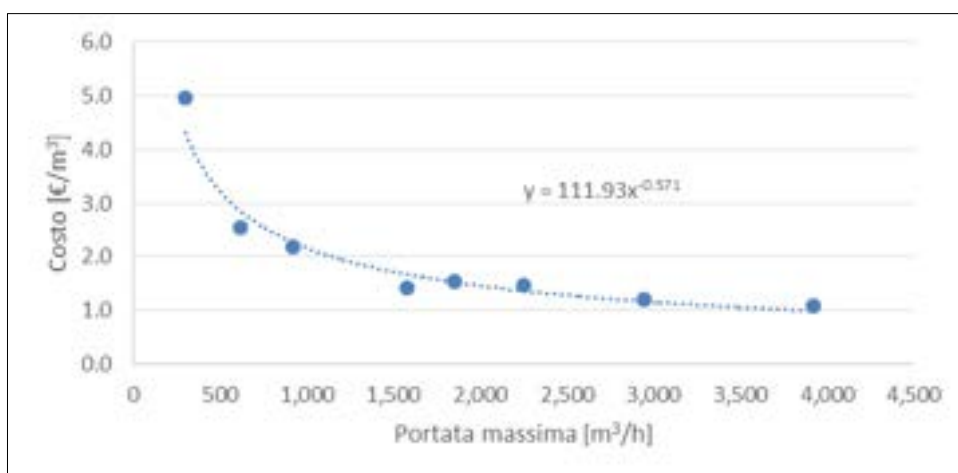


Figura 5.13 Costi normalizzati dei recuperatori di calore – tipologia 1.

Nel presente lavoro, sono state fatte le seguenti assunzioni:

- Per portate inferiori a 300 m³/h, si assume un costo normalizzato costante pari a 5 €/m³/h;
 - Per portate comprese tra 300 m³/h e 4000 m³/h, il costo normalizzato del recuperatore varia in relazione alla portata d'aria del recuperatore;
 - Per portate superiori a 4000 m³/h, si assume un costo normalizzato costante pari a 1 €/m³/h.
- **Recuperatore di calore statico** (tipologia 2), completo di filtri d'aria (mandata e ripresa) a setto ondulato G4, filtro di ripresa dotato di un pressostato differenziale, con telaio portante e pannelli sandwich spessore 25 mm in lamiera zincata per la superficie interna e preverniciata esterna con isolamento in lana minerale, **con ventilatori centrifughi** e pale ricurve, alimentazione elettrica 230 V-1-50 Hz. La Tabella 5.45 riporta i costi del recuperatore di calore per diverse portate massime d'aria; il grafico in Figura 5.14 riporta la relazione tra il costo normalizzato del recuperatore per la portata d'aria. I costi seguenti si assumono comprensivi dei costi relativi alla manodopera.

Tabella 5.45 Costi e caratteristiche dei recuperatori di calore – tipologia 2.

Costi recuperatore di calore – tipologia 2		
Portata massima	Costo	Costo normalizzato
m³/h	€	€/m³/h
1.000	5410	5,4
2.000	7383	3,7
3.000	7540	2,5
4.000	10567	2,6
5.000	12136	2,4

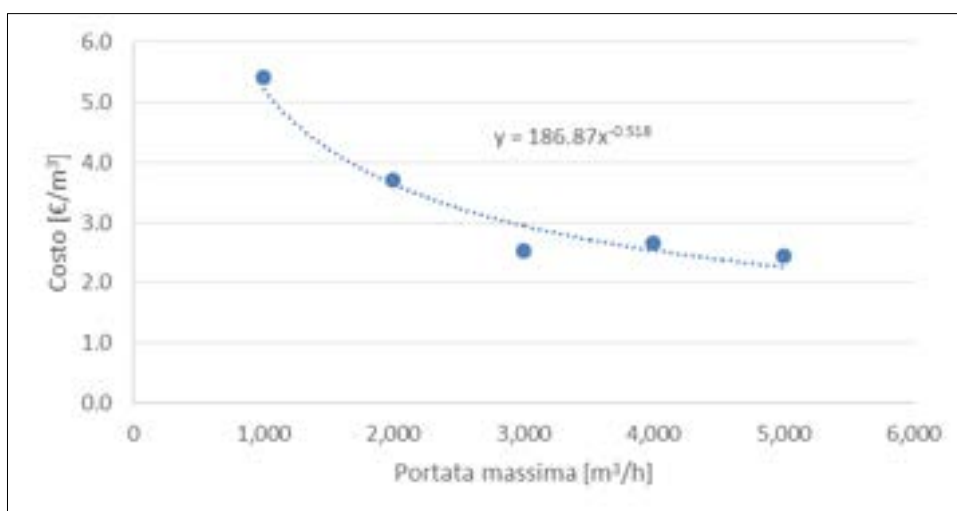


Figura 5.14 Costi normalizzati dei recuperatori di calore – tipologia 2.

Nel presente lavoro, sono state fatte le seguenti assunzioni:

- Per portate inferiori a 1000 m³/h, si assume un costo normalizzato costante pari a 5,4 €/m³/h;
 - Per portate comprese tra 1000 m³/h e 5000 m³/h, il costo normalizzato del recuperatore varia in relazione alla portata d'aria del recuperatore;
 - Per portate superiori a 5000 m³/h, si assume un costo normalizzato costante pari a 2,3 €/m³/h).
- **Recuperatore di calore rotativo** (tipologia 3), completo di filtri d'aria (mandata e ripresa) a tasche flosce F7 dotati di serie di un pressostato differenziale, motore con telaio portante e pannelli sandwich spessore 50 mm in lamiera zincata per la superficie interna e preverniciata esterna con isolamento in lana minerale, con ventilatori plug fan a pale curve indietro con alimentazione elettrica 230 V-1-50 Hz, esclusi gli eventuali staffaggi e supporti antivibranti. La Tabella 5.46 riporta i costi del recuperatore di calore per diverse portate massime d'aria; il grafico in Figura 5.15 riporta la relazione tra il costo normalizzato del recuperatore per la portata d'aria. I costi seguenti si assumono comprensivi dei costi relativi alla manodopera.

Tabella 5.46 Costi e caratteristiche dei recuperatori di calore – tipologia 3.

Costi recuperatore di calore – tipologia 3		
Portata massima	Costo	Costo normalizzato
m³/h	€	€/m³/h
1100	10455	9,5
1950	12697	6,5
3700	16620	4,5
5950	20431	3,4
7800	23824	3,1
12200	34810	2,9
16100	40863	2,5

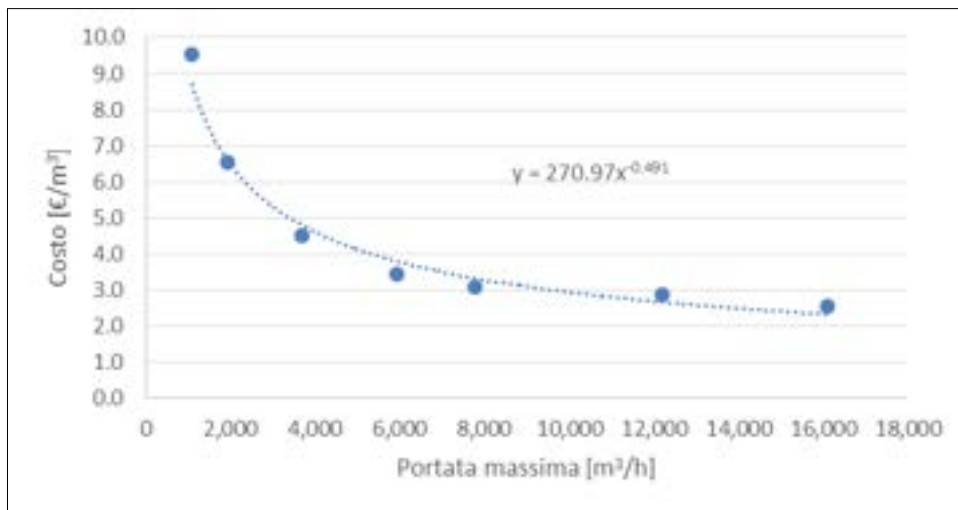


Figura 5.15 Costi normalizzati dei recuperatori di calore – tipologia 3.

Nel presente lavoro, sono state fatte le seguenti assunzioni:

- Per portate inferiori a 1100 m³/h, si assume un costo normalizzato costante pari a 9,5 €/m³/h;
- Per portate comprese tra 1100 m³/h e 16100 m³/h, il costo normalizzato del recuperatore varia in relazione alla portata d'aria del recuperatore;
- Per portate superiori a 16100 m³/h, si assume un costo normalizzato costante pari a 2,3 €/m³/h.

La Tabella 5.47 riporta il riepilogo dei costi relativi ai tre diversi tipi di scambiatore di calore.

Tabella 5.47 Riepilogo costi dei recuperatori di calore.

Riepilogo costi – recuperatori di calore				
Tipo di recuperatore	Portata d'aria	Costo normalizzato	Costo	Costo manodopera
	m³/h	€/m³/h	€	
Compatto con scambiatore statico a flussi incrociati	≤ 300	5	5*V̇	Inclusa
	300 – 4000	$111,93 \cdot V̇^{-0,571}$	$(111,93 \cdot V̇^{-0,571}) \cdot V̇$	
	≥ 4000	1	1*V̇	
Compatto con scambiatore statico a ventilatori centrifughi	≤ 1000	5,4	5,4*V̇	Inclusa
	1000 – 5000	$183,87 \cdot V̇^{-0,518}$	$(183,87 \cdot V̇^{-0,518}) \cdot V̇$	
	≥ 5000	2,3	2,3*V̇	
Rotativo	≤ 1100	9,5	9,5*V̇	Inclusa
	1100 – 16100	$270,97 \cdot V̇^{-0,491}$	$(270,97 \cdot V̇^{-0,491}) \cdot V̇$	
	≥ 16100	2,3	2,3*V̇	

Al costo dei recuperatori, è necessario aggiungere i costi relative alle condotte per reti aerauliche. In particolare, si fa riferimento a condotte rettilinee a sezione circolare in lamiera zincata, lunghezza standard alla produzione e prive di coibentazione, eseguite in classe di tenuta A (secondo norma UNI EN 12237 [16]). La Tabella 5.48 riporta i costi normalizzati delle condotte per diversi spessori di lamiera e di diametro delle condotte.

Tabella 5.48 Riepilogo costi delle condotte per le reti aerauliche.

Riepilogo costi – condotte per reti aerauliche			
Spessore lamiera	Diametro	Costo	Costo manodopera
	mm	€/m ²	
6/10	da 0 a 300	42,34	Inclusa
8/10	da 301 a 750	32,30	
10/10	da 760 a 1.200	36,94	
12/10	da 1.210 a 2.000	43,11	

I costi sopra riportati, riferiti alla superficie della lamiera, sono comprensivi del materiale di consumo (guarnizioni, sigillante, bulloni e controdadi, squadrette, morsetti ecc.) e dei costi relativi alla manodopera. Sono esclusi, invece, i pezzi speciali e gli staffaggi, comunque necessari per la realizzazione di una rete aeraulica, quantificati con una maggiorazione del 10% rispetto al costo totale delle condotte rettilinee, così come l'IVA.

5.3.10 EEM15: Sistema di regolazione

La misura consiste nell'installazione di un sistema di regolazione ad alta efficienza, o la sostituzione dei sistemi esistenti con sistemi a maggiore efficienza. In particolare, sono stati considerati tre tipi di sistemi di regolazione: di zona, ambiente e di zona più climatica. A differenza delle altre tecnologie, i costi dei sistemi di regolazione sono stati valutati riferiti nello specifico a ciascuno dei tredici edifici di riferimento; il costo è infatti dipendente dal numero di unità immobiliari e dal numero di sistemi di emissione installati. Di seguito vengono riportate le caratteristiche dei sistemi di regolazione considerati e i relativi costi per unità immobiliare (Tabella 5.49, Tabella 5.50 e Tabella 5.51):

- **Regolazione di zona:** termostato ambiente con regolazione a due posizioni, per montaggio a parete in cassetta con grado di protezione IP30, con manopola di regolazione del set-point su scala 5 ÷ 30 °C, isteresi 0,5 K, ed elemento sensibile bimetallico, alimentazione 230 V-1-50 Hz, con commutazione estate inverno.

Tabella 5.49 Costi dei sistemi di regolazione – di zona.

Sistema di regolazione di zona	
Edificio	Costo normalizzato
	€/unità immobiliare
RMF_E1_E	47,6
RMF_E1_B	47,6
RMF_E2_E	47,6
RMF_E2_B	47,6
RMF_NO_E	47,6
RMF_NO_B	47,6
RPC_E1_E	47,6
RPC_E1_B	47,6
RPC_E2_E	47,6
RPC_E2_B	47,6
RPC_NO_E	47,6
RPC_NO_B	47,6
RGC_E1_E	47,6
RGC_E1_B	47,6
RGC_E2_E	47,6

Sistema di regolazione di zona	
Edificio	Costo normalizzato
	€/unità immobiliare
RGC_E2_B	47,6
RGC_N0_E	47,6
RGC_N0_B	47,6
UFF_E1_E	119,0
UFF_E1_B	119,0
UFF_E2_E	444,3
UFF_E2_B	444,3
UFF_N0_E	341,1
UFF_N0_B	341,1
SCU_E1_E	885,4
SCU_E1_B	885,4

- **Regolazione ambiente:** termostato ambiente con regolazione a due posizioni, per montaggio a parete in cassetta con grado di protezione IP30, con manopola di regolazione del set-point su scala $5 \div 30$ °C, isteresi 0,5 K, alimentazione 230 V-1-50 Hz, con commutazione estate inverno.

Tabella 5.50 Costi dei sistemi di regolazione – ambiente.

Costi sistema di regolazione ambiente	
Edificio	Costo normalizzato
	€/unità immobiliare
RMF_E1_E	214,2
RMF_E1_B	214,2
RMF_E2_E	261,8
RMF_E2_B	261,8
RMF_N0_E	119,0
RMF_N0_B	119,0
RPC_E1_E	95,2
RPC_E1_B	95,2
RPC_E2_E	119,0
RPC_E2_B	119,0
RPC_N0_E	95,2
RPC_N0_B	95,2
RGC_E1_E	95,2
RGC_E1_B	95,2
RGC_E2_E	95,2
RGC_E2_B	95,2
RGC_N0_E	95,2
RGC_N0_B	95,2
UFF_E1_E	238,0
UFF_E1_B	238,0
UFF_E2_E	1332,8

Costi sistema di regolazione ambiente	
Edificio	Costo normalizzato
	€/unità immobiliare
UFF_E2_B	1332,8
UFF_NO_E	1023,4
UFF_NO_B	1023,4
SCU_E1_E	4426,8
SCU_E1_B	4426,8

- **Regolazione di zona + climatica:** sonda di temperatura ambiente da esterno in contenitore con grado di protezione IP 54, per montaggio a parete, campo di misura -50 ÷ 80 °C. Per quanto riguarda i costi dei sistemi di regolazione di zona + climatica, va conteggiato un costo aggiuntivo (rispetto alla regolazione di zona) pari 34,3 € per edificio o per singola unità immobiliare.

Tabella 5.51 Costi dei sistemi di regolazione – di zona + climatica.

Costi sistema di regolazione zona + climatica	
Edificio	Costo normalizzato
	€/unità immobiliare
RMF_E1_E	81,9
RMF_E1_B	81,9
RMF_E2_E	81,9
RMF_E2_B	81,9
RMF_NO_E	81,9
RMF_NO_B	81,9
RPC_E1_E	50,5
RPC_E1_B	50,5
RPC_E2_E	50,5
RPC_E2_B	50,5
RPC_NO_E	53,3
RPC_NO_B	53,3
RGC_E1_E	49,0
RGC_E1_B	49,0
RGC_E2_E	48,3
RGC_E2_B	48,3
RGC_NO_E	49,0
RGC_NO_B	49,0
UFF_E1_E	153,3
UFF_E1_B	153,3
UFF_E2_E	478,6
UFF_E2_B	478,6
UFF_NO_E	375,4
UFF_NO_B	375,4
SCU_E1_E	919,7
SCU_E1_B	919,7

Per tutti i sistemi di regolazione, è necessario aggiungere il costo relativo alla manodopera per l'installazione dei sistemi. In particolare, per interventi su edifici esistenti, la manodopera equivale al 10% del costo della tecnologia, mentre è uguale al 5% per gli edifici di nuova costruzione. La Tabella 5.52 riporta il riepilogo dei costi dei tre sistemi di regolazione comprensivi di manodopera.

Tabella 5.52 Riepilogo costi dei sistemi di regolazione.

Riepilogo costi – sistemi di regolazione								
Edificio			Regolazione di zona		Regolazione ambiente		Regolazione zona + ambiente	
Sigla	Epoca	N. u.i.	Costo normalizzato	Costo*	Costo normalizzato	Costo*	Costo normalizzato	Costo*
			€/u.i.	€	€/u.i.	€	€/u.i.	€
RMF_E1_E	Esistente	1	47,6	52,4	214,2	235,6	81,9	90,1
RMF_E1_B	Esistente	1	47,6	52,4	214,2	235,6	81,9	90,1
RMF_E2_E	Esistente	1	47,6	52,4	261,8	288,0	81,9	90,1
RMF_E2_B	Esistente	1	47,6	52,4	261,8	288,0	81,9	90,1
RMF_NO_E	Nuovo	1	47,6	50,0	119,0	125,0	81,9	86,0
RMF_NO_B	Nuovo	1	47,6	50,0	119,0	125,0	81,9	86,0
RPC_E1_E	Esistente	12	47,6	628,3	95,2	1256,6	50,5	666,1
RPC_E1_B	Esistente	12	47,6	628,3	95,2	1256,6	50,5	666,1
RPC_E2_E	Esistente	12	47,6	628,3	119,0	1570,8	50,5	666,1
RPC_E2_B	Esistente	12	47,6	628,3	119,0	1570,8	50,5	666,1
RPC_NO_E	Nuovo	6	47,6	299,9	95,2	599,8	53,3	335,9
RPC_NO_B	Nuovo	6	47,6	299,9	95,2	599,8	53,3	335,9
RGC_E1_E	Esistente	24	47,6	1256,6	95,2	2513,3	49,0	1294,4
RGC_E1_B	Esistente	24	47,6	1256,6	95,2	2513,3	49,0	1294,4
RGC_E2_E	Esistente	48	47,6	2513,3	95,2	5026,6	48,3	2550,8
RGC_E2_B	Esistente	48	47,6	2513,3	95,2	5026,6	48,3	2550,8
RGC_NO_E	Nuovo	24	47,6	1199,5	95,2	2399,0	49,0	1235,6
RGC_NO_B	Nuovo	24	47,6	1199,5	95,2	2399,0	49,0	1235,6
UFF_E1_E	Esistente	1	119,0	130,9	238,0	261,8	153,3	168,6
UFF_E1_B	Esistente	1	119,0	130,9	238,0	261,8	153,3	168,6
UFF_E2_E	Esistente	1	444,3	488,7	1332,8	1466,1	478,6	526,5
UFF_E2_B	Esistente	1	444,3	488,7	1332,8	1466,1	478,6	526,5
UFF_NO_E	Nuovo	1	341,1	358,2	1023,4	1074,6	375,4	394,2
UFF_NO_B	Nuovo	1	341,1	358,2	1023,4	1074,6	375,4	394,2
SCU_E1_E	Esistente	1	885,4	973,9	4426,8	4869,5	919,7	1011,7
SCU_E1_B	Esistente	1	885,4	973,9	4426,8	4869,5	919,7	1011,7

*il costo è comprensivo del costo della manodopera

5.3.11 EEM16: Sistema di illuminazione

La misura consiste nell'installazione di un sistema di illuminazione ad alta efficienza, o nella sostituzione dei sistemi esistenti con sistemi a maggiore efficienza. In particolare, è stato preso in considerazione un sistema di illuminazione a lampade LED senza regolazione o con regolazione avanzata. I costi dei due sistemi si riferiscono a lampade LED di potenza installata pari a 6 W/m². Le tabelle seguenti riportano rispettivamente la descrizione dei sistemi di controllo (Tabella 5.53) e i costi dei sistemi di illuminazione considerati (Tabella 5.54).

Tabella 5.53 Descrizione del controllo dei sistemi di illuminazione.

Tipo di sistema	Descrizione controllo	F _D	F _C	F _O
Assente	Manuale/Assente	1	1	1
Avanzato	uno o più apparecchi di illuminazione possono essere attivati solo per mezzo di un interruttore manuale nell'area illuminata (o molto vicino ad essa) dagli apparecchi di illuminazione e, se non disattivato manualmente, sono disattivati automaticamente e interamente da parte del sistema di controllo automatico non più di 15 minuti dopo l'ultima presenza rilevata nell'area illuminata	-	-	0,8
	Sistema di illuminazione regolabile	-	0,9	-
	Fotocellule con rilevamento della luce diurna	0,9	-	-

Tabella 5.54 Costi e descrizione dei sistemi di illuminazione.

Sistema di illuminazione				
Potenza installata	Sistema di controllo			Costo normalizzato
	F _D	F _C	F _O	
W/m ²	-	-	-	€/m ²
6	1	1	1	24
6	0,9	0,9	0,8	30

5.4 Costi dei vettori energetici

L'analisi sui costi dei vettori energetici è stata condotta dall'Università Politecnica delle Marche, i cui risultati sono riportati in questa sezione.

Analogamente al rapporto precedente [17] vengono trattati solo due vettori energetici, l'energia elettrica e il gas naturale, escludendo, quindi, sia la biomassa che il gasolio. Questa scelta discende dall'ipotesi di base che i casi studio ricadono in aree metanizzate che interessano circa il 90% dei comuni italiani.

5.4.1 Energia elettrica

I consumi elettrici, ai fini dell'applicazione della metodologia, sono quelli richiesti dai servizi di riscaldamento, raffrescamento, produzione di acqua calda sanitaria (ACS), ventilazione, trasporto di persone e cose e, limitatamente agli edifici per il terziario, illuminazione.

Per gli utenti domestici, a partire dal 2018 è iniziato un percorso (che terminerà nel luglio 2019) di riforma della tariffa per il trasporto dell'energia, la gestione del contatore e per gli oneri di sistema. In sintesi, circa il 40% della bolletta viene oggi determinato proporzionalmente al livello di consumo, abbandonando la cosiddetta "struttura progressiva", cioè con prezzi di ogni singolo kWh crescenti al crescere dei consumi. Un trattamento simile è riservato anche agli utenti del terziario e tutti gli utenti possono rivolgersi al mercato libero.

Nei grafici che seguono (Figura 5.16 e Figura 5.17) viene simulato l'andamento del costo specifico del kWh al variare del livello di consumo annuo e della potenza installata (3 e 4,5 kW).

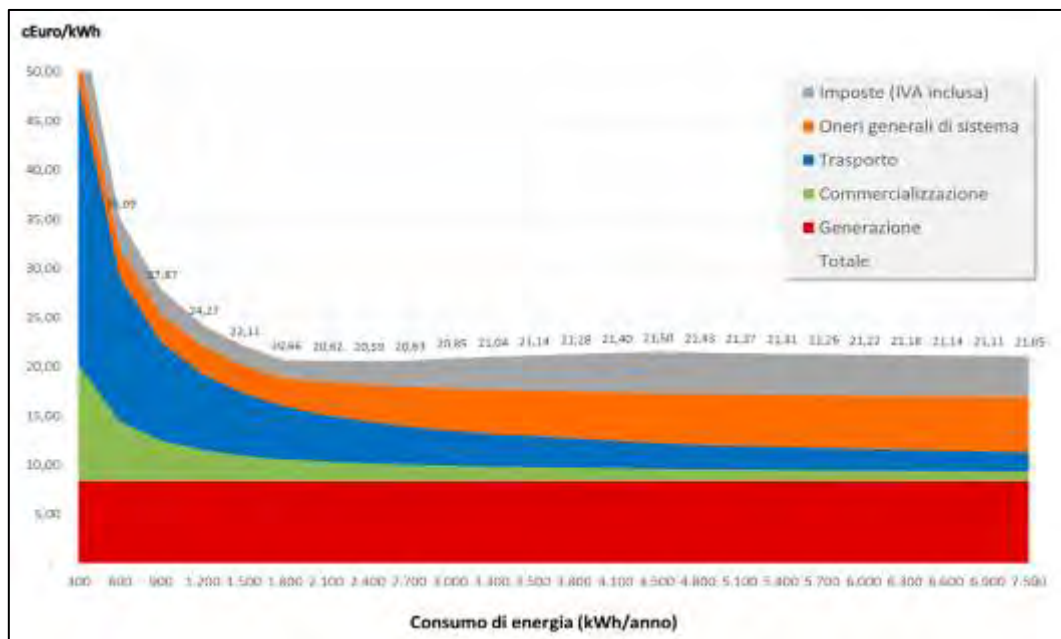


Figura 5.16 Andamento costo kWh al variare del consumo annuo (P=3 kW).

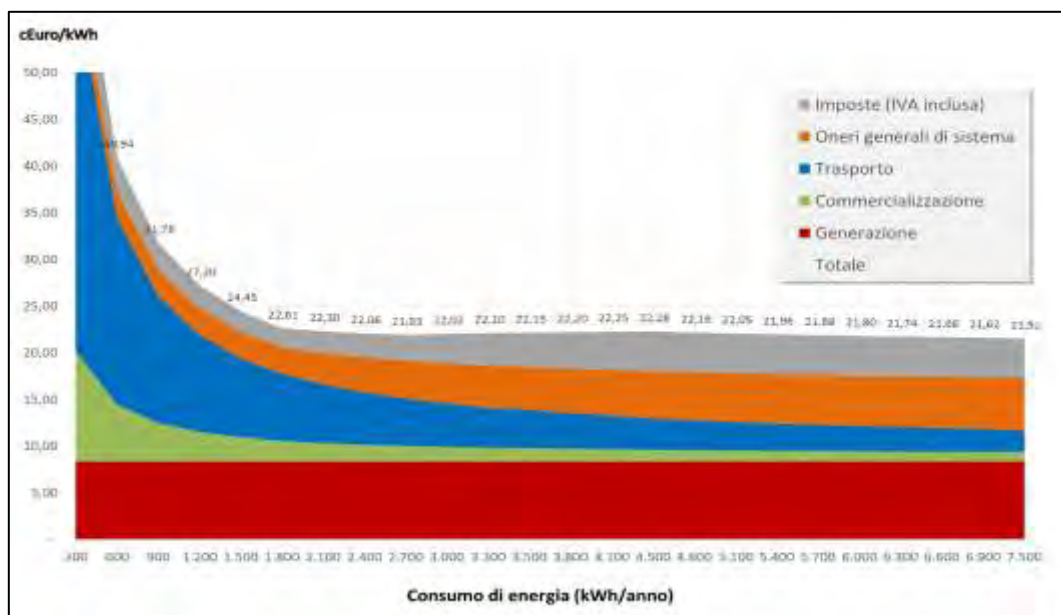


Figura 5.17 Andamento costo kWh al variare del consumo annuo (P=4,5 kW).

Nel complesso, considerando i consumi medi delle famiglie italiane appare ragionevole considerare per le utenze residenziali una tariffa media per il 2018 di 20,63 c€/kWh (corrispondente a una potenza installata di 3 kW e un consumo annuo di 2700 kWh).

Con considerazione analoghe si è determinato un costo medio per le utenze del terziario di 24,1 c€/kWh (utenze non residenziali caratterizzate da consumi compresi tra 18 e 260 MWh/anno; imposte comprese).

5.4.2 Gas naturale

Il gas naturale è stato scelto come combustibile di riferimento in quanto interessa, come sopra evidenziato, la grande maggioranza degli utenti domestici e del terziario.

Per quanto riguarda il gas e facendo riferimento ai consumi tipici dei nuclei familiari, l'Autorità Nazionale (ARERA) indica per le utenze domestiche e per il primo trimestre 2018 una tariffa media di 76,7 c€/Sm³ (imposte incluse) che quindi viene adottata come valore di partenza.

Per le utenze del residenziale, invece, il libero mercato offre costi più contenuti che sono stati valutati in 63,0 c€/Sm³ (consumi compresi tra 1.800 e 18.000 Sm³/anno, imposte comprese).

Questi valori risultano inferiori a quelli considerati nella prima versione dello studio e sono legati al particolare andamento del costo dell'energia (Figura 5.18) che si sono verificati negli ultimi anni.

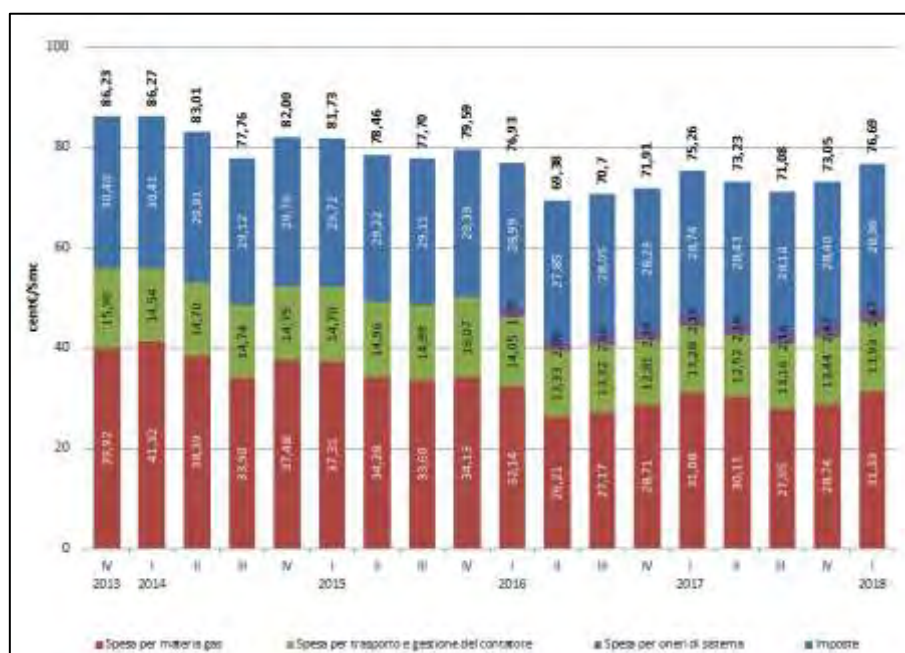


Figura 5.18 Andamento della tariffa del gas naturale [6].

5.4.3 Evoluzione del costo dei vettori energetici

Con la prima versione del rapporto si è fatto riferimento ai risultati ottenuti con il modello PRIMES. Con questo l'aggiornamento si è preferito, al fine di conseguire una maggiore uniformità con le previsioni ufficiali del Governo, basarsi sul trend di aumento dei costi per elettricità (in termini di PUN) e per il gas che è stato utilizzato per lo sviluppo della Strategia Energetica Nazionale [7]. I trend di aumento dei costi per l'elettricità e il gas sono riportati rispettivamente in Tabella 5.55 e Tabella 5.56.

Tabella 5.55 Trend di aumento dei costi per l'energia elettrica.

Trend di aumento dei costi – energia elettrica																
Anno	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
€/MWh		43	45	47	49	51	54	56	59	61	64	67	70	73	76	80
Variazione			4,5%	4,5%	4,5%	4,5%	4,5%	4,5%	4,5%	4,5%	4,5%	4,5%	4,5%	4,5%	4,5%	4,5%

Tabella 5.56 Trend di aumento dei costi per il gas naturale.

Trend di aumento dei costi – gas naturale*																
Anno	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
€/BEP	30,8	40,7	42,6	44,5	46,4	48,3	49,1	49,9	50,6	51,4	52,2	53,1	54,0	55,0	55,9	57,0
Variazione		4,9%	4,7%	4,5%	4,3%	4,1%	1,6%	1,6%	1,6%	1,5%	1,5%	1,8%	1,7%	1,7%	1,7%	1,6%

*Le proiezioni di prezzo delle commodity energetiche sui mercati internazionali (dal 2015 in poi) sono il risultato di simulazioni effettuate col modello di equilibrio parziale del sistema energetico globale PROMETHEUS, utilizzato dalla Commissione, sulla base dell'evoluzione della domanda globale, delle risorse e riserve di carbone, petrolio e gas, e dei relativi costi di estrazione.

Si tratta quindi di un aumento annuo costante del 4,5% per l'energia elettrica e di un aumento variabile tra il 4,5 (dal 2018 in avanti) e l'1,6% per il gas. Oltre l'anno 2030, il trend di aumento dei costi per il gas naturale è stato assunto costante e pari all'1,6%.

Tuttavia, osservando che per le piccole utenze il prezzo dell'energia costituisce solo parte della tariffa e che costi di distribuzione e gli oneri di sistema molto probabilmente aumenteranno meno del costo delle materie prime (gas ed energia elettrica in questo caso) si è ritenuto opportuno di considerare il 75% degli incrementi annui sopra esposti, ovvero il 3,4% (costante) e il 2,3% (medio) rispettivamente per l'elettricità e per il gas.

5.5 Costi degli edifici esistenti

Ai costi delle tecnologie riferite alle misure di efficienza energetica, per gli edifici esistenti è necessario considerare i costi di manutenzione e sostituzione dei componenti d'involucro e impiantistici esistenti. In particolare, i costi considerati sono riferiti alla manutenzione e alla sostituzione dei serramenti, del generatore per il raffrescamento, delle caldaie e, solo per gli uffici, del sistema di illuminazione. Le tabelle seguenti riportano i costi per gli edifici esistenti, rispettivamente per gli edifici residenziali (Tabella 5.57), per gli edifici ad uso uffici (Tabella 5.58) e ad uso scolastico (Tabella 5.59).

Tabella 5.57 Costi di manutenzione e sostituzione per gli edifici esistenti ad uso residenziale.

Costi edifici esistenti – edifici residenziali			
Serramenti			
Costo manutenzione		Costo sostituzione	Vita utile
€/u.i. anno		€/m ² _{serramenti}	anni
25		200	10
Chiller			
Costo manutenzione		Costo sostituzione	Vita utile
€/u.i. anno		€/u.i.	anni
80		1000	15
Caldaie – impianto autonomo			
Costo manutenzione		Costo sostituzione	Vita utile
€/u.i. anno		€	anni
80		1000	15
Caldaie – impianto centralizzato			
Numero u.i.	Costo manutenzione	Costo sostituzione	Vita utile
	€/anno	€	anni
12	200	3000	15
24		6000	
48		9000	

Tabella 5.58 Costi di manutenzione e sostituzione per gli edifici esistenti ad uso uffici.

Costi edifici esistenti – edifici ad uso uffici				
Serramenti				
Costo manutenzione			Costo sostituzione	Vita utile
€/ m ² _{serramenti} anno			€/m ² _{serramenti}	anni
1,5			150	10
Chiller				
Epoca edificio	Costo manutenzione		Costo sostituzione	Vita utile
	% costo sostituzione	€/anno	€	anni
E1	4,0	404	10100	8
E2		2352	58800	
Caldaie				
Epoca edificio	Costo manutenzione		Costo sostituzione	Vita utile
	% costo sostituzione	€/anno	€	anni
E1	1,5	207	13800	10
E2		587	39100	
Sistema di illuminazione				
Epoca edificio	Costo manutenzione		Costo sostituzione	Vita utile
	% costo sostituzione		€/m ² _{floor}	anni
E1	2,5		25	8
E2				

Tabella 5.59 Costi di manutenzione e sostituzione per gli edifici esistenti ad uso scolastico.

Costi edifici esistenti – edifici ad uso uffici				
Serramenti				
Costo manutenzione			Costo sostituzione	Vita utile
€/ m ² _{serramenti} anno			€/m ² _{serramenti}	anni
1,5			150	10
Caldaie				
Epoca edificio	Costo manutenzione		Costo sostituzione	Vita utile
	% costo sostituzione	€/anno	€	anni
E1	1,5	3810	254000	10
Sistema di illuminazione				
Epoca edificio	Costo manutenzione		Costo sostituzione	Vita utile
	% costo sostituzione		€/m ² _{floor}	anni
E1	2,5		25	8

I costi di sostituzione per i componenti relativi agli edifici ad uso non residenziale fanno riferimento ai costi relativi ai livelli più bassi delle misure di efficienza energetica utilizzati nel precedente lavoro, e riportati nel report precedente [17].

6 Risultati

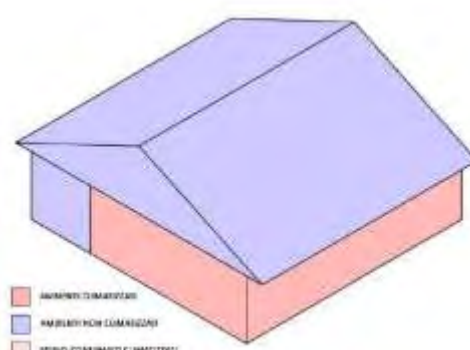
6.1 Soluzioni cost-optimal

Il risultato del processo di ottimizzazione consiste nell'individuazione del pacchetto di misure di efficienza energetica ottimale che determina il minor costo globale nel ciclo di vita dell'edificio. In questo capitolo, per ciascun edificio di riferimento, vengono riportati i risultati dell'applicazione della procedura (da Scheda 6.1 a Scheda 6.26).

Gli elaborati riportati, per ciascun edificio di riferimento, sono descritti di seguito:

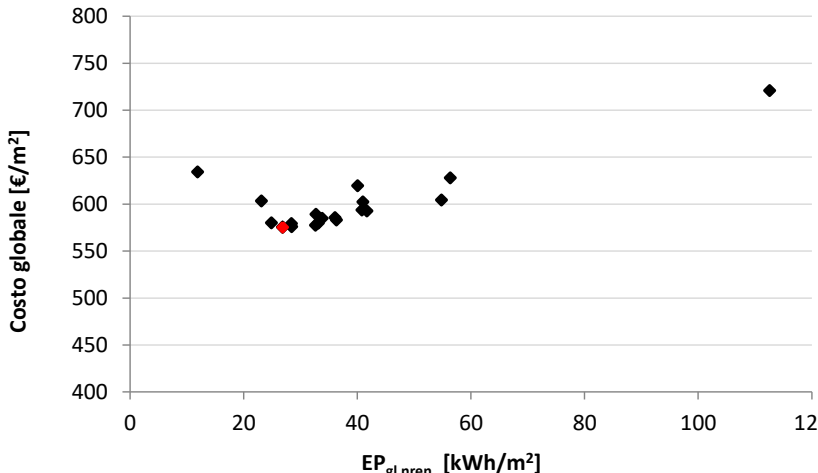
- Tabella riassuntiva delle principali caratteristiche geometriche dell'edificio di riferimento;
- Tabella con l'elenco delle opzioni di efficienza energetica che corrispondono al pacchetto *cost-optimal*, e confronto con i valori dei rispettivi parametri dello stato di fatto (solo per gli edifici esistenti);
- Pareto front e confronto tra la soluzione *cost-optimal* e lo stato di fatto (solo per gli edifici esistenti);
- Energia consegnata per vettore energetico per ognuno dei servizi energetici valutati;
- Indice di prestazione energetica (EP) globale e per il singolo servizio energetico basato sull'energia primaria con ripartizione % tra quota di energia rinnovabile (questa espressa in percentuale) e non rinnovabile;
- Energia prodotta da fonti rinnovabili in situ con ripartizione per singolo servizio energetico;
- Costi attualizzati per l'energia, l'esercizio e la manutenzione, e l'investimento iniziale.

Scheda 6.1 Edificio monofamiliare, nuovo – zona climatica E (Milano).

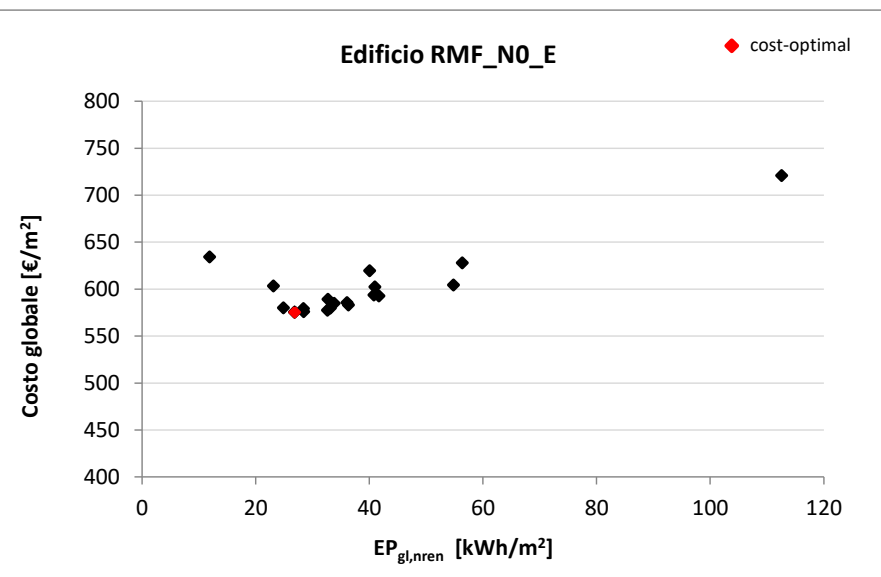
EDIFICIO MONOFAMILIARE - NUOVO - zona E (RMF_N0_E)						Dati tipologici													
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore ottimale	N. EEO	 PARTE ESTERNA CLIMATIZZATA PARTE INTERNA NON CLIMATIZZATA PERIMETRO AMBIENTI CLIMATIZZATI	<table><tr><td>A_f [m²]</td><td>97,5</td></tr><tr><td>V_i [m³]</td><td>371</td></tr><tr><td>A_{env}/V_i [m⁻¹]</td><td>0,99</td></tr><tr><td>A_w/A_{env} [-]</td><td>0,03</td></tr><tr><td>N. piani climatizzati</td><td>1</td></tr><tr><td>N. unità immobiliari</td><td>1</td></tr></table>	A _f [m ²]	97,5	V _i [m ³]	371	A _{env} /V _i [m ⁻¹]	0,99	A _w /A _{env} [-]	0,03	N. piani climatizzati	1	N. unità immobiliari	1
A _f [m ²]	97,5																		
V _i [m ³]	371																		
A _{env} /V _i [m ⁻¹]	0,99																		
A _w /A _{env} [-]	0,03																		
N. piani climatizzati	1																		
N. unità immobiliari	1																		
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _p	0.26	4														
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _p		-														
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m²K) [equivalente, solaio verso sottotetto (b=0,7)]	U _t	0.18	5														
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m²K) [equivalente, solaio su cantina (b=0,6)]	U _f	0.17	5														
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _w	2.20	2														
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	–	2	2														
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-DHW)	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	3.1	1														
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2.9															
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m²)	m²	1	1														
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	2.5	2														
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η _r	0.9	3														
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	η _{ctr}	ZC	3														
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione (ILL)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m²)	PN																
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O																
		Fattore di illuminamento costante	F _C																
		Fattore di dipendenza luce diurna	F _D																

Edificio RMF_N0_E

◆ cost-optimal

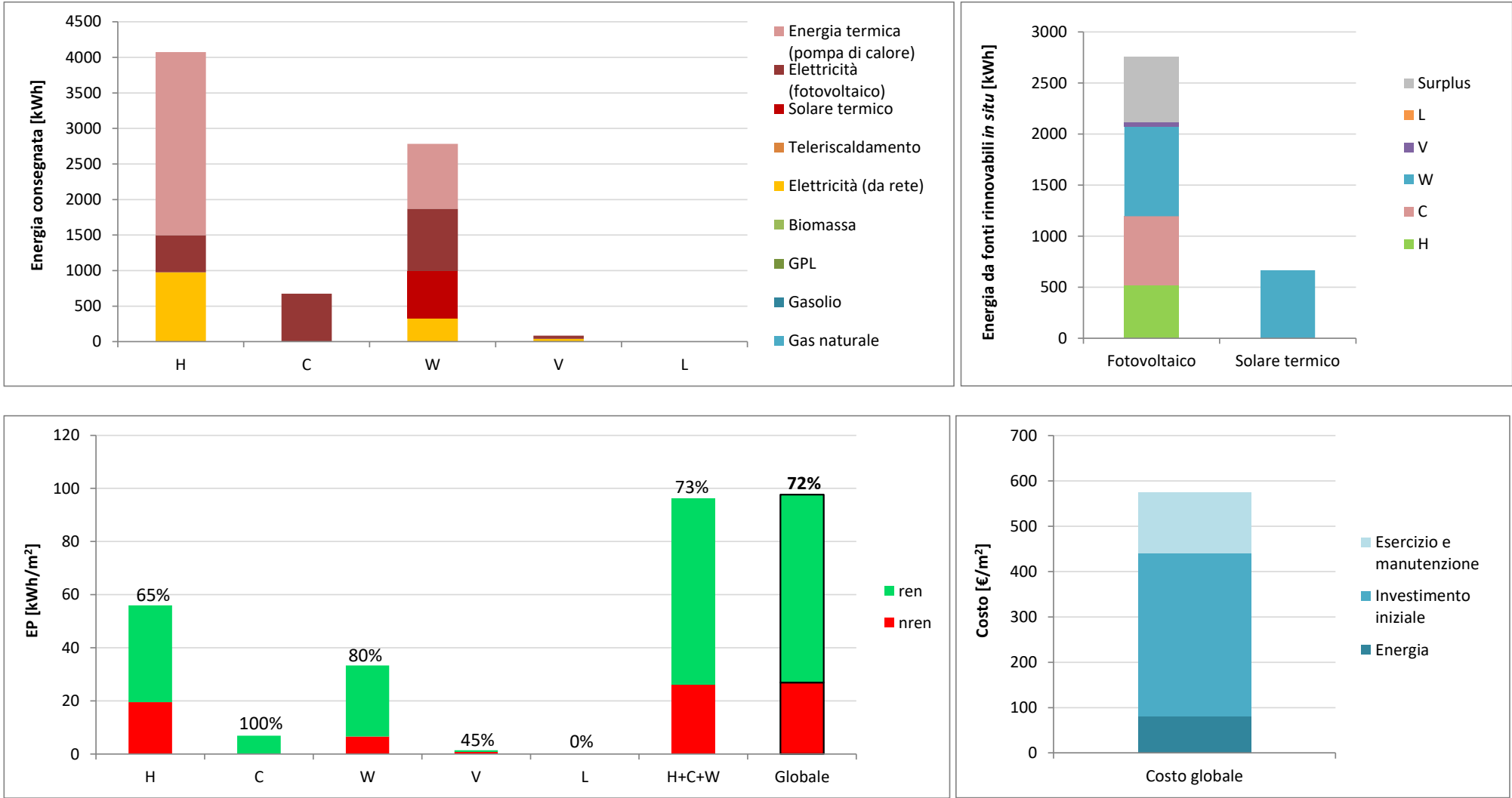


EP _{gl,nren} [kWh/m²]	Costo globale [€/m²]
12	635
25	600
28	580
30	575
32	585
35	580
38	590
40	600
42	620
45	595
55	605
58	630
112	725



Edificio monofamiliare, nuovo – zona climatica E (Milano)

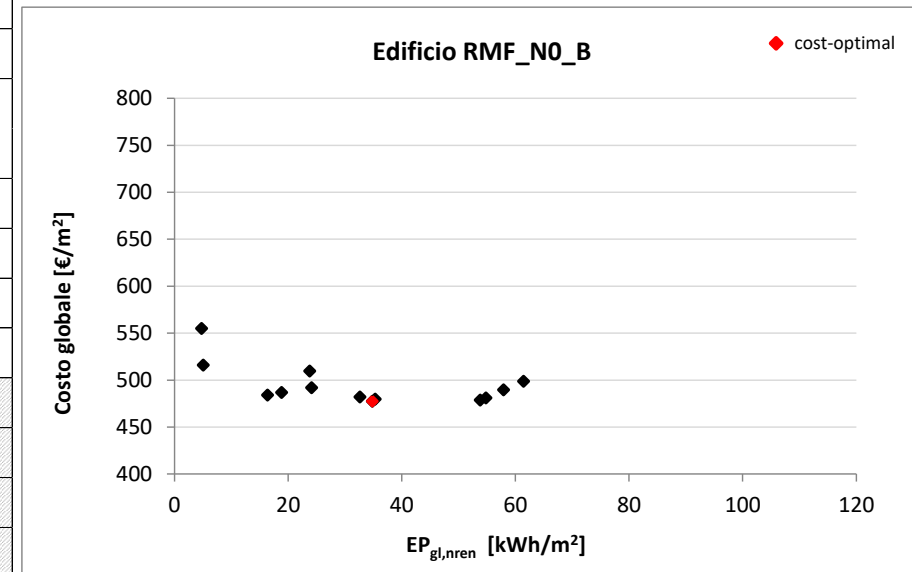
Soluzione cost-optimal



Scheda 6.2 Edificio monofamiliare, nuovo – zona climatica B (Palermo).

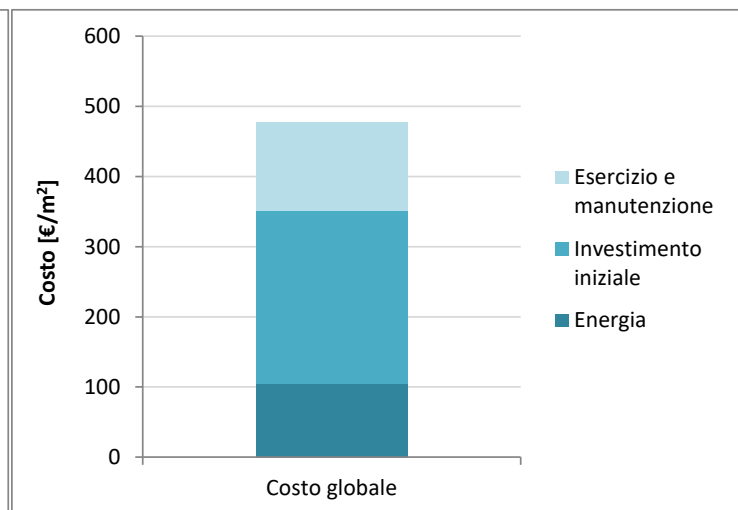
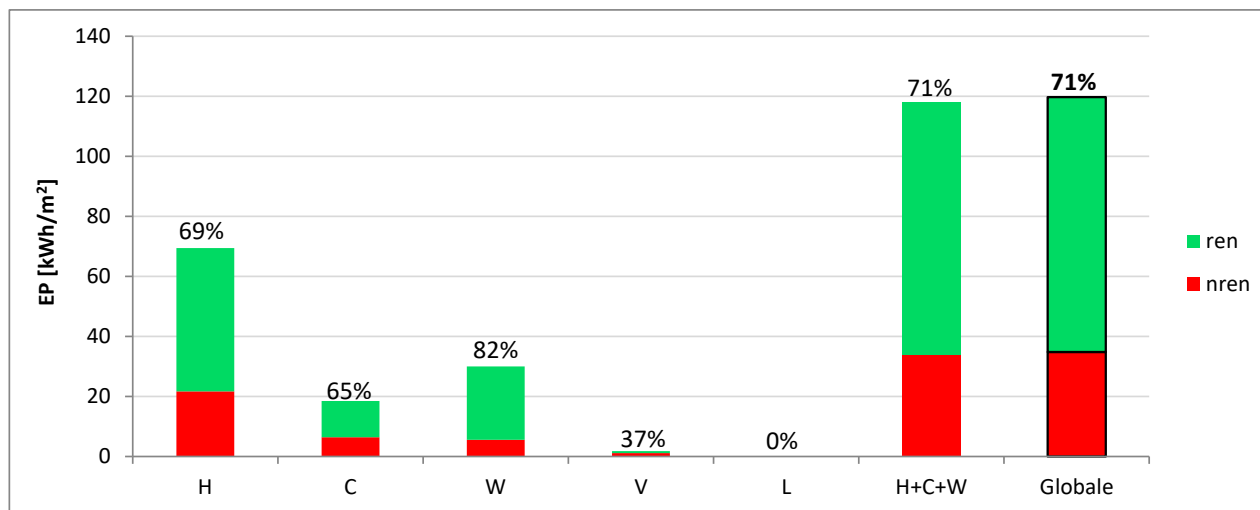
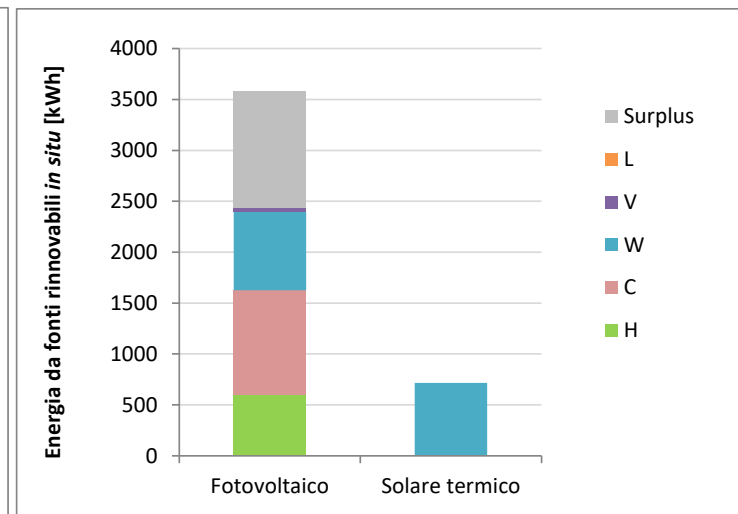
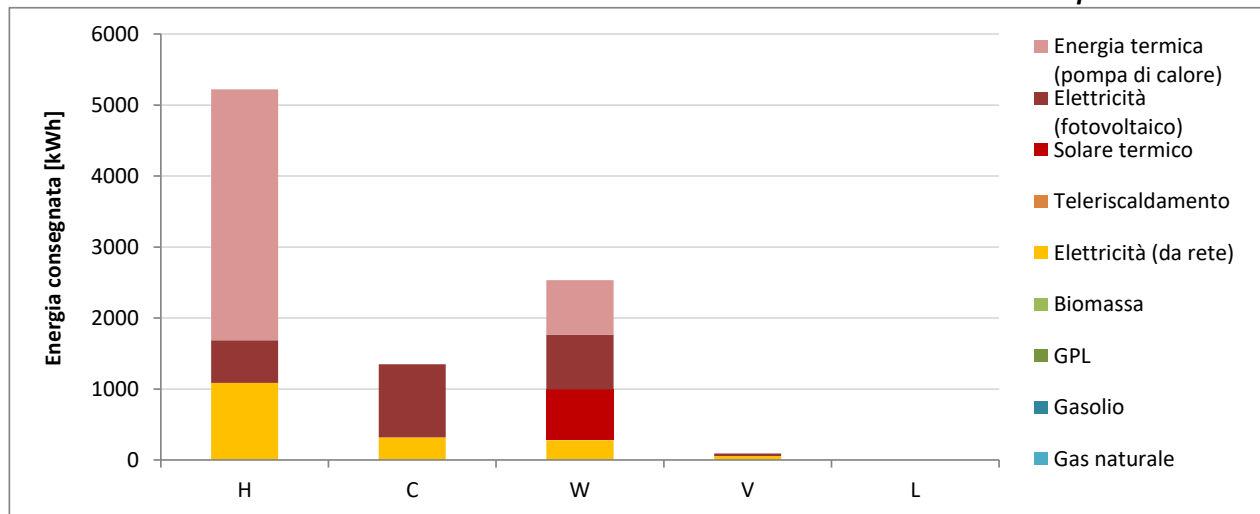
EDIFICIO MONOFAMILIARE - NUOVO - zona B (RMF_N0_B)					
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	1.50	1
2	Isolamento termico della parete esterna (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) [equivalente, solaio verso sottotetto (b=0,7)]	U _t	0.28	5
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m ² K) [equivalente, solaio su cantina (b=0,6)]	U _f	0.29	5
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	3.20	3
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	—	2	2
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-DHW)	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	3.1	1
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2.9	
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m ²)	m ²	1	1
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	3	3
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η _f	0.7	2
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	η _{ctr}	ZC	3
16	Riquilibratura dell'impianto di illuminazione (ILL)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN		
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O		
		Fattore di illuminamento costante	F _C		
		Fattore di dipendenza luce diurna	F _D		

Dati tipologici	
	A _f [m ²]
	V _i [m ³]
	A _{env} /V _i [m ⁻¹]
	A _w /A _{env} [-]
	N. piani climatizzati
N. unità immobiliari	



Edificio monofamiliare, nuovo – zona climatica B (Palermo)

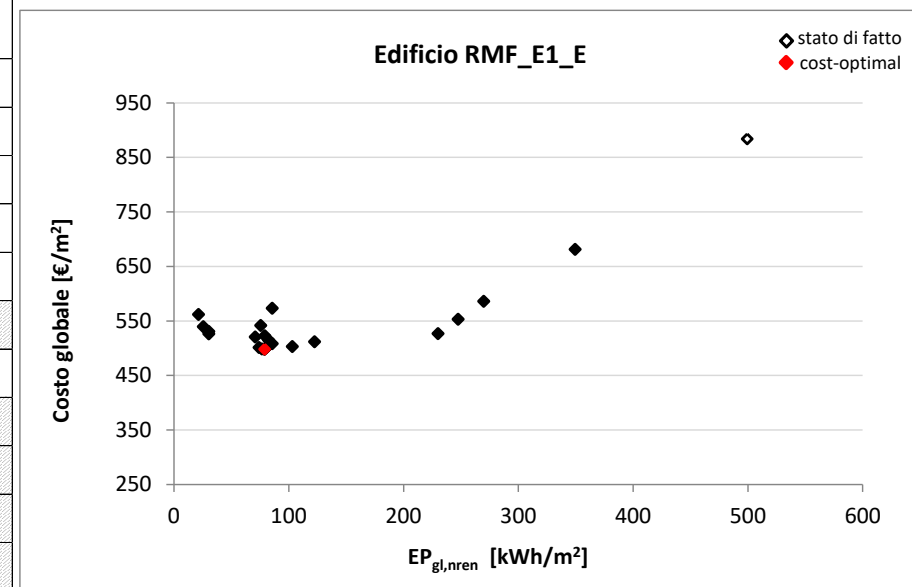
Soluzione cost-optimal



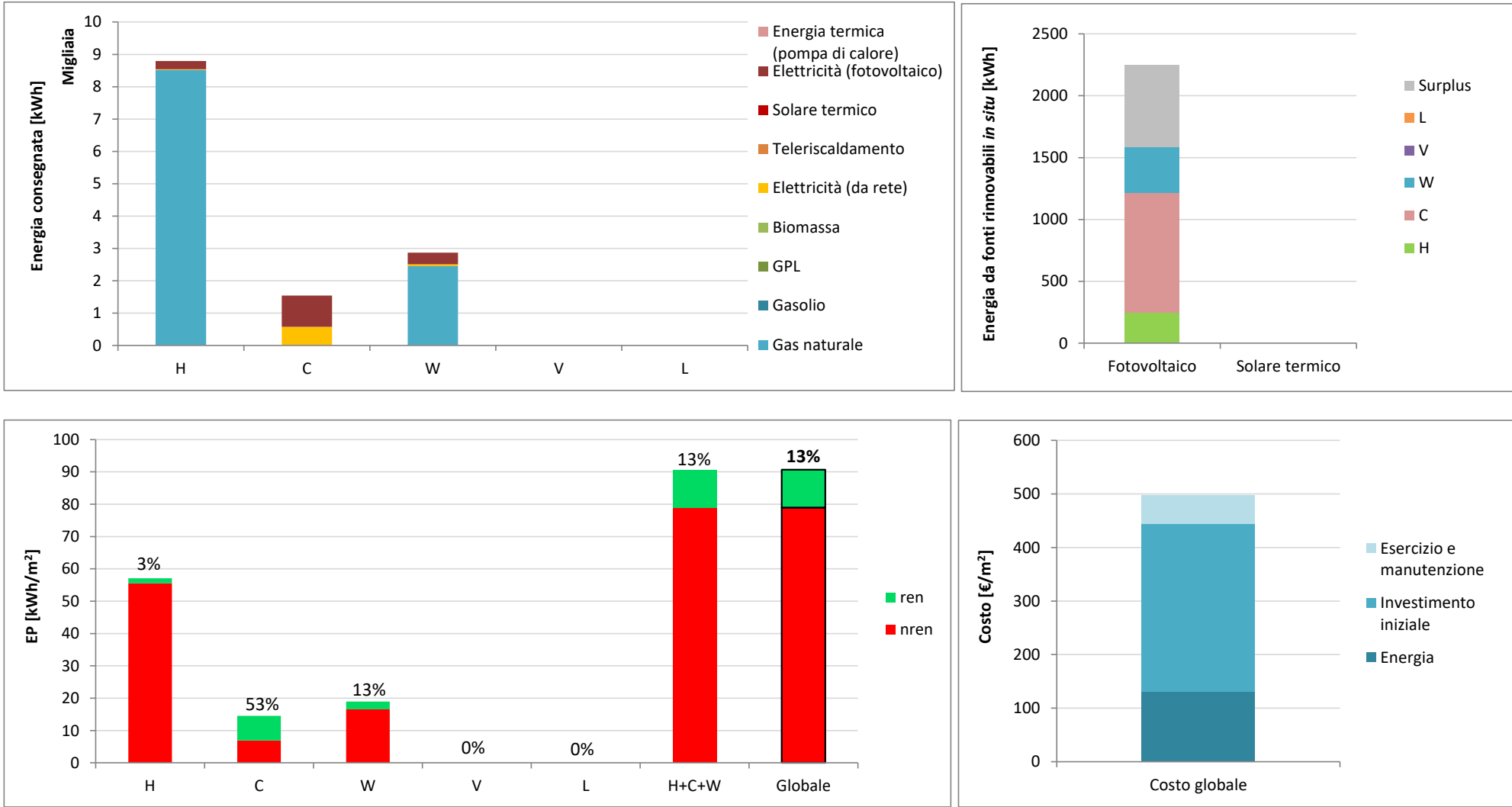
Scheda 6.3 Edificio monofamiliare esistente, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica E (Milano).

EDIFICIO MONOFAMILIARE - ESISTENTE 1946-76 - zona E (RMF_E1_E)						
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_p	1.48	0.3	3
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_p			
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_t	2.2	0.26	2
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m^2K) [equivalente, solaio controterra ($b=0,45$)]	U_f	0.90	0.19	5
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	4.9	2.3	2
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	–	assenti	assenti	1
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2.35	2.35	1
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-DHW)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione in condizioni di progetto	η_{gn}	0.73	1.00	3
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-	-
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m^2)	m^2	assente	assente	1
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	assente	2.04	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η_r			
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	η_{estr}	C	ZC	4
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione (ILL)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m^2)	PN			
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F_o			
		Fattore di illuminamento costante	F_c			
		Fattore di dipendenza luce diurna	F_D			

Dati tipologici	
	$A_f [m^2]$
	162
	$V_i [m^3]$
	583
	$A_{env}/V_i [m^{-1}]$
	0,75
N. piani climatizzati	$A_w/A_{env} [-]$
	0,05
N. unità immobiliari	
	2
	1



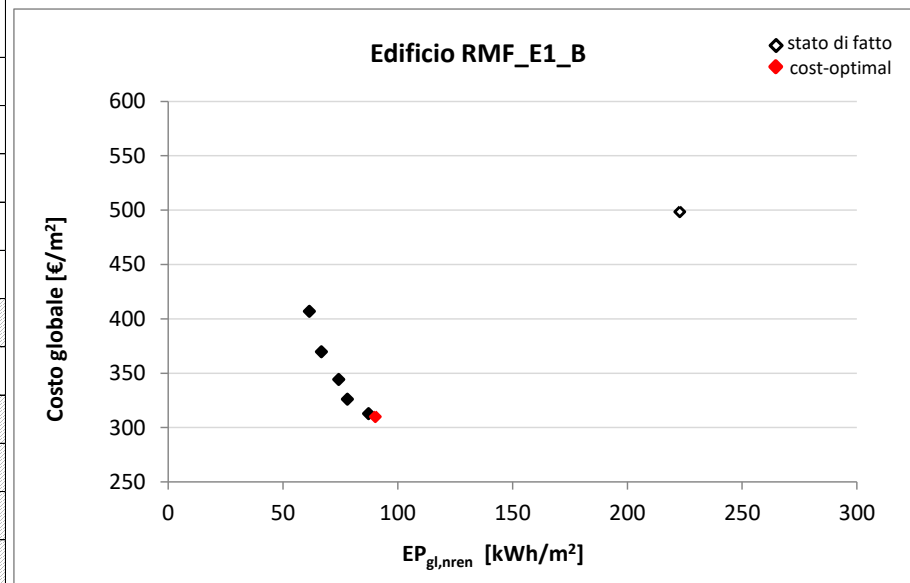
Soluzione cost-optimal



Scheda 6.4 Edifici monofamiliare esistente, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica B (Palermo).

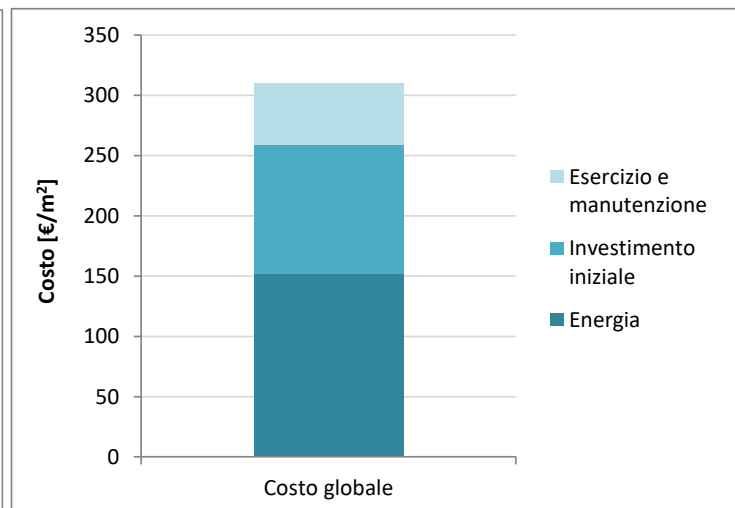
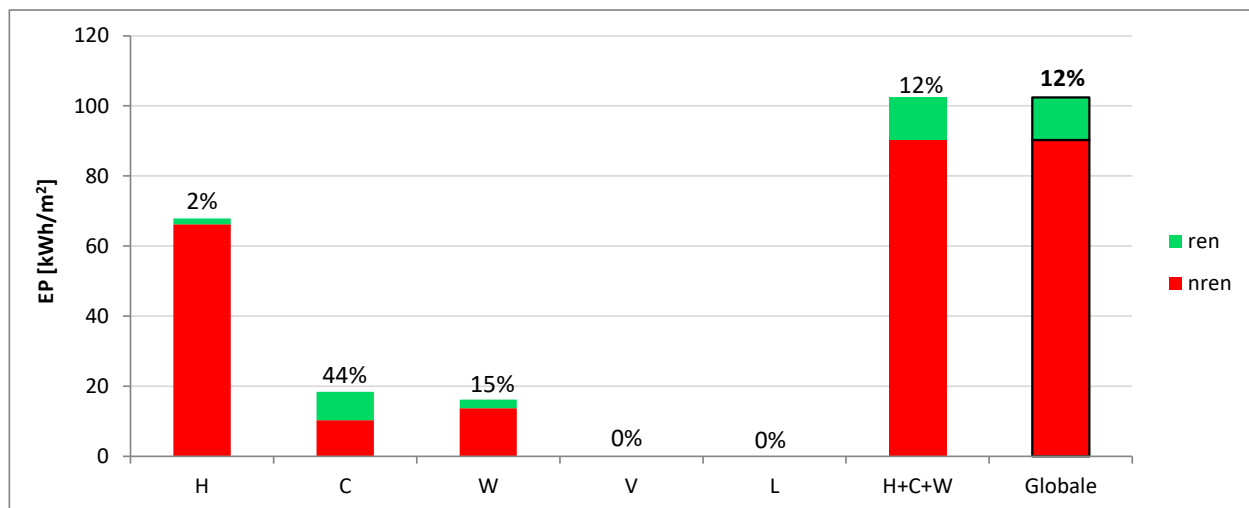
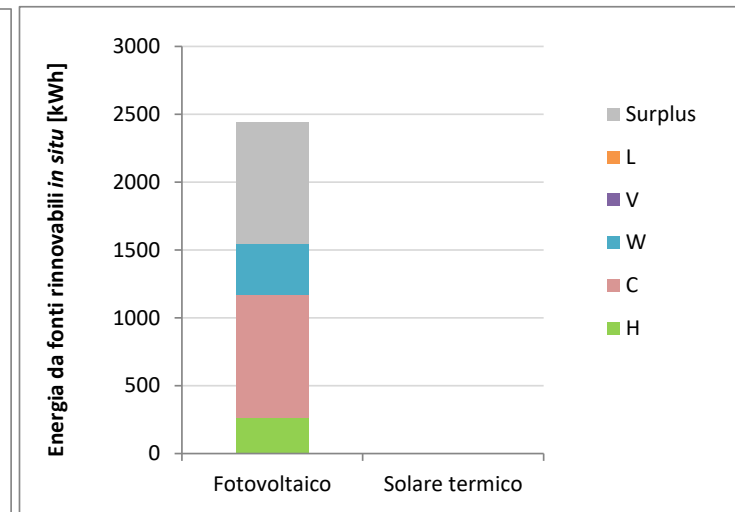
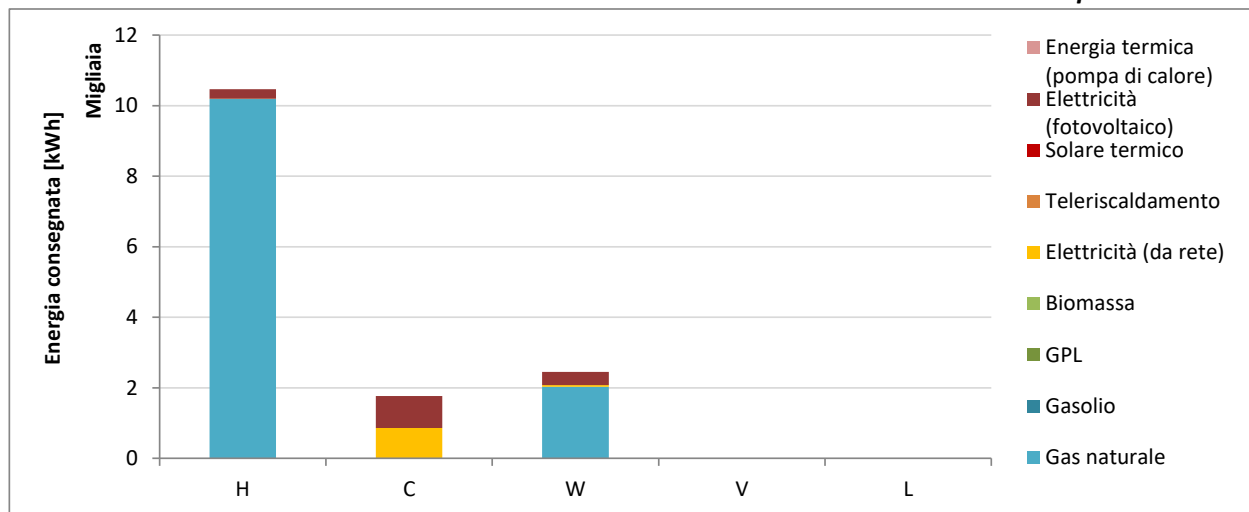
EDIFICIO MONOFAMILIARE - ESISTENTE 1946-76 - zona B (RMF_E1_B)						
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_p	1.18	1.18	1
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_p			
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_t	2.2	0.41	2
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m^2K) [equivalente, solaio controterra ($b=0,45$)]	U_t	0.90	0.90	1
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	4.9	3.2	3
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	–	assenti	2	3
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2.35	2.35	1
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-DHW)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione in condizioni di progetto	η_{gn}	0.73	1.00	3
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-	-
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m^2)	m^2	assente	assente	1
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	assente	2.04	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η_r			
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	η_{ctr}	C	ZC	4
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione (ILL)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m^2)	PN			
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F_O			
		Fattore di illuminamento costante	F_C			
		Fattore di dipendenza luce diurna	F_D			

Dati tipologici	
	
$A_f [m^2]$	162
$V_i [m^3]$	583
$A_{env}/V_i [m^{-1}]$	0,75
$A_w/A_{env} [-]$	0,05
N. piani climatizzati	2
N. unità immobiliari	1

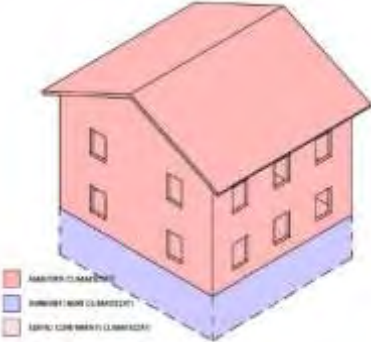


Edificio monofamiliare esistente, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica B (Palermo)

Soluzione cost-optimal

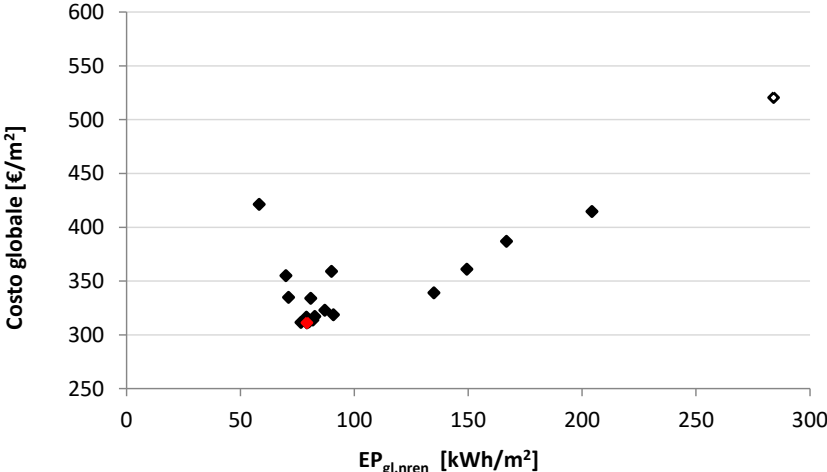


Scheda 6.5 Edificio monofamiliare esistente, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica E (Milano).

EDIFICIO MONOFAMILIARE - ESISTENTE 1977-90 - zona E (RMF_E2_E)							Dati tipologici												
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Valore ottimale	N. EEO	 <table><tr><td>A_f [m²]</td><td>199</td></tr><tr><td>V_i [m³]</td><td>725</td></tr><tr><td>A_{env}/V_i [m⁻¹]</td><td>0,72</td></tr><tr><td>A_w/A_{env} [-]</td><td>0,05</td></tr><tr><td>N. piani climatizzati</td><td>2</td></tr><tr><td>N. unità immobiliari</td><td>1</td></tr></table>	A _f [m ²]	199	V _i [m ³]	725	A _{env} /V _i [m ⁻¹]	0,72	A _w /A _{env} [-]	0,05	N. piani climatizzati	2	N. unità immobiliari	1
A _f [m ²]	199																		
V _i [m ³]	725																		
A _{env} /V _i [m ⁻¹]	0,72																		
A _w /A _{env} [-]	0,05																		
N. piani climatizzati	2																		
N. unità immobiliari	1																		
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _p	-	-	-													
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _p	0.76	0.27	2													
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m2K)	U _r	1.14	0.32	2													
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m²K) [equivalente, solaio su cantina (b=0,6)]	U _f	0.59	0.19	5													
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _w	2.8	2.8	1													
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	–	assenti	assenti	1													
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2.35	2.35	1													
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-DHW)	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}	0.924	1.00	3													
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	-	-	-													
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-														
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m²)	m²	assente	assente	1													
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	assente	2.04	4													
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η _p																
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	η _{ctr}	C	ZC	4													
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione (ILL)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m²)	PN																
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O																
		Fattore di illuminamento costante	F _C																
		Fattore di dipendenza luce diurna	F _D																

Edificio RMF_E2_E

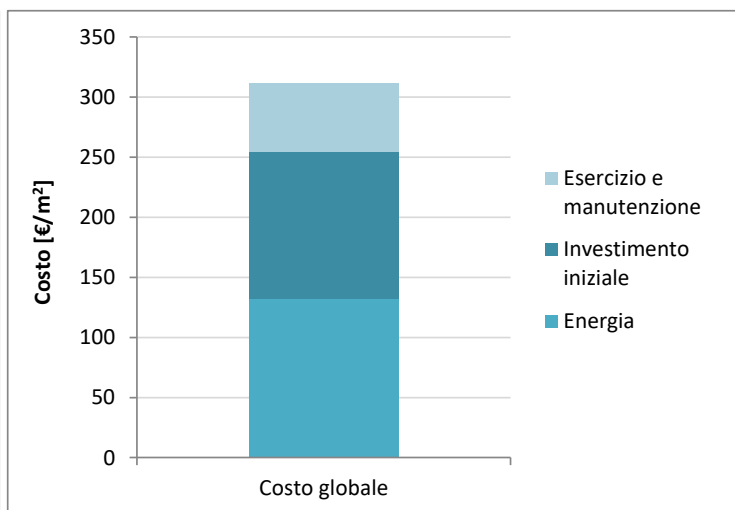
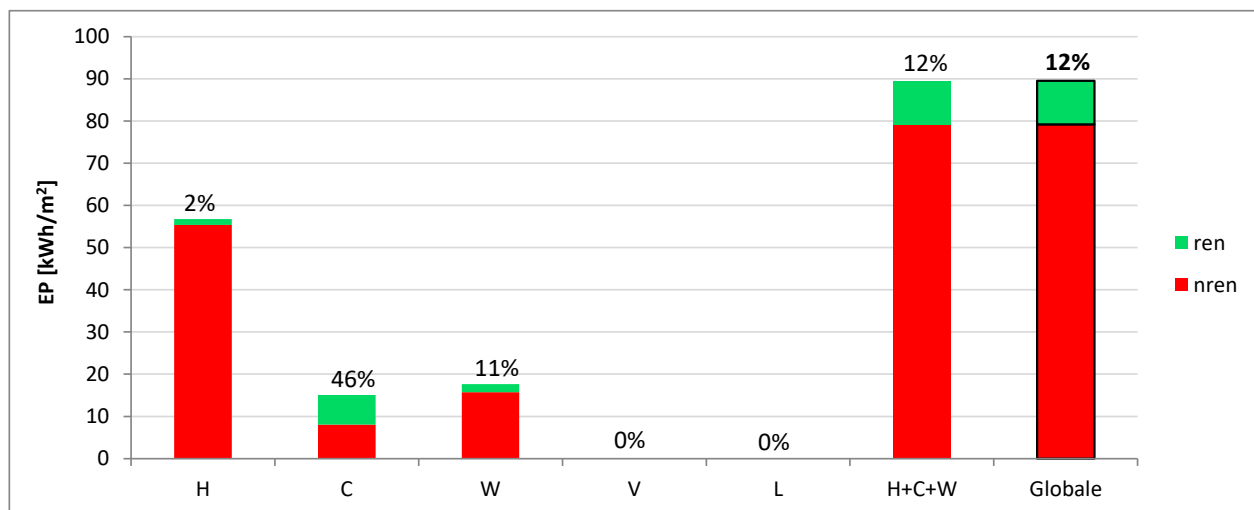
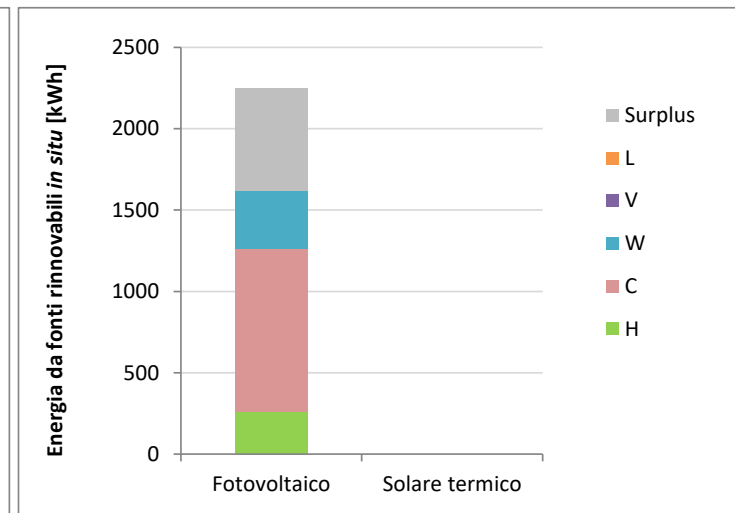
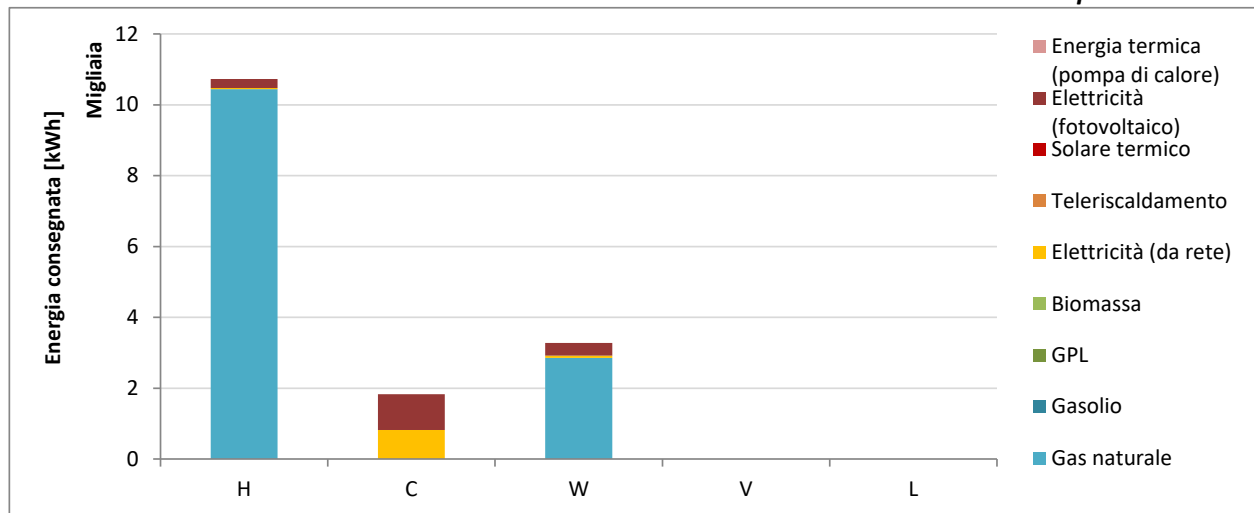
◆ stato di fatto
◆ cost-optimal



EP _{glnren} [kWh/m²]	Costo globale [€/m²]	Stato
60	420	stato di fatto
65	355	stato di fatto
70	335	stato di fatto
75	315	cost-optimal
80	335	stato di fatto
85	320	stato di fatto
90	360	stato di fatto
135	340	stato di fatto
150	360	stato di fatto
170	390	stato di fatto
205	415	stato di fatto
280	520	stato di fatto

Edificio monofamiliare esistente, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica E (Milano)

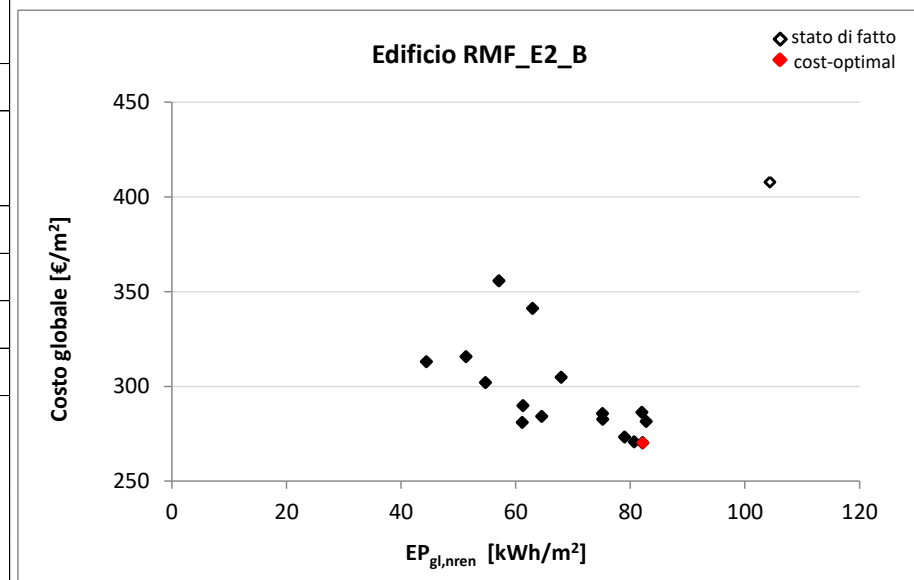
Soluzione cost-optimal



Scheda 6.6 Edifici monofamiliare esistente, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica B (Palermo).

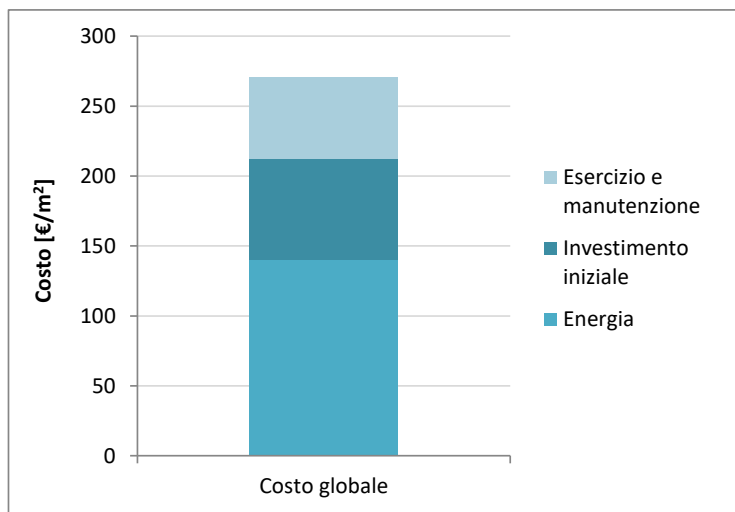
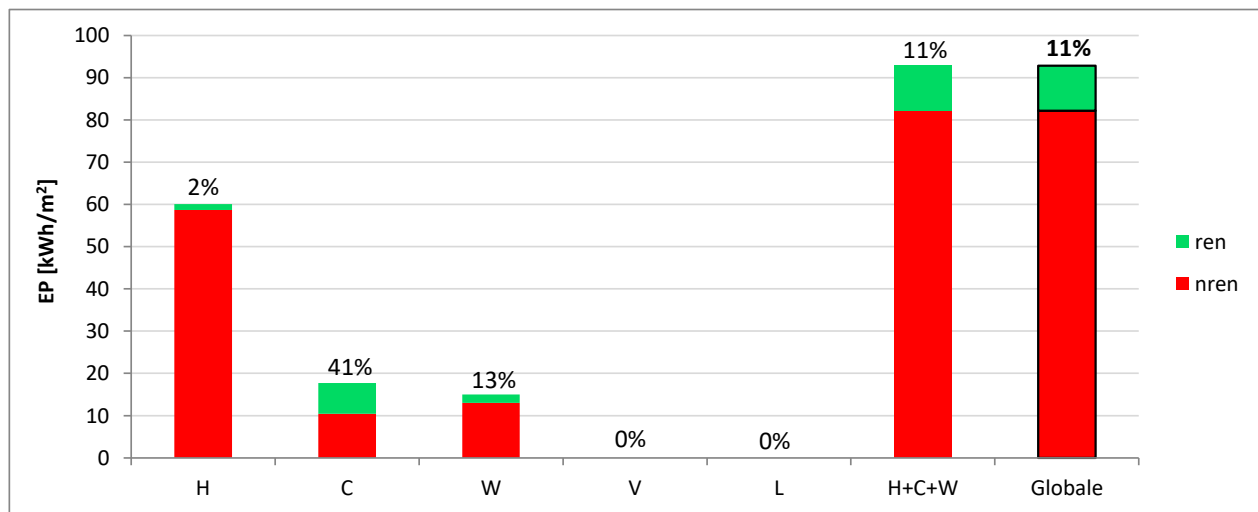
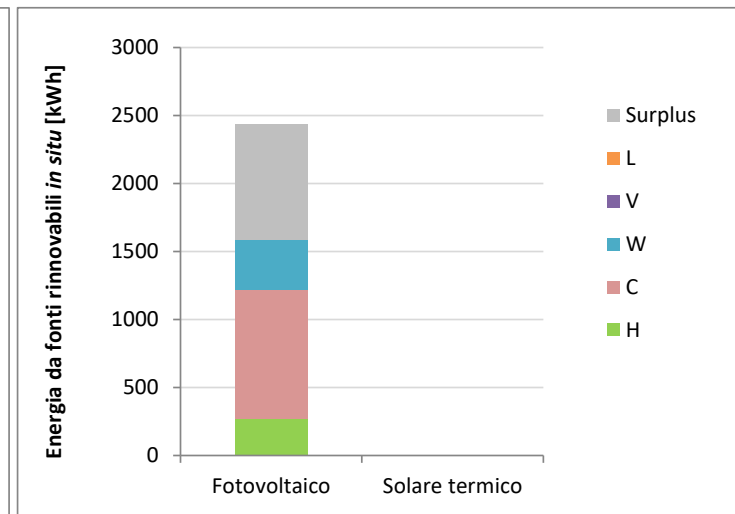
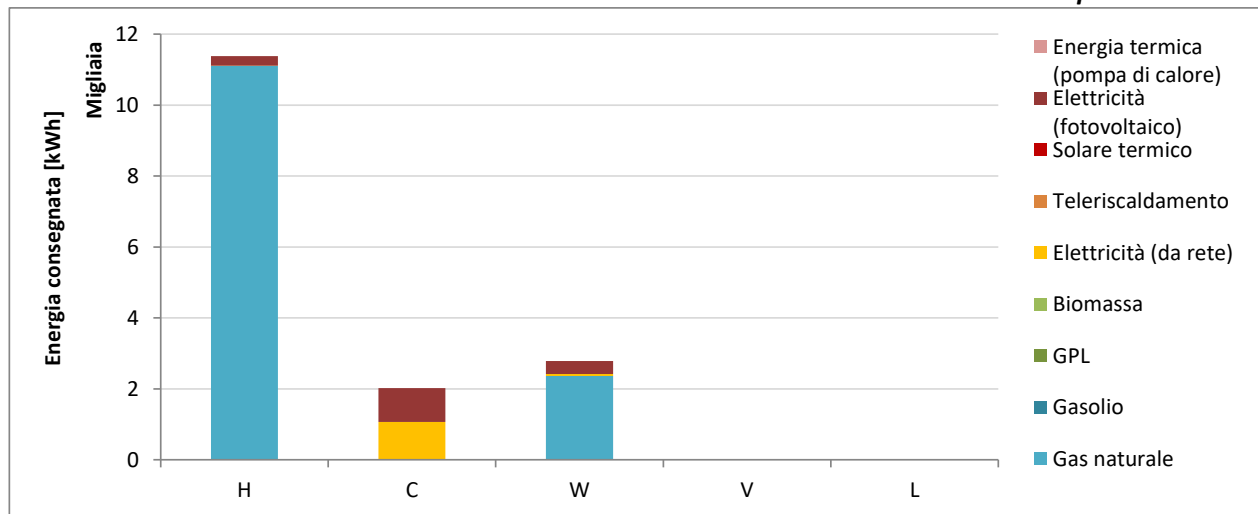
EDIFICIO MONOFAMILIARE - ESISTENTE 1977-90 - zona B (RMF_E2_B)						
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _b	-	-	-
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _b	1.10	1.10	1
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _r	2.20	0.41	2
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m ² K) [equivalente, solaio su cantina (b=0,6)]	U _f	0.78	0.28	5
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	4.9	4.9	1
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	assenti	2	3
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2.35	2.35	1
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-DHW)	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}	0.924	1.00	3
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-	
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m ²)	m ²	assente	assente	1
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	assente	2.04	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η _r			
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	η _{estr}	C	ZC	4
16	Riquilibrificazione dell'impianto di illuminazione (ILL)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN			
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O			
		Fattore di illuminamento costante	F _C			
		Fattore di dipendenza luce diurna	F _D			

Dati tipologici	
	A _f [m ²]
	199
	V _I [m ³]
	725
	A _{env} /V _I [m ⁻¹]
	0,72
	A _w /A _{env} [-]
	0,05
	N. piani climatizzati
	2
	N. unità immobiliari
	1

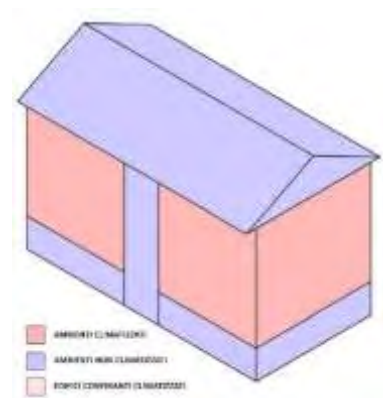


Edificio monofamiliare esistente, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica B (Palermo)

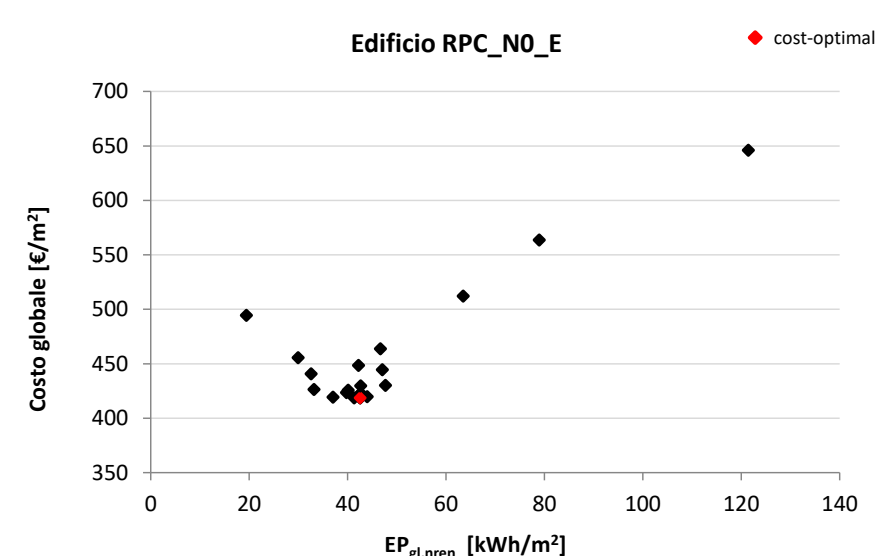
Soluzione cost-optimal



Scheda 6.7 Condominio esistente di piccole dimensioni, nuovo – zona climatica E (Milano).

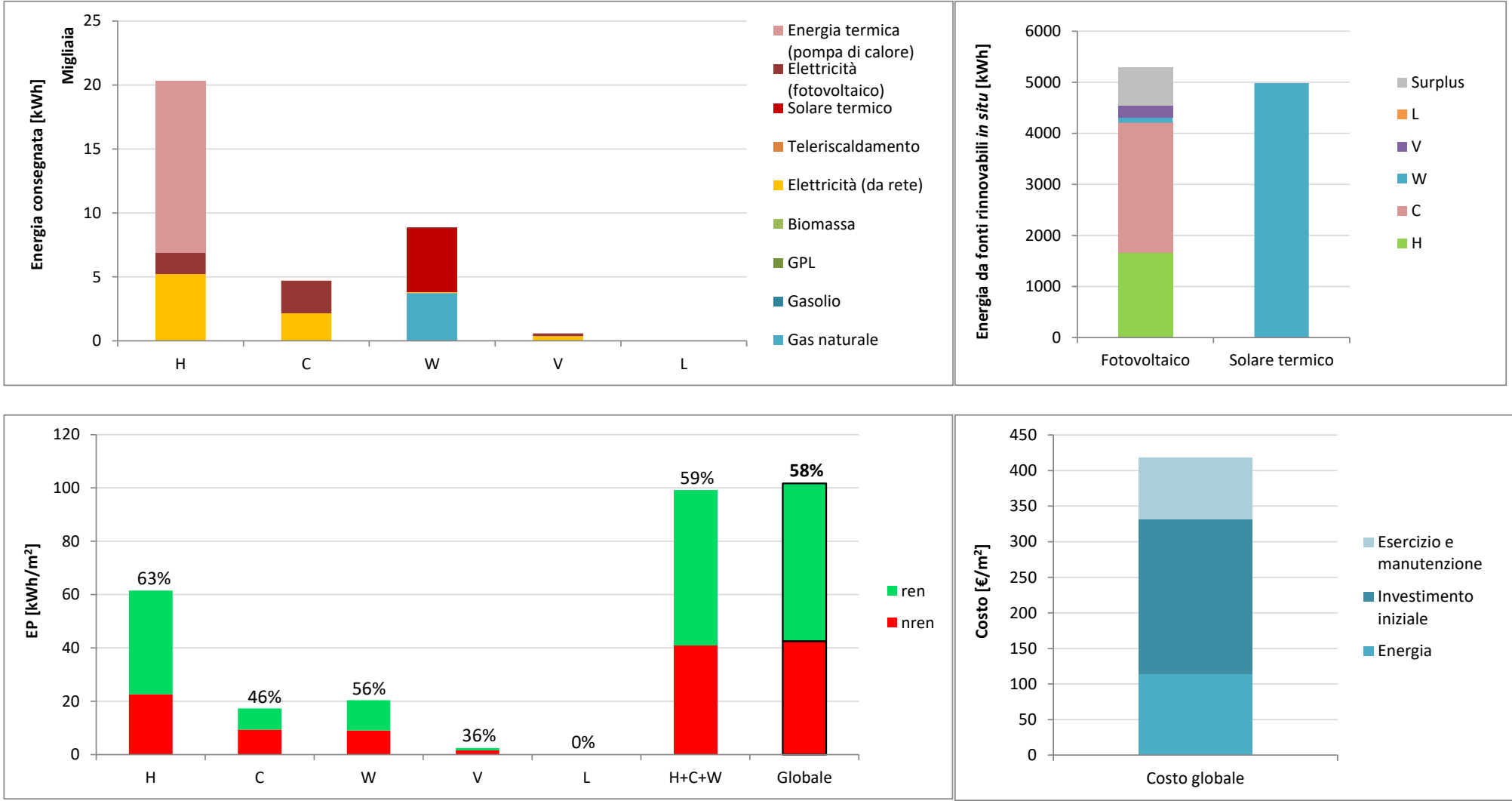
EDIFICIO PICCOLO CONDOMINIO - NUOVO - zona E (RPC_NO_E)						Dati tipologici												
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore ottimale	N. EEO	 <table><tr><td>A_f [m²]</td><td>450</td></tr><tr><td>V_i [m³]</td><td>1634</td></tr><tr><td>A_{env}/V_i [m⁻¹]</td><td>0,63</td></tr><tr><td>A_w/A_{env} [-]</td><td>0,06</td></tr><tr><td>N. piani climatizzati</td><td>3</td></tr><tr><td>N. unità immobiliari</td><td>6</td></tr></table>	A _f [m ²]	450	V _i [m ³]	1634	A _{env} /V _i [m ⁻¹]	0,63	A _w /A _{env} [-]	0,06	N. piani climatizzati	3	N. unità immobiliari	6
A _f [m ²]	450																	
V _i [m ³]	1634																	
A _{env} /V _i [m ⁻¹]	0,63																	
A _w /A _{env} [-]	0,06																	
N. piani climatizzati	3																	
N. unità immobiliari	6																	
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	0.3	3													
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/m2K) [equivalente, solaio verso sottotetto (b=0,7)]	U _r	0.18	5													
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m ² K) [equivalente, solaio su cantina (b=0,6)]	U _f	0.17	5													
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	3.8	1													
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	–	2	2													
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	1													
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	COP	3.7	2													
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-DHW)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn,Pn,W}	0.93	1													
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	-	-													
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-														
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m ²)	m ²	7	1													
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	4.8	3													
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η _r	0.6	1													
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	η _{ctr}	ZC	3													
16	Riquilificazione dell'impianto di illuminazione (ILL)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m²)	PN															
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O															
		Fattore di illuminamento costante	F _C															
		Fattore di dipendenza luce diurna	F _D															

Edificio RPC_NO_E



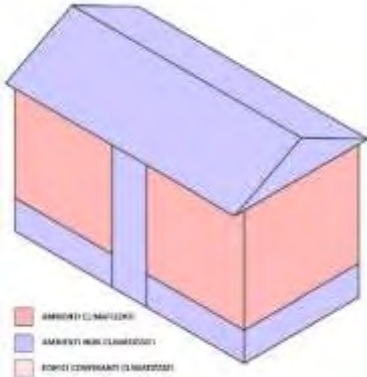
Condominio esistente di piccole dimensioni, nuovo – zona climatica E (Milano)

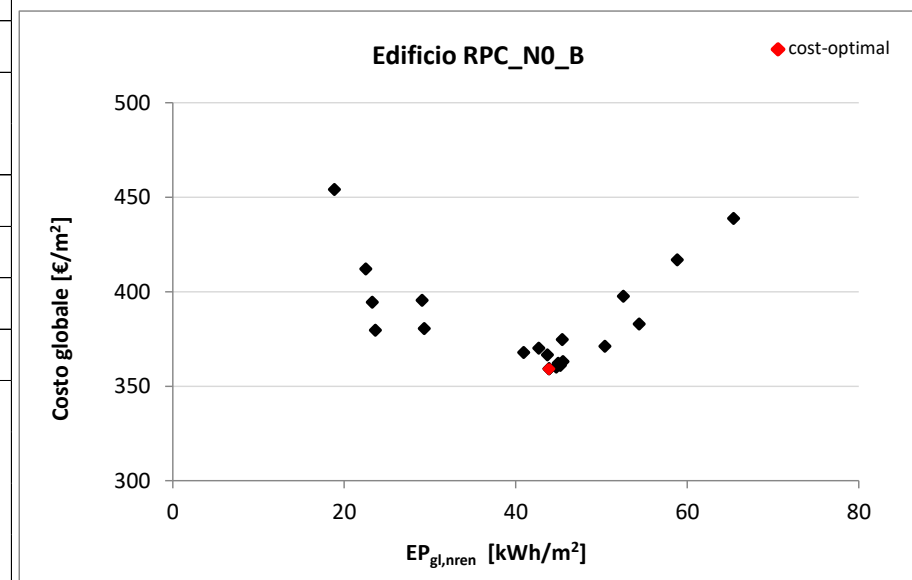
Soluzione cost-optimal



Scheda 6.8 Condominio esistente di piccole dimensioni, nuovo – zona climatica B (Palermo).

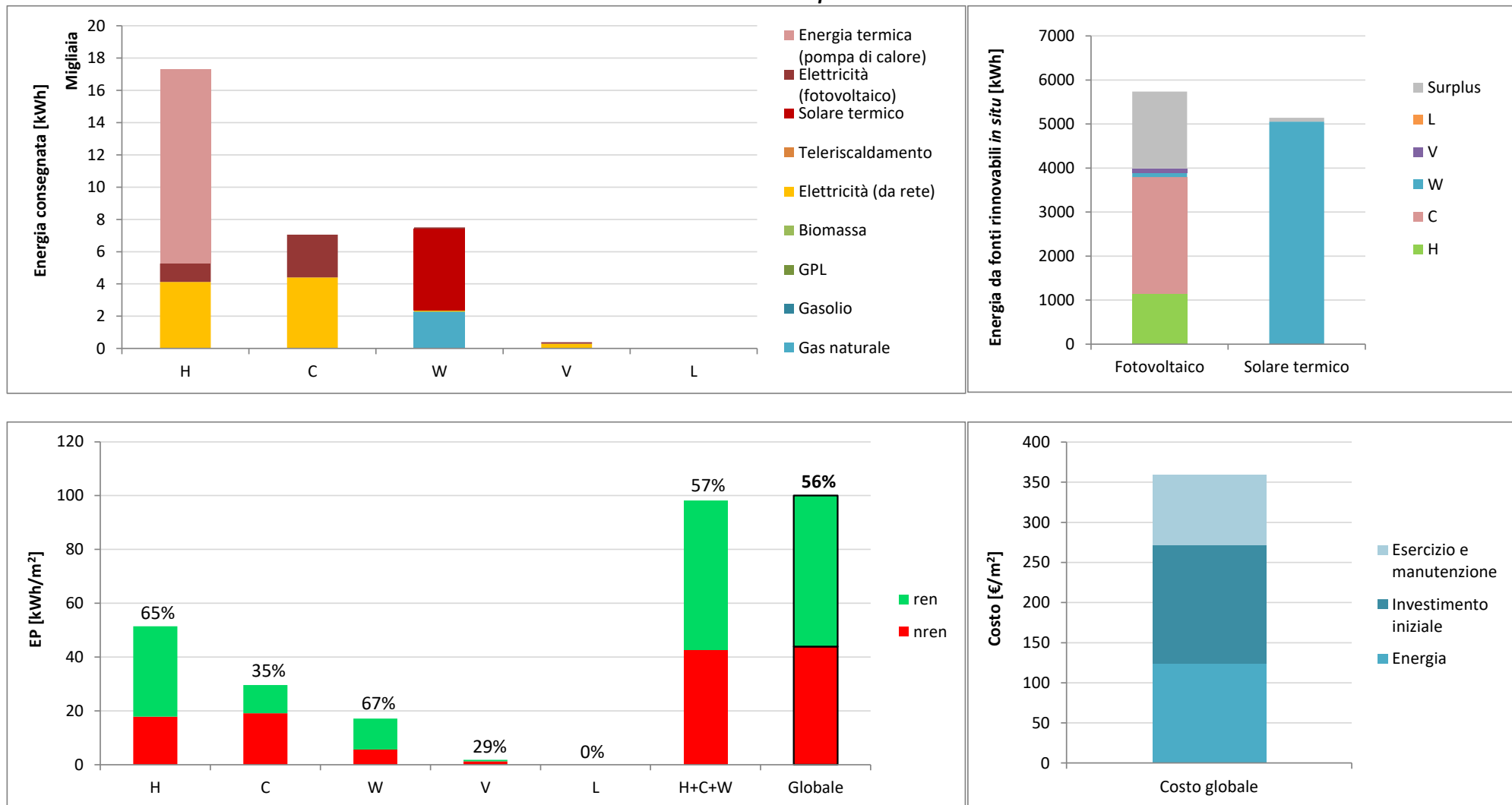
EDIFICIO PICCOLO CONDOMINIO - NUOVO - zona B (RPC_N0_B)					
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_p	1.5	1
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_p		
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m^2K) [equivalente, solaio verso sottotetto ($b=0,7$)]	U_r	0.28	5
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m^2K) [equivalente, solaio su cantina ($b=0,6$)]	U_f	0.29	5
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	3.2	3
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	–	2	2
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	COP	3.7	2
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-DHW)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	0.93	1
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	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m^2)	m^2	7	1
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	4.8	3
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η_r	0.6	1
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	η_{ctr}	ZC	3
16	Riqualficazione dell'impianto di illuminazione (ILL)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m^2)	PN		
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F_o		
		Fattore di illuminamento costante	F_c		
		Fattore di dipendenza luce diurna	F_D		

Dati tipologici		
	$A_f [m^2]$	450
	$V_i [m^3]$	1634
	$A_{env}/V_i [m^{-1}]$	0,63
	$A_w/A_{env} [-]$	0,06
	N. piani climatizzati	3
	N. unità immobiliari	6



Condominio esistente di piccole dimensioni, nuovo – zona climatica B (Palermo)

Soluzione cost-optimal



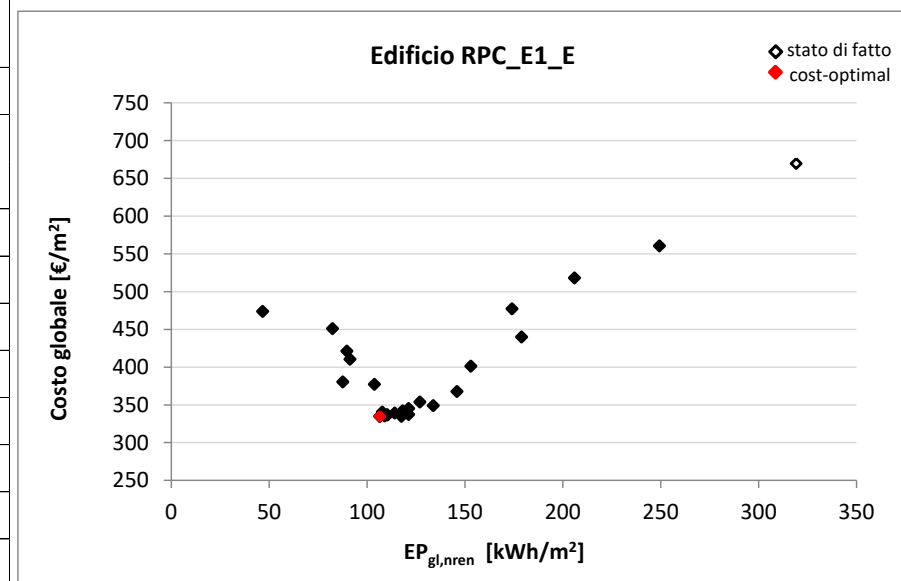
Scheda 6.9 Condominio esistente di piccole dimensioni, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica E (Milano).

EDIFICIO PICCOLO CONDOMINIO - ESISTENTE 1946-76 - zona E (RPC_E1_E)						
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	-	-	-
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	1.15	0.37	2
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m ² K) [equivalente, solaio verso sottotetto (b=0,7)]	U _t	1.49	0.20	5
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m ² K) [equivalente, solaio su cantina (b=0,6)]	U _f	0.65	0.19	5
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	4.9	4.9	1
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	assenti	2	3
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2.35	2.35	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn}	0.879	1.00	3
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-DHW)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn,Pn,W}	0.75	0.93	2
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	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-	
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m ²)	m ²	assente	12	3
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	assente	8.4	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η _r			
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	η _{ctr}	C	ZC	4
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione (ILL)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN			
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O			
		Fattore di illuminamento costante	F _C			
		Fattore di dipendenza luce diurna	F _D			

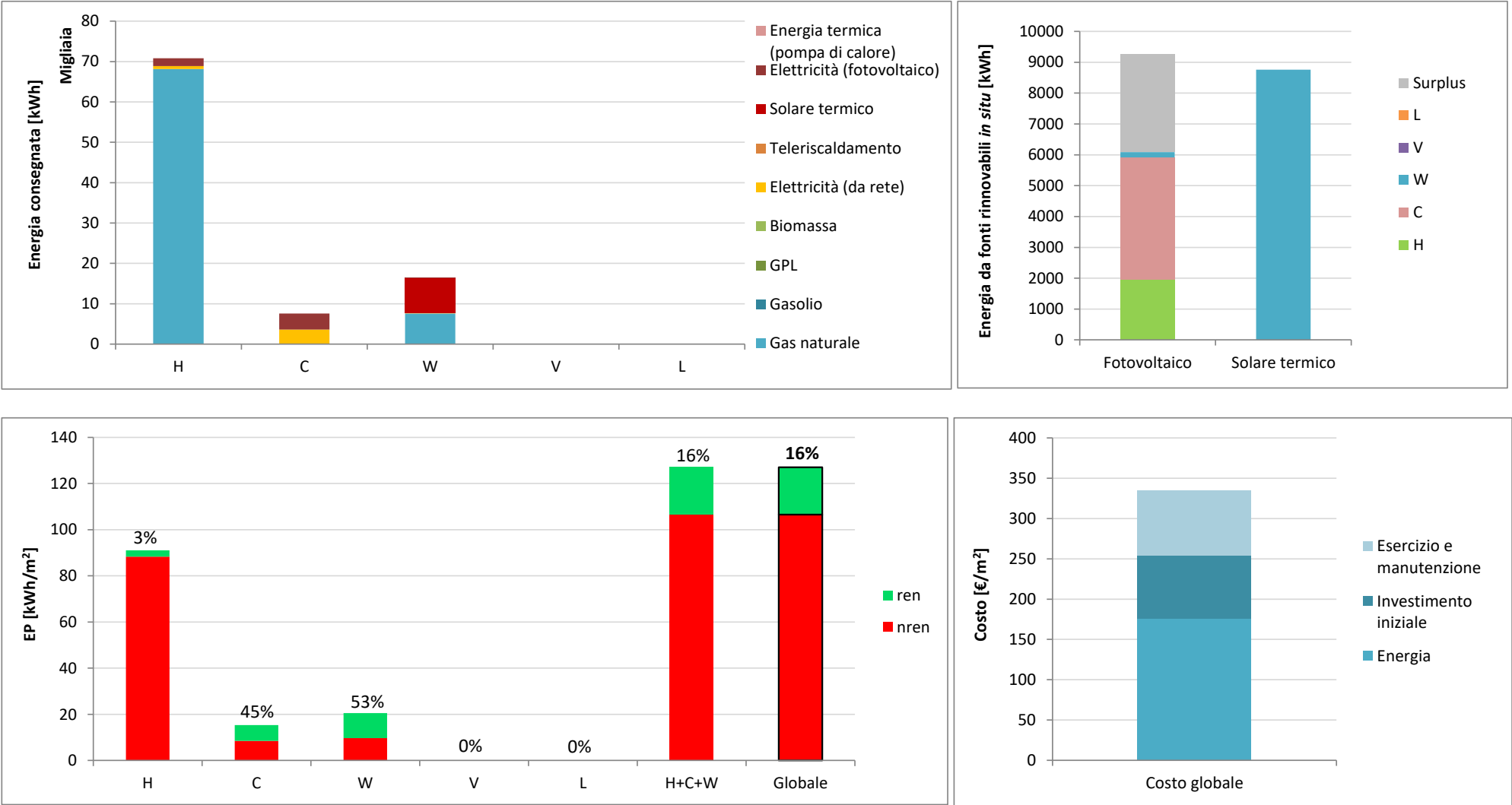
Dati tipologici



A _f [m ²]	827
V _i [m ³]	3076
A _{env} /V _i [m ⁻¹]	0,51
A _w /A _{env} [-]	0,09
N. piani climatizzati	3
N. unità immobiliari	12



Soluzione *cost-optimal*

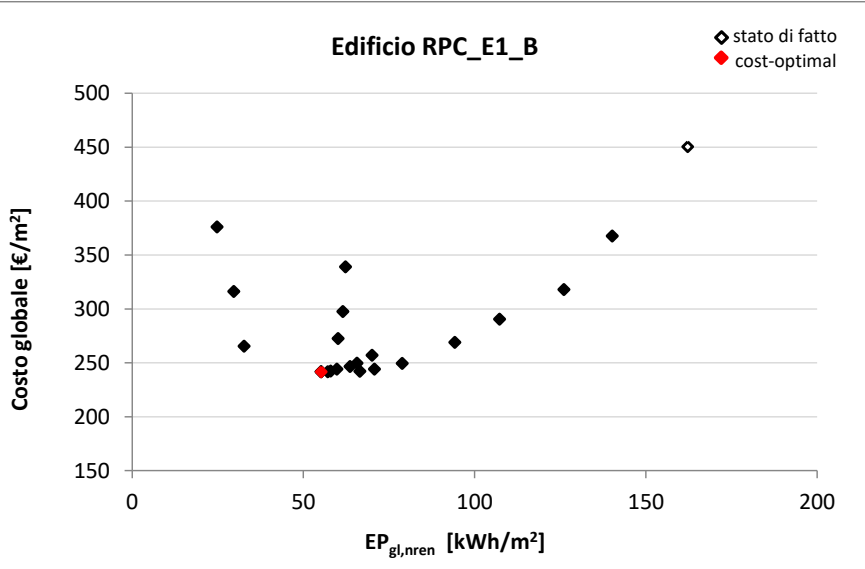


Scheda 6.10 Condominio esistente di piccole dimensioni, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica B (Palermo).

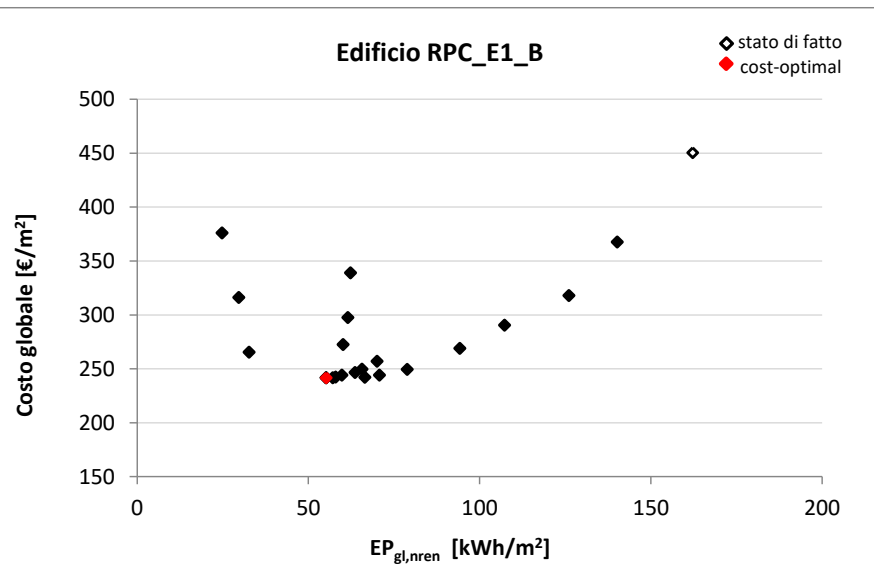
EDIFICIO PICCOLO CONDOMINIO - ESISTENTE 1946-76 - zona B (RPC_E1_B)							Dati tipologici		
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Valore ottimale	N. EEO			
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _p	0.9	0.9	1		A _f [m²]	827
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _p					V _i [m³]	3076
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m²K) [equivalente, solaio verso sottotetto (b=0,7)]	U _t	1.49	0.26	5		A _{env} /V _i [m ⁻¹]	0,51
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m²K) [equivalente, solaio su cantina (b=0,6)]	U _f	0.65	0.28	5		A _w /A _{env} [-]	0,09
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _w	4.9	4.9	1		N. piani climatizzati	3
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	–	assenti	2	3		N. unità immobiliari	12
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2.35	2.35	1			
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn}	0.887	1.00	3			
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-DHW)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn,Pn,W}	0.75	0.93	2			
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	-	-	-			
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-				
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m²)	m²	assente	12	1			
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	assente	8.4	4			
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η _r						
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	η _{ctr}	C	ZC	4			
16	Riquilificazione dell'impianto di illuminazione (ILL)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m²)	PN						
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O						
		Fattore di illuminamento costante	F _C						
		Fattore di dipendenza luce diurna	F _D						

Edificio RPC_E1_B

◆ stato di fatto
◆ cost-optimal

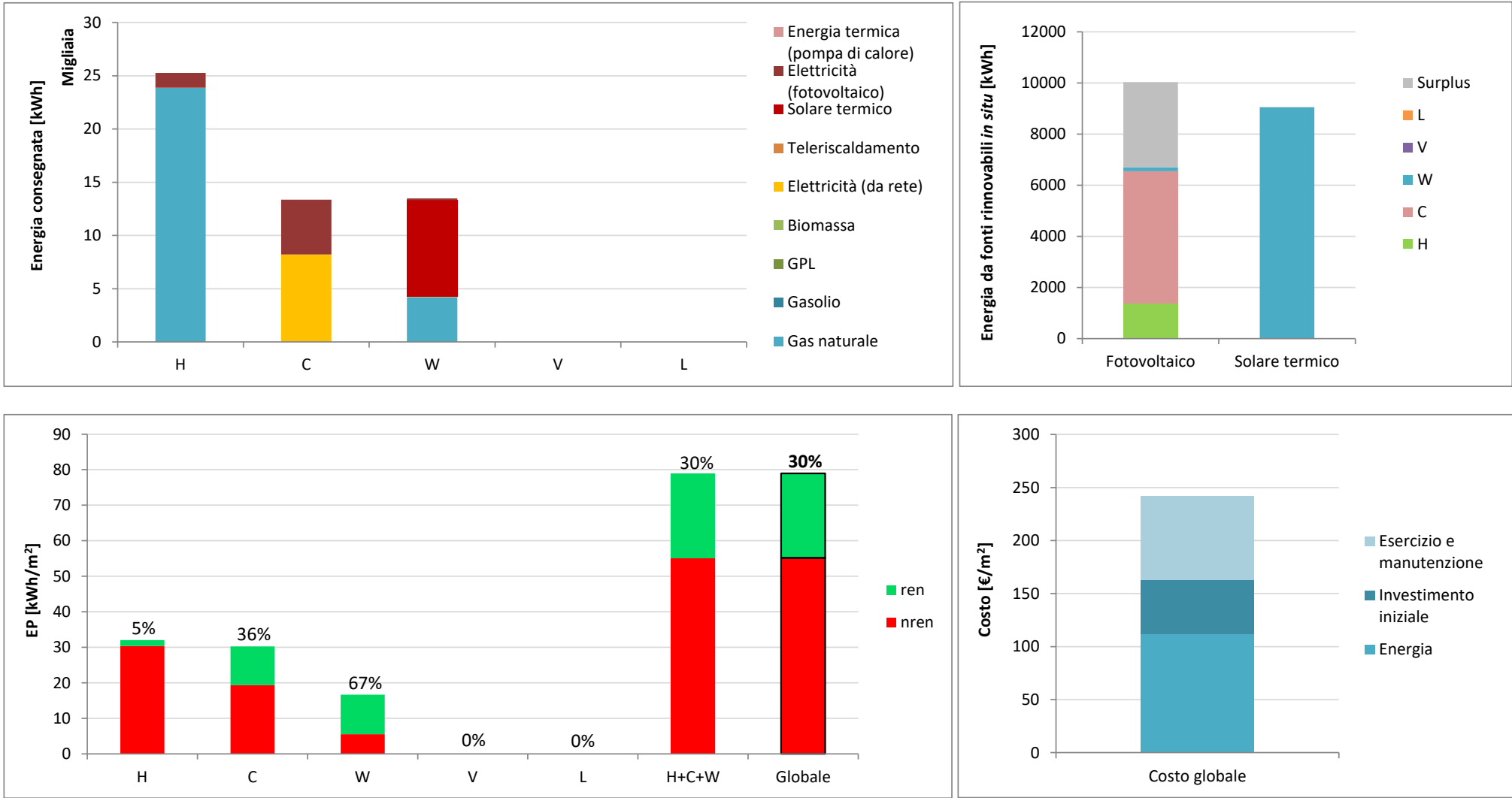


EP _{gl,nren} [kWh/m²]	Costo globale [€/m²]	Category
25	380	stato di fatto
30	315	stato di fatto
35	265	stato di fatto
55	240	cost-optimal
60	245	stato di fatto
65	245	stato di fatto
65	250	stato di fatto
65	255	stato di fatto
65	260	stato di fatto
65	265	stato di fatto
65	270	stato di fatto
65	340	stato di fatto
85	250	stato di fatto
90	270	stato di fatto
105	290	stato di fatto
120	315	stato di fatto
135	370	stato di fatto
165	450	stato di fatto



Condominio esistente di piccole dimensioni, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica B (Palermo)

Soluzione *cost-optimal*



Scheda 6.11 Condominio esistente di piccole dimensioni, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica E (Milano).

EDIFICIO PICCOLO CONDOMINIO - ESISTENTE 1977-90 - zona E (RPC_E2_E)						
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _p	0.80	0.80	1
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _p			
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m²K) [equivalente, solaio verso sottotetto (b=0,7)]	U _t	0.873	0.20	5
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _f	1.14	0.29	4
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _w	3.70	3.70	1
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	–	assenti	assenti	1
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2.35	2.35	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn}	0.85	1.00	3
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-DHW)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn,Pn,W}	0.77	0.93	2
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	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-	
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m²)	m²	assente	12	3
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	assente	9.6	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η _r			
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	η _{ctr}	C	ZC	4
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione (ILL)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m²)	PN			
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O			
		Fattore di illuminamento costante	F _C			
		Fattore di dipendenza luce diurna	F _D			

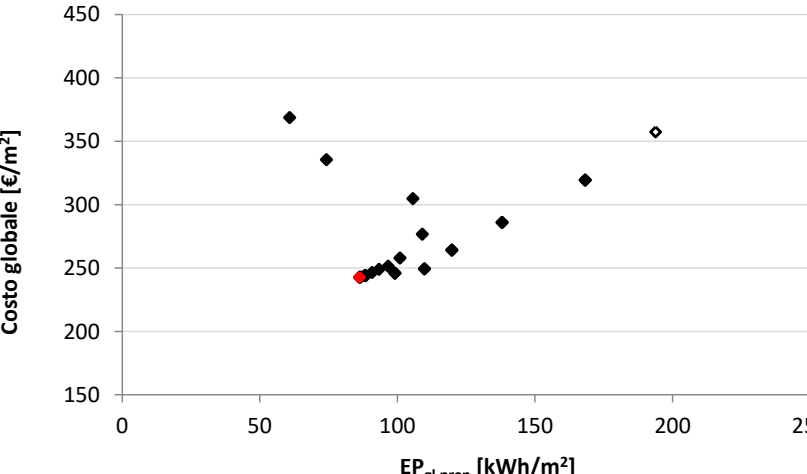


A _f [m ²]	1088
V _i [m ³]	4136
A _{env} /V _i [m ⁻¹]	0,48
A _w /A _{env} [-]	0,06
N. piani climatizzati	3
N. unità immobiliari	12

Edificio RPC_E2_E

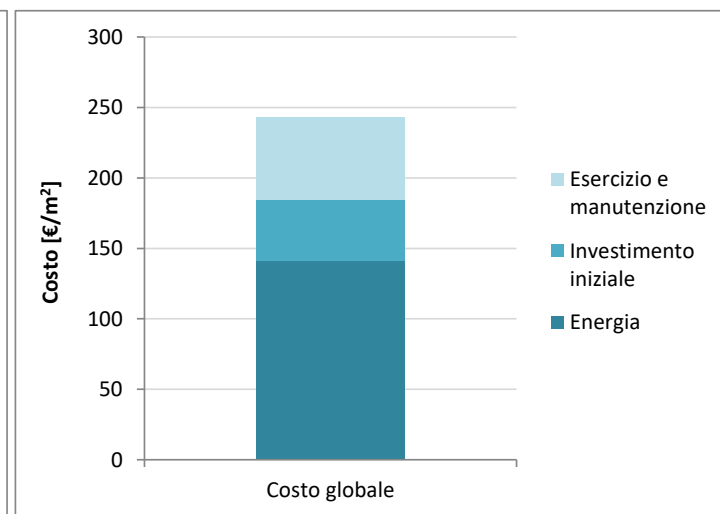
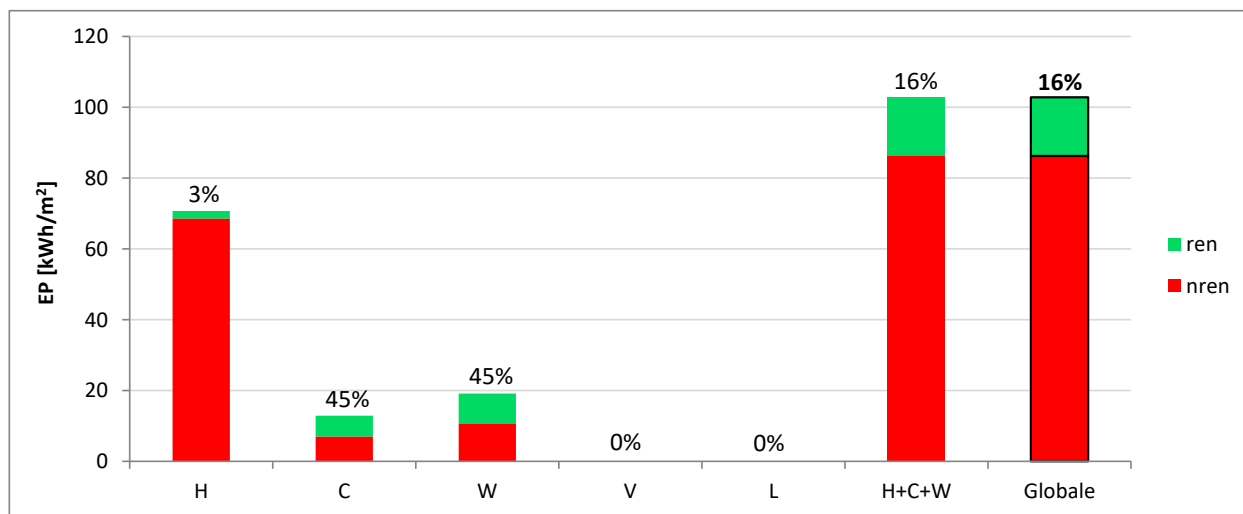
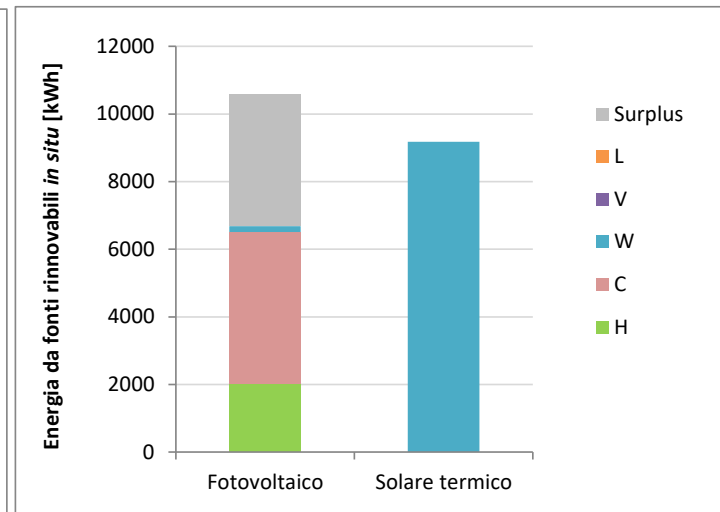
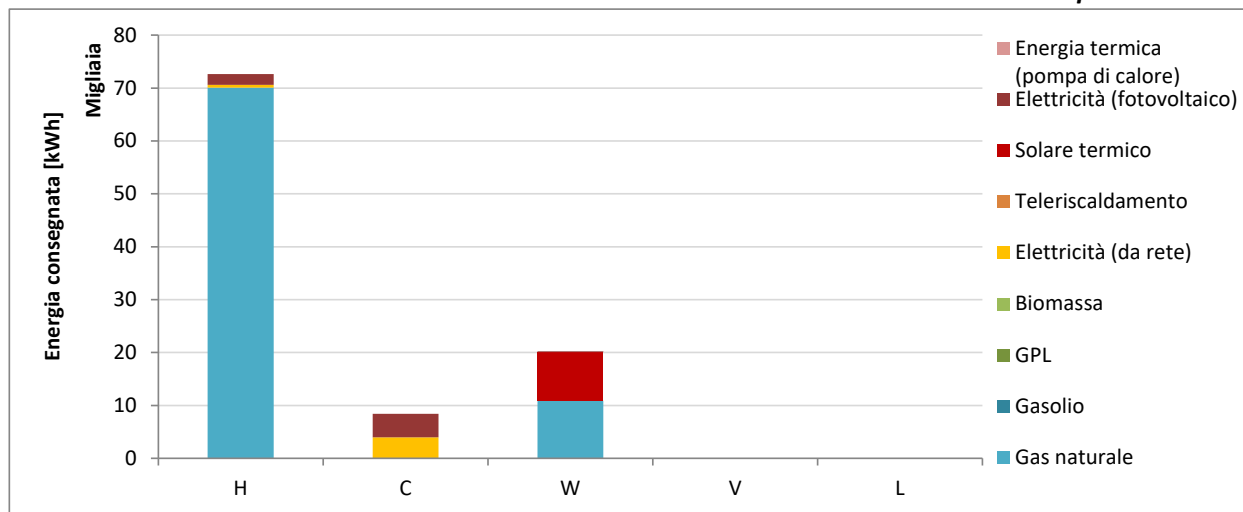
◆ stato di fatto

◆ cost-optimal



Condominio esistente di piccole dimensioni, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica E (Milano)

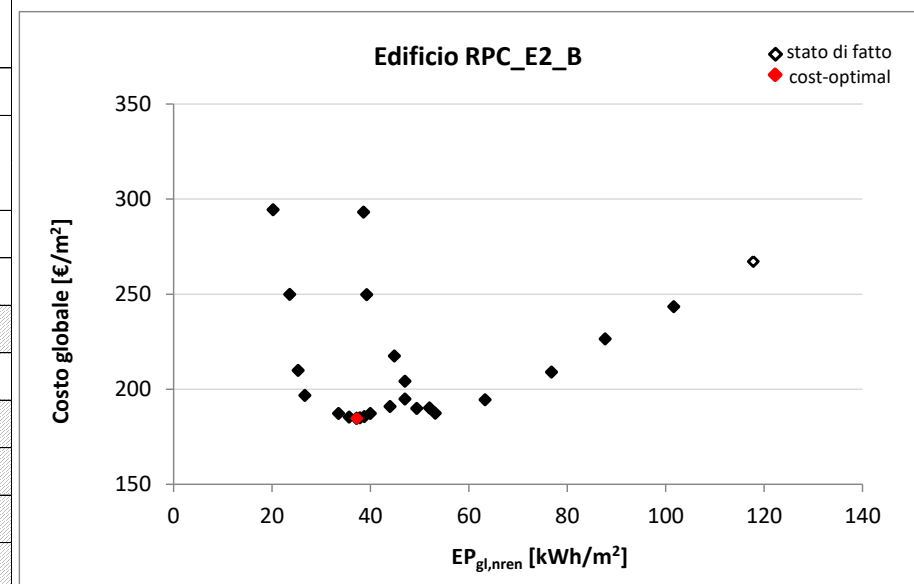
Soluzione cost-optimal



Scheda 6.12 Condominio esistente di piccole dimensioni, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica B (Palermo).

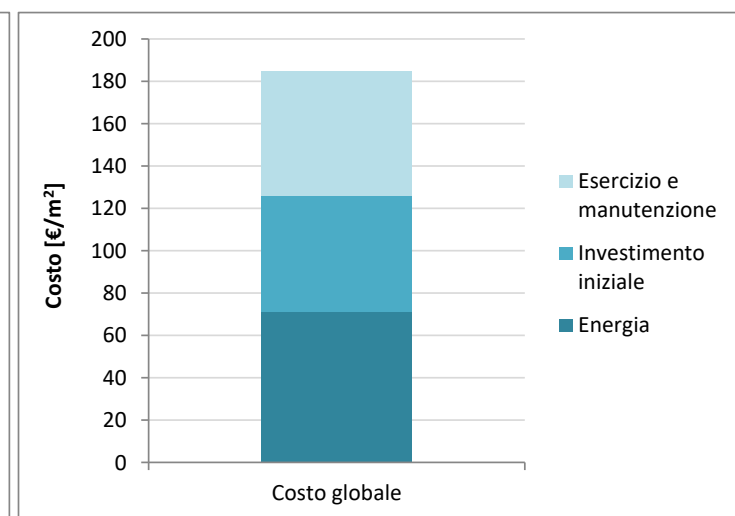
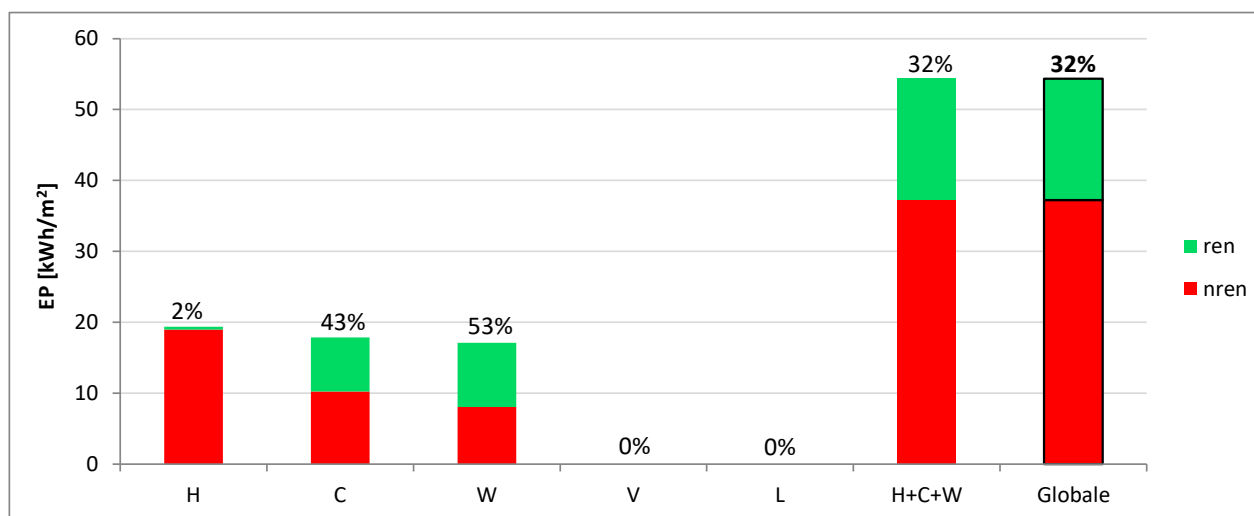
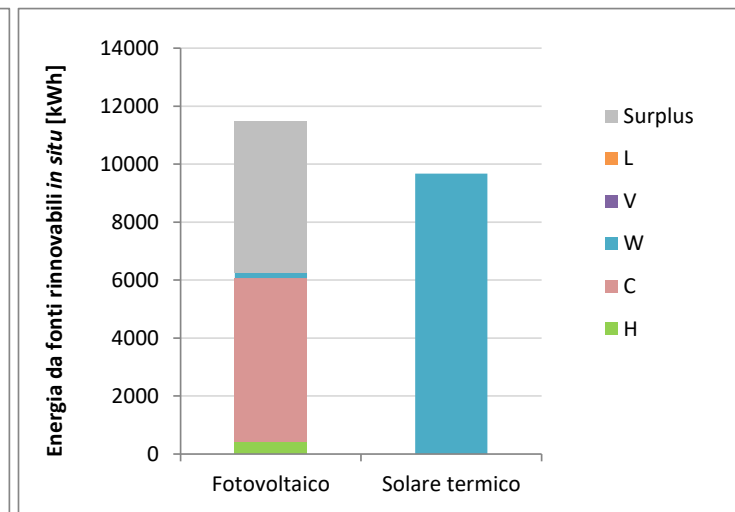
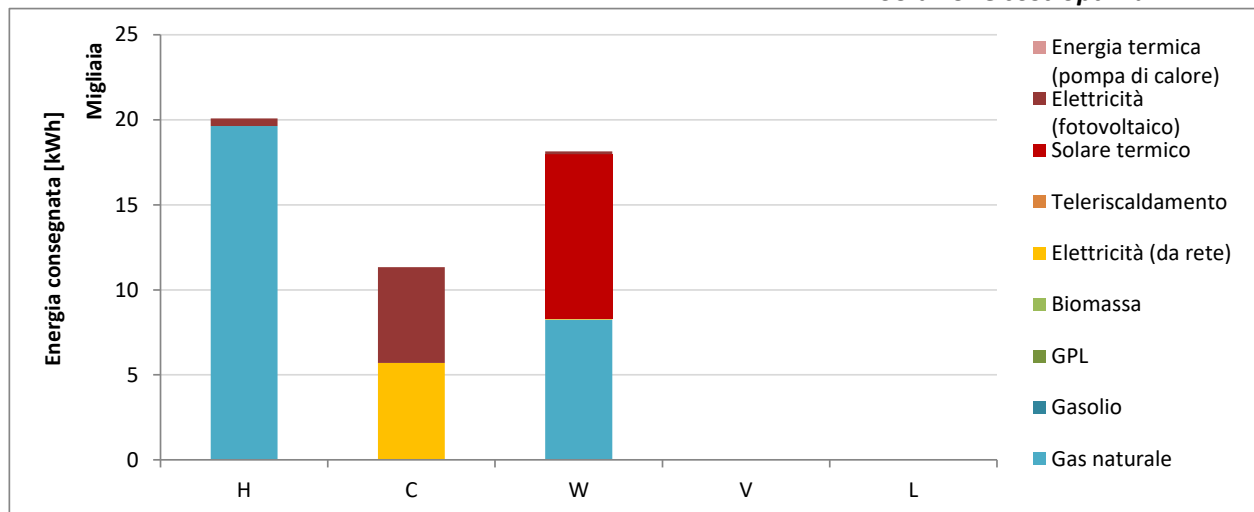
EDIFICIO PICCOLO CONDOMINIO - ESISTENTE 1977-90 - zona B (RPC_E2_B)						
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	-	-	-
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	0.98	0.35	1
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m ² K) [equivalente, solaio verso sottotetto (b=0,7)]	U _r	1.16	0.26	5
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _f	1.60	0.42	4
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	3.80	3.80	1
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	assente	2	3
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2.35	2.35	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn}	0.85	0.85	1
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-DHW)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn,Pn,W}	0.77	0.77	1
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	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-	
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m ²)	m ²	assente	12	3
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	assente	9.6	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η _r			
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	η _{ctr}	C	ZC	4
16	Riqualficazione dell'impianto di illuminazione (ILL)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN			
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O			
		Fattore di illuminamento costante	F _C			
		Fattore di dipendenza luce diurna	F _D			

Dati tipologici	
	
A _f [m ²]	1088
V _i [m ³]	4136
A _{env} /V _i [m ⁻¹]	0,48
A _w /A _{env} [-]	0,06
N. piani climatizzati	3
N. unità immobiliari	12

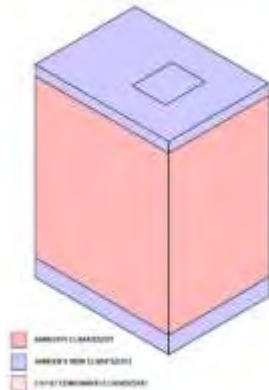


Condominio esistente di piccole dimensioni, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica B (Palermo)

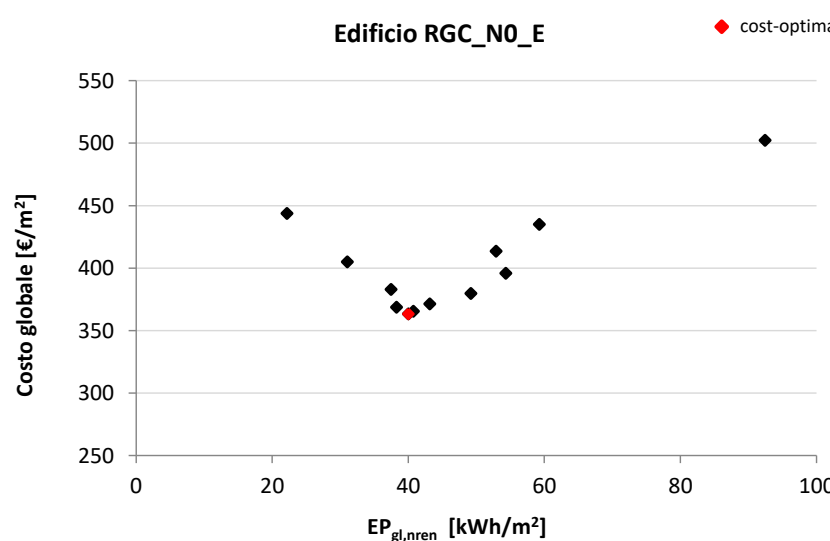
Soluzione cost-optimal



Scheda 6.13 Condominio di grandi dimensioni, nuovo – zona climatica E (Milano).

EDIFICIO GRANDE CONDOMINIO - NUOVO - zona E (RGC_N0_E)						Dati tipologici												
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore ottimale	N. EEO	 <table><tr><td>A_f [m²]</td><td>1788</td></tr><tr><td>V_i [m³]</td><td>6662</td></tr><tr><td>A_{env}/V_i [m⁻¹]</td><td>0,43</td></tr><tr><td>A_w/A_{env} [-]</td><td>0,09</td></tr><tr><td>N. piani climatizzati</td><td>8</td></tr><tr><td>N. unità immobiliari</td><td>24</td></tr></table>	A _f [m ²]	1788	V _i [m ³]	6662	A _{env} /V _i [m ⁻¹]	0,43	A _w /A _{env} [-]	0,09	N. piani climatizzati	8	N. unità immobiliari	24
A _f [m ²]	1788																	
V _i [m ³]	6662																	
A _{env} /V _i [m ⁻¹]	0,43																	
A _w /A _{env} [-]	0,09																	
N. piani climatizzati	8																	
N. unità immobiliari	24																	
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	0.26	4													
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) [equivalente, solaio verso sottotetto (b=0,7)]	U _r	0.18	5													
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m ² K) [equivalente, solaio su cantina (b=0,6)]	U _f	0.17	5													
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	3.8	1													
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	–	2	2													
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	1													
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	COP	3.7	2													
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-DHW)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn,Pn,W}	0.93	1													
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	-	-													
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-														
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m ²)	m ²	20	1													
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	7.2	3													
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η _r	0.9	3													
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	η _{ctr}	ZC	3													
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione (ILL)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN															
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O															
		Fattore di illuminamento costante	F _C															
		Fattore di dipendenza luce diurna	F _D															

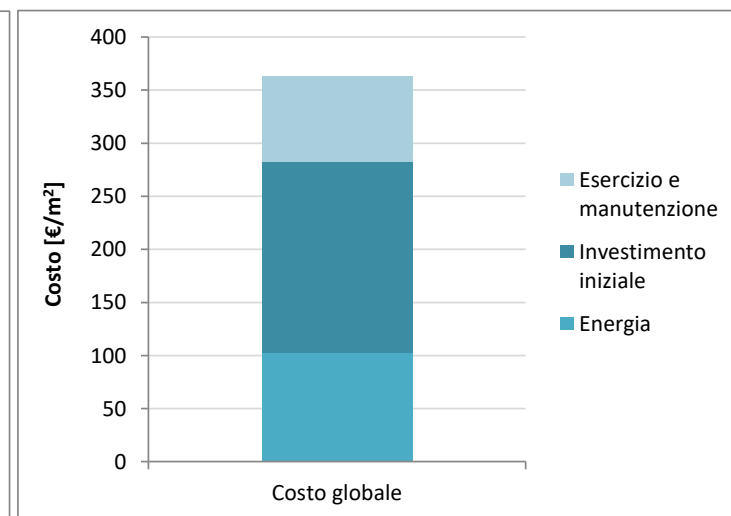
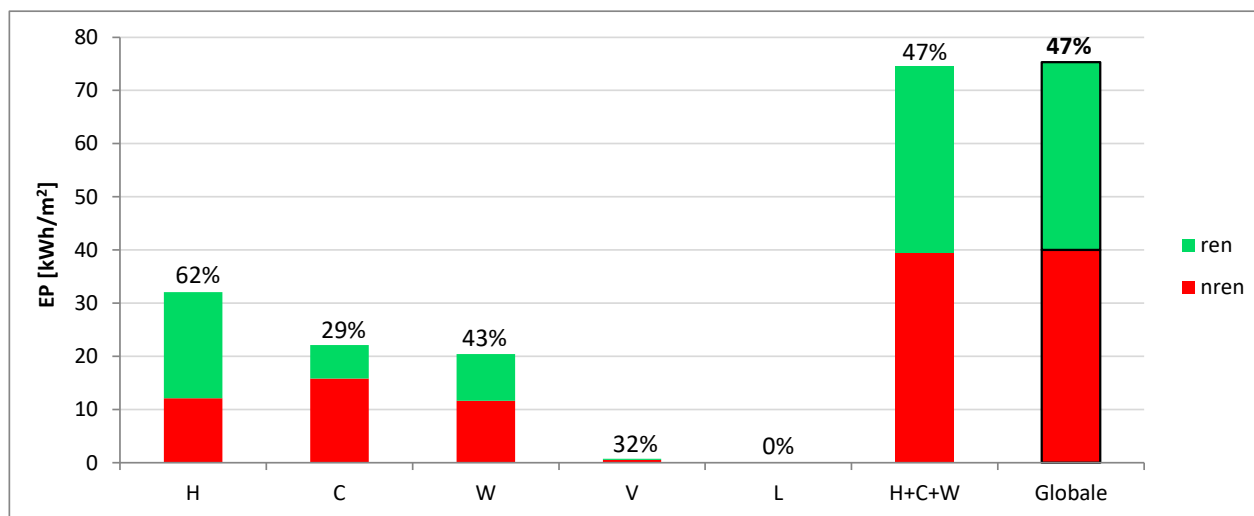
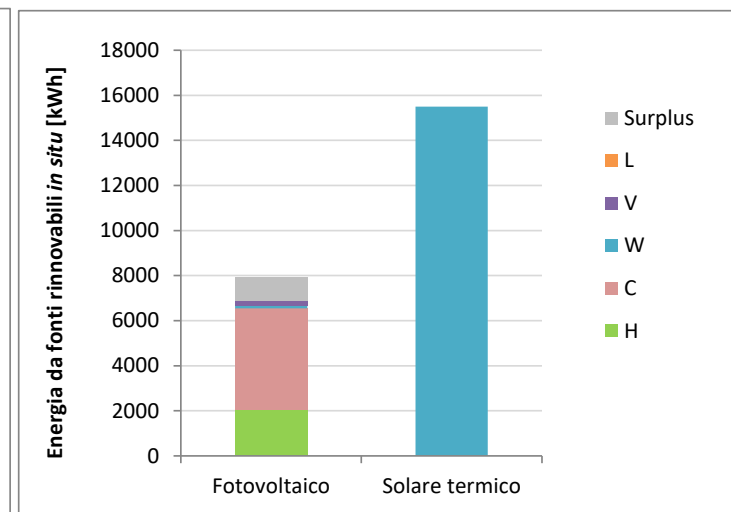
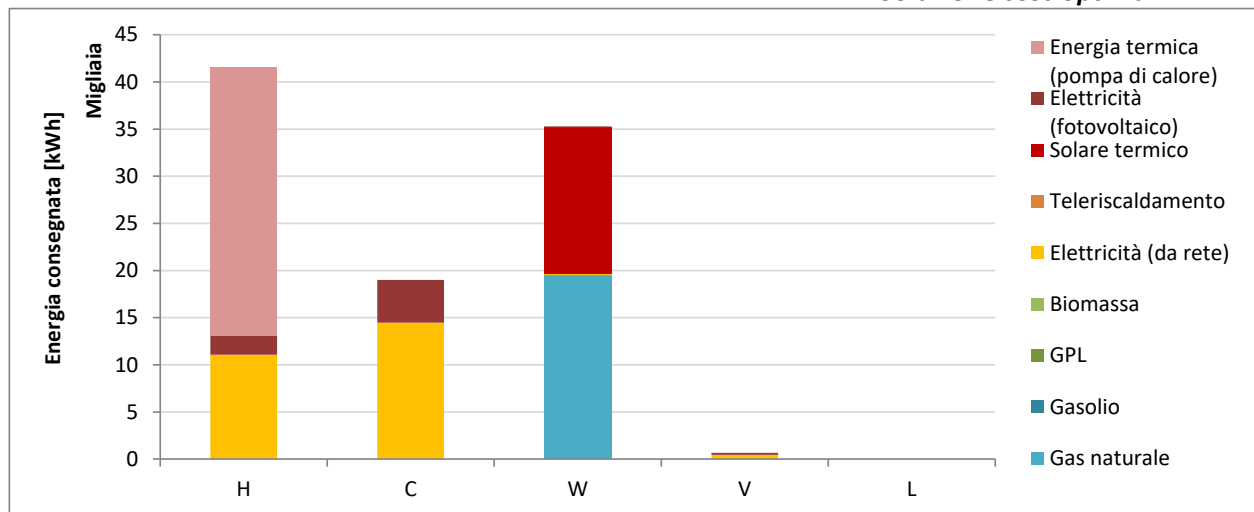
Edificio RGC_N0_E



cost-optimal

Condominio di grandi dimensioni, nuovo – zona climatica E (Milano)

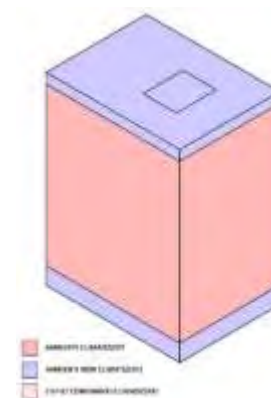
Soluzione *cost-optimal*



Scheda 6.14 Condominio di grandi dimensioni, nuovo – zona climatica B (Palermo).

EDIFICIO GRANDE CONDOMINIO - NUOVO - zona B (RGC_N0_B)					
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _p	1.50	1
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _p		-
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m²K) [equivalente, solaio verso sottotetto (b=0,7)]	U _t	0.28	5
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m²K) [equivalente, solaio su cantina (b=0,6)]	U _f	0.29	5
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _w	3.2	3
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	–	2	2
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	COP	3.7	2
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-DHW)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn, Pn, W}	0.93	1
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	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m²)	m²	20	1
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	7.2	3
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η _r	0.6	1
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	η _{ctr}	ZC	3
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione (ILL)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m²)	PN		
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O		
		Fattore di illuminamento costante	F _C		
		Fattore di dipendenza luce diurna	F _D		

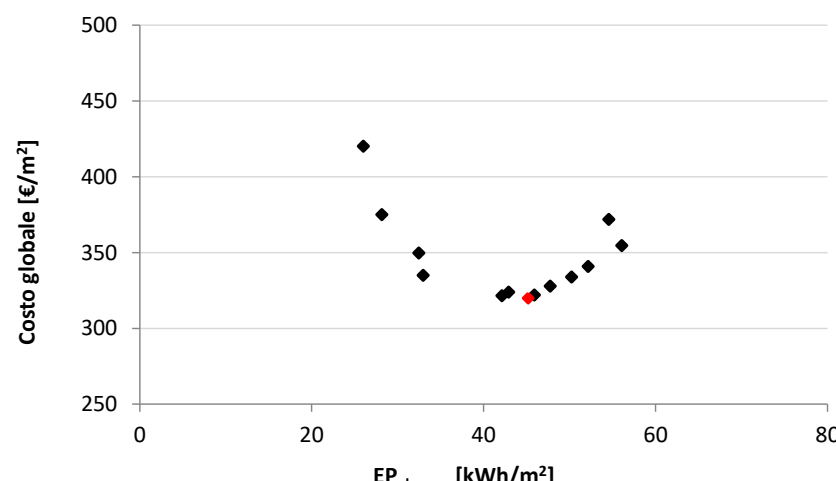
Dati tipologici	
A _f [m ²]	1788
V _i [m ³]	6662
A _{env} /V _i [m ⁻¹]	0,43
A _w /A _{env} [-]	0,09
N. piani climatizzati	8
N. unità immobiliari	24



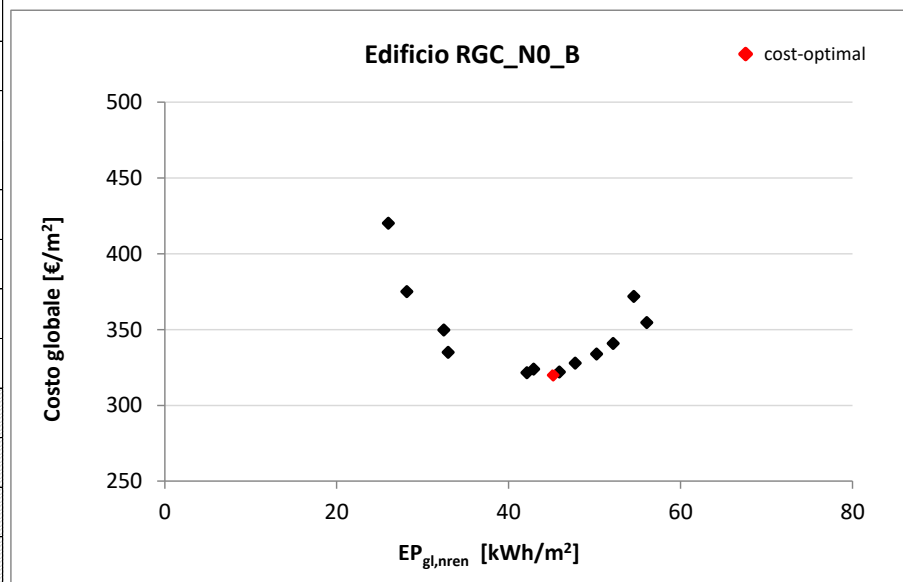
■ MUR ESTERNO CLIMATIZZATO
■ MUR INTERNO NON CLIMATIZZATO
■ COPERTURA E PAVIMENTO CLIMATIZZATO

Edificio RGC_N0_B

◆ cost-optimal

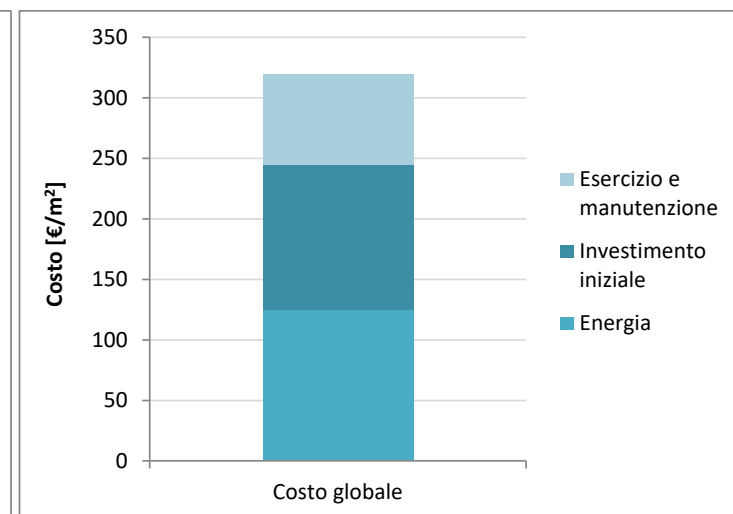
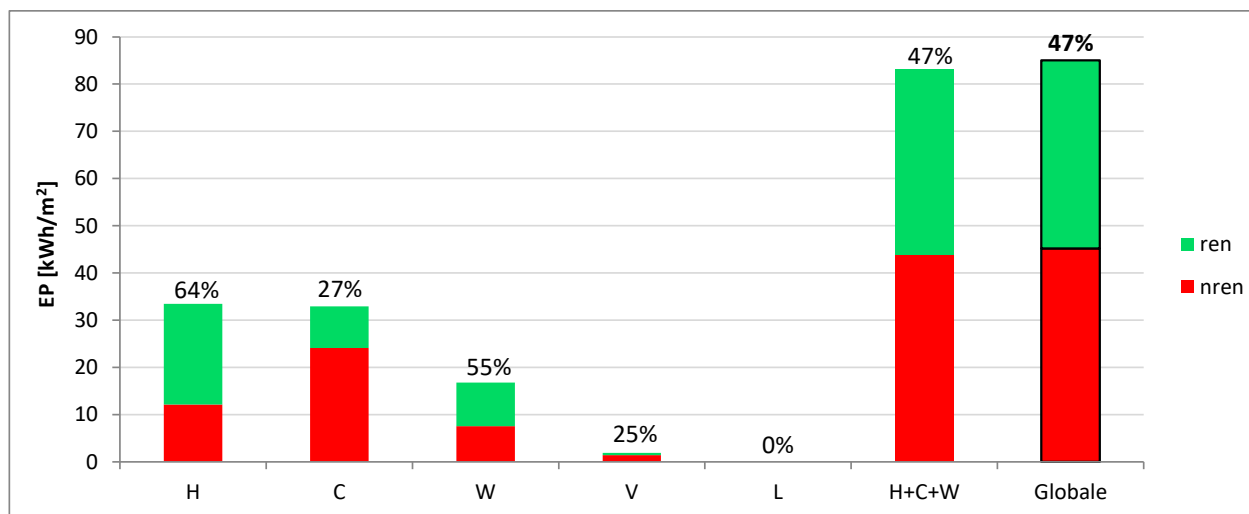
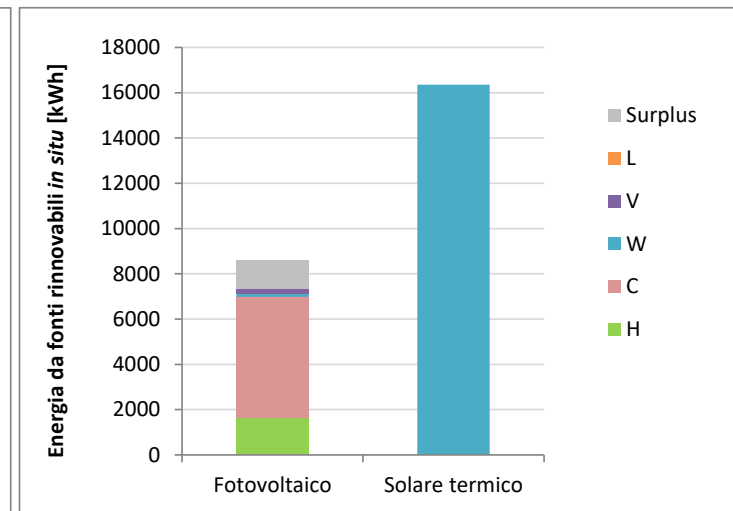
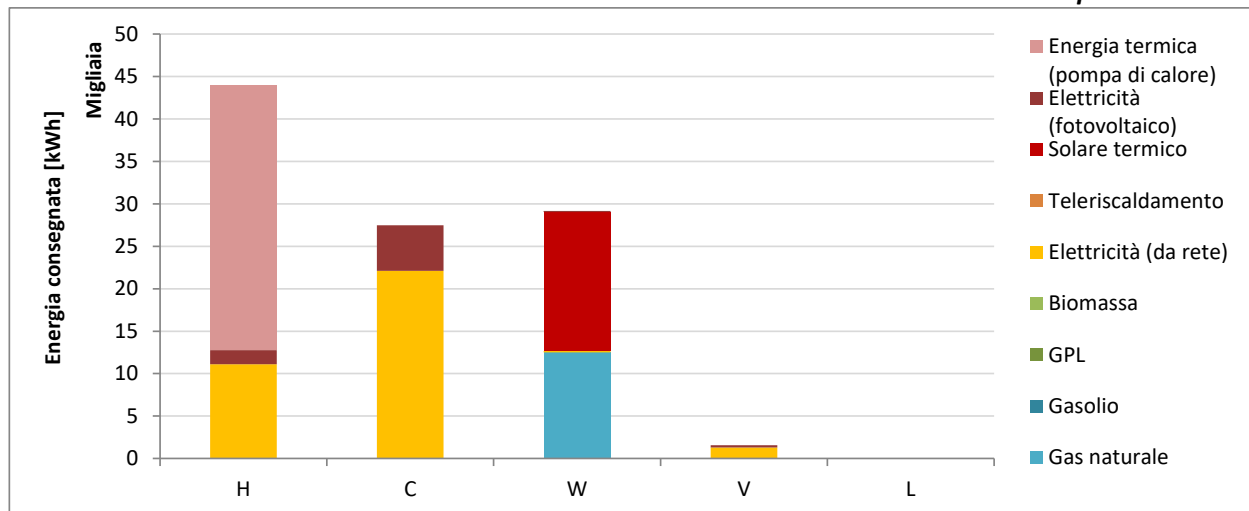


EP _{g,l,nren} [kWh/m²]	Costo globale [€/m²]
25	420
28	375
32	350
33	335
42	320
45	325
48	335
50	340
55	355
58	355



Condominio di grandi dimensioni, nuovo – zona climatica B (Palermo)

Soluzione cost-optimal



Scheda 6.15 Condominio esistente di grandi dimensioni, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica E (Milano).

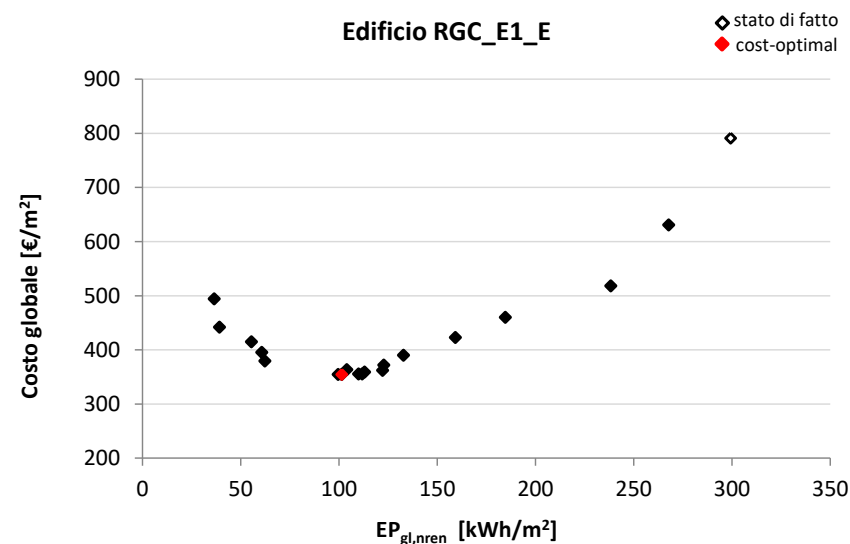
EDIFICIO GRANDE CONDOMIO - ESISTENTE 1946-76 - zona E (RGC_E1_E)						
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p			-
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	1.15	0.37	2
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m ² K) [equivalente, solaio verso sottotetto (b=0,7)]	U _r	1.16	0.20	5
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m ² K) [equivalente, solaio su cantina (b=0,6)]	U _f	0.78	0.78	1
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	4.9	2.3	2
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	assenti	2	3
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2.35	2.35	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn}	0.85	0.95	2
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-DHW)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn,Pn,W}	0.75	0.93	2
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		-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		-	
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m ²)	m ²	assenti	20	2
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	assenti	10.8	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η _r			-
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	η _{ictr}	C	ZC	4
16	Riqualficazione dell'impianto di illuminazione (ILL)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN			
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O			
		Fattore di illuminamento costante	F _C			
		Fattore di dipendenza luce diurna	F _D			

Dati tipologici

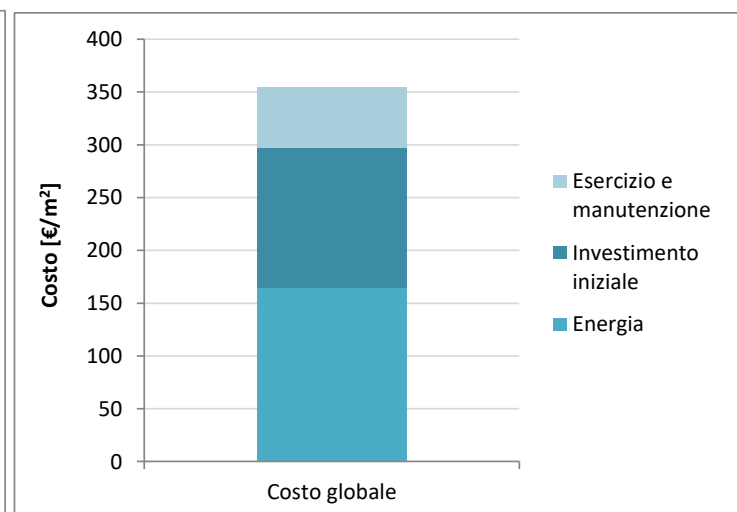
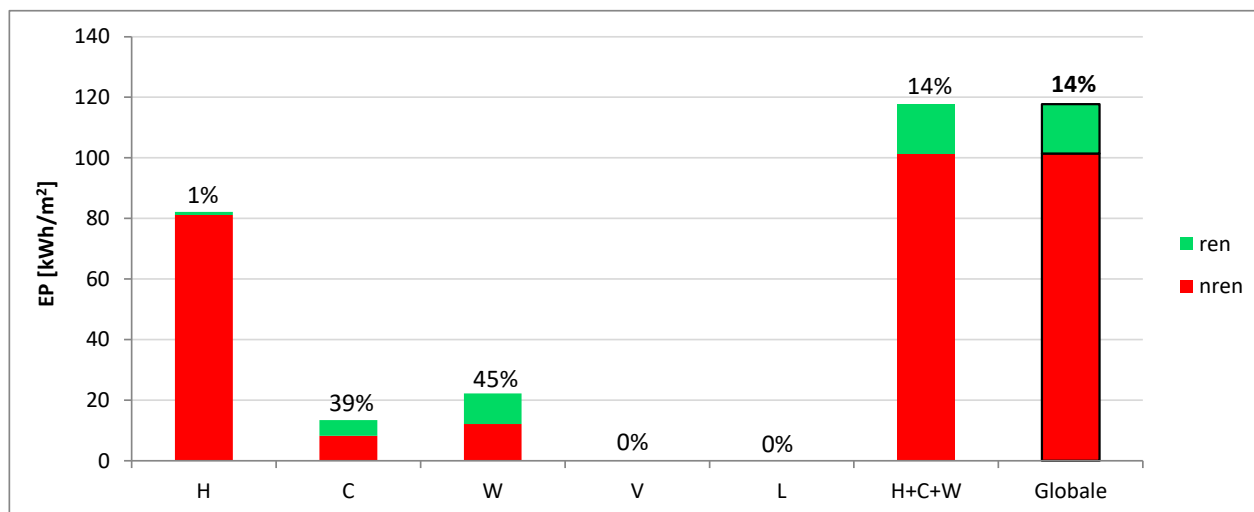
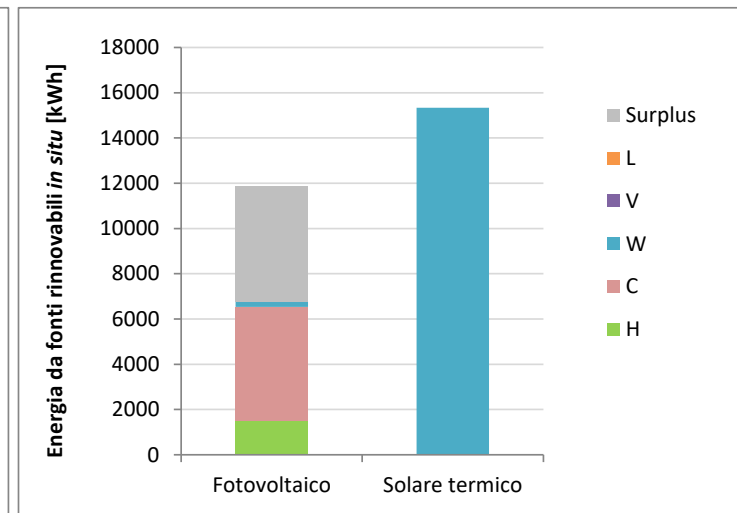
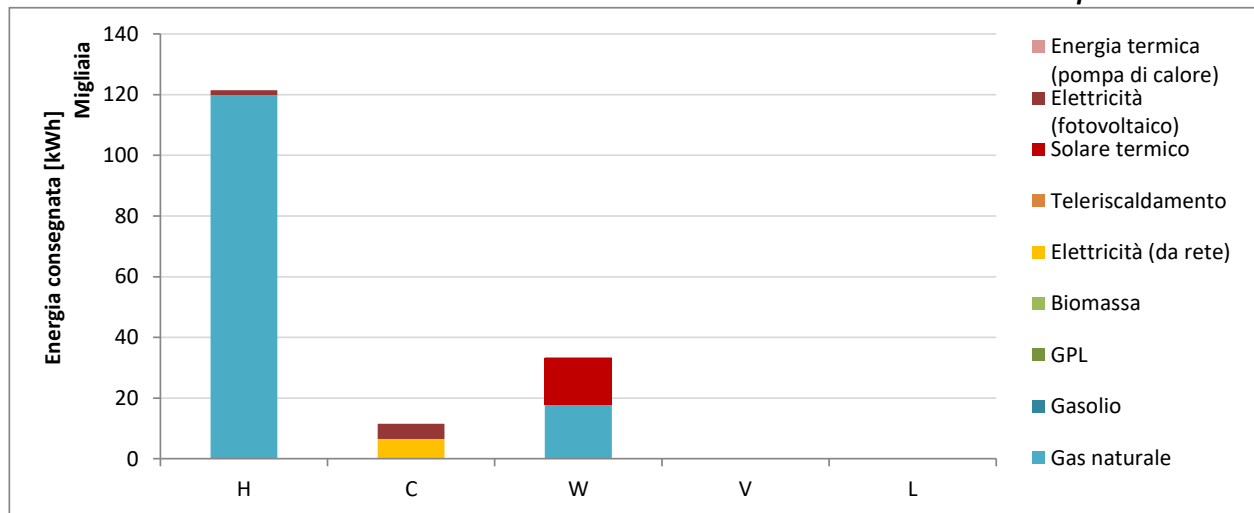


A _f [m ²]	1552
V _i [m ³]	5949
A _{env} /V _i [m ⁻¹]	0,46
A _w /A _{env} [-]	0,08
N. piani climatizzati	4
N. unità immobiliari	24

Edificio RGC_E1_E



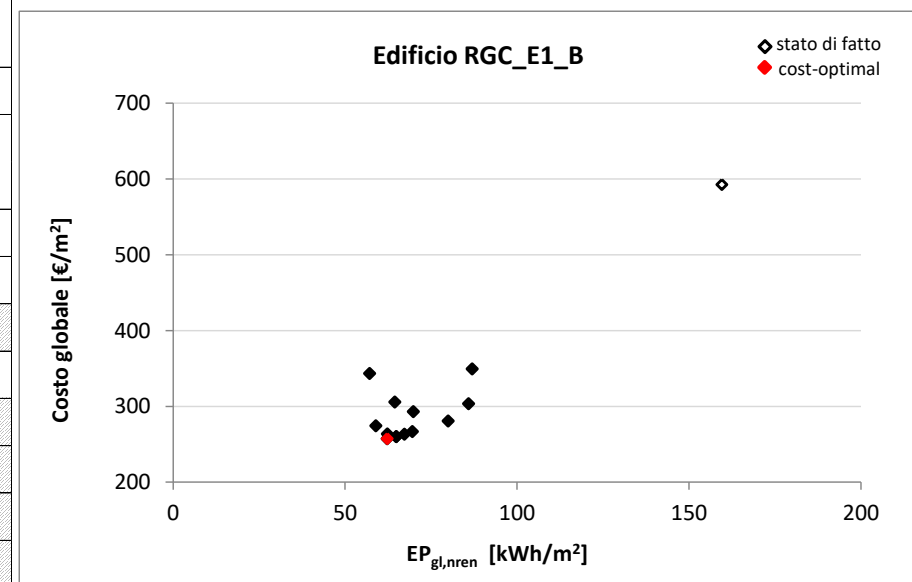
Soluzione cost-optimal



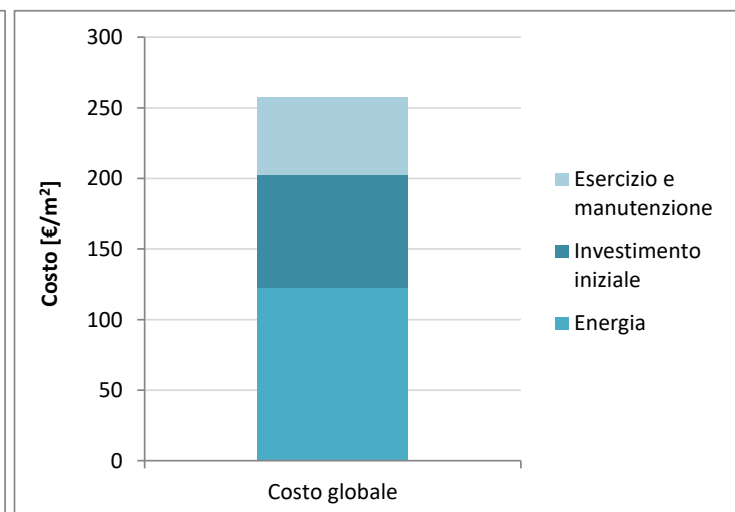
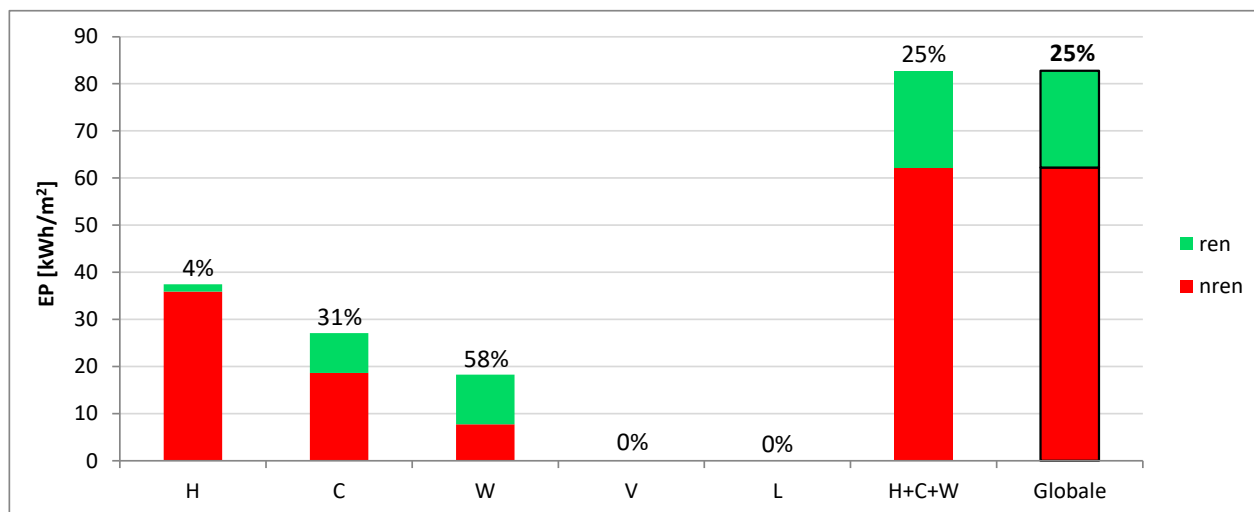
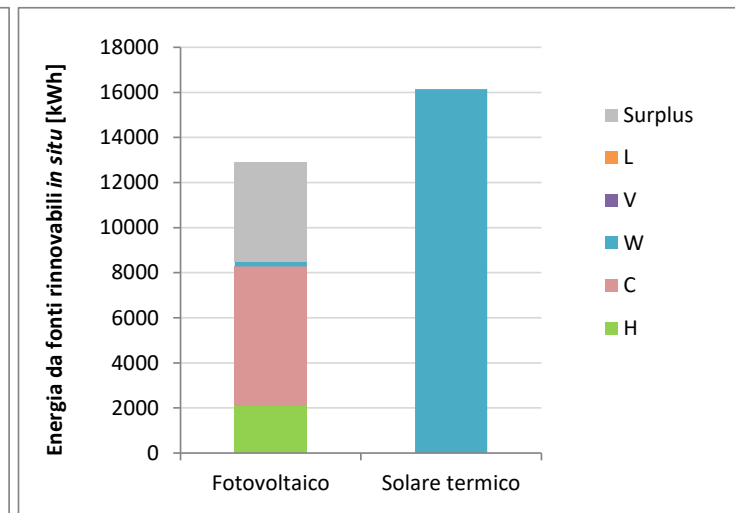
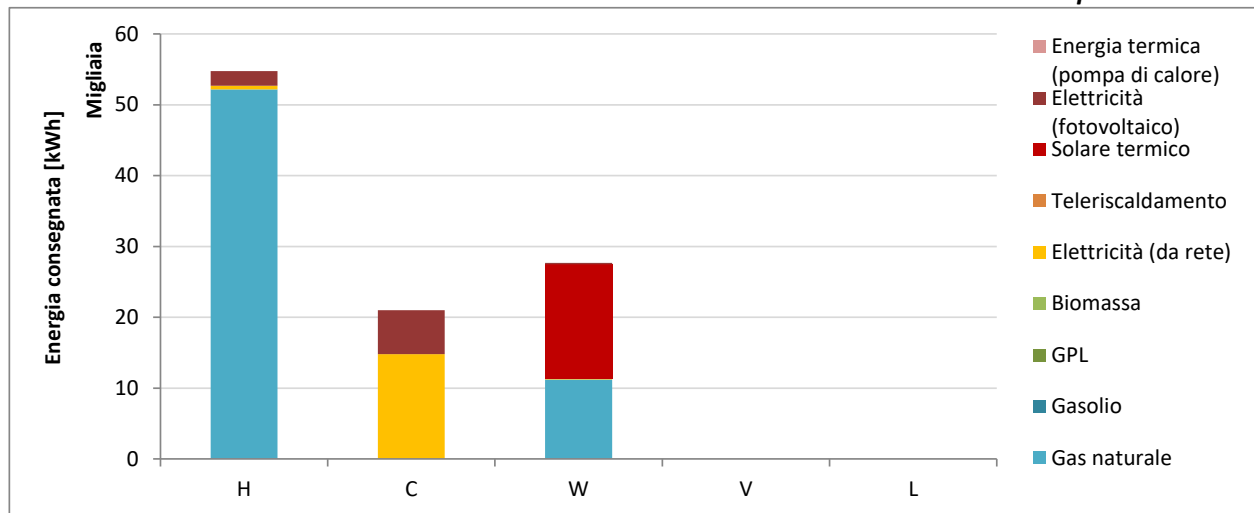
Scheda 6.16 Condominio esistente di grandi dimensioni, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica B (Palermo).

EDIFICIO GRANDE CONDOMIO - ESISTENTE 1946-76 - zona B (RGC_E1_B)						
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	0.9	0.9	1
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) [equivalente, solaio verso sottotetto (b=0,7)]	U _t	1.16	0.26	5
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m ² K) [equivalente, solaio su cantina (b=0,6)]	U _f	0.78	0.78	1
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	4.9	3.2	3
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	–	assenti	2	3
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2.35	2.35	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn}	0.85	1	3
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-DHW)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn,Ph,W}	0.75	0.93	2
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		-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		-	
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m ²)	m ²	assenti	20	2
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	assenti	10.8	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η _r			
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	η _{ctr}	C	ZC	4
16	Riqualficazione dell'impianto di illuminazione (ILL)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN			
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O			
		Fattore di illuminamento costante	F _C			
		Fattore di dipendenza luce diurna	F _D			

Dati tipologici	
A _f [m ²]	1552
V _i [m ³]	5949
A _{env} /V _i [m ⁻¹]	0,46
A _w /A _{env} [-]	0,08
N. piani climatizzati	4
N. unità immobiliari	24



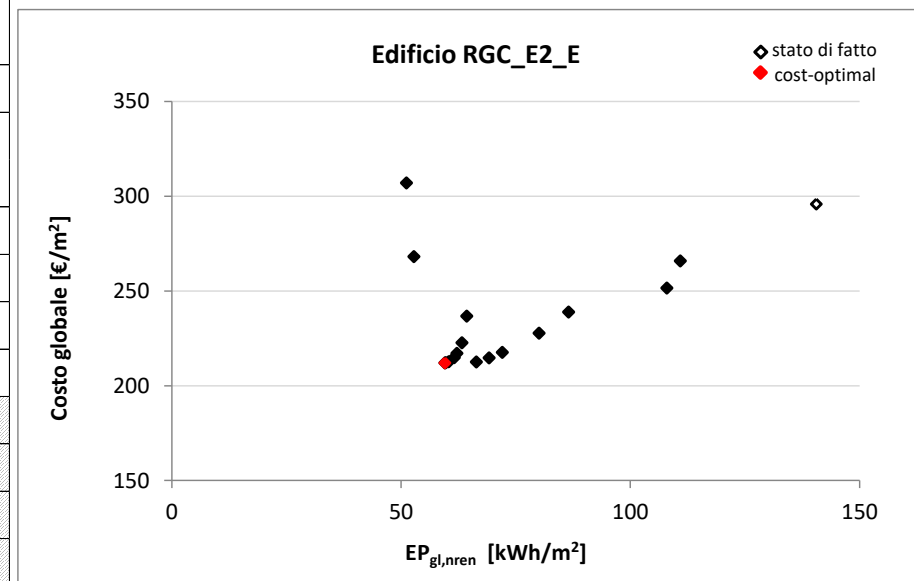
Soluzione cost-optimal



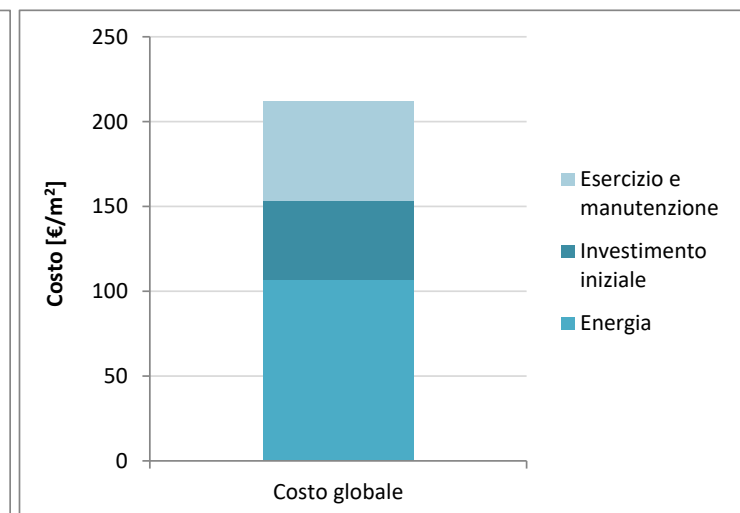
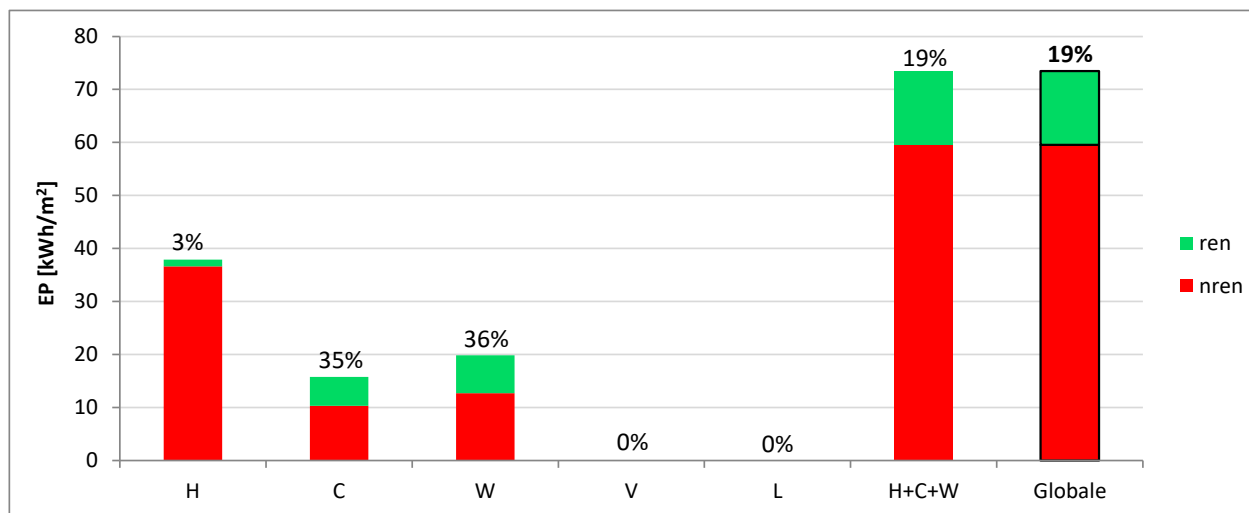
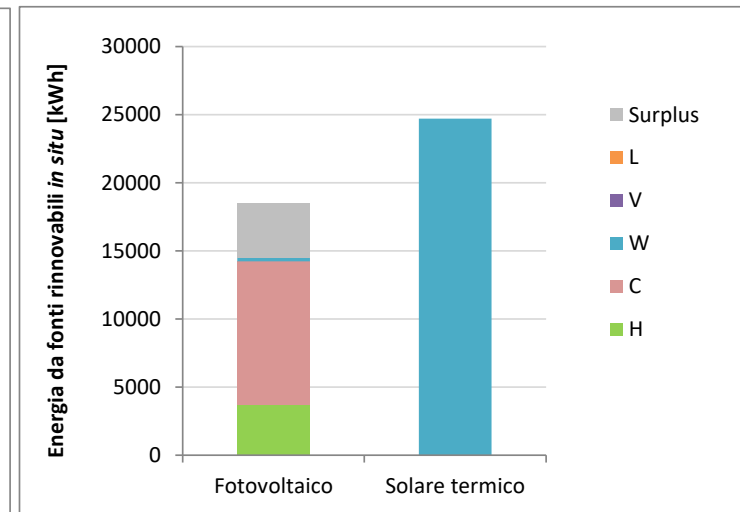
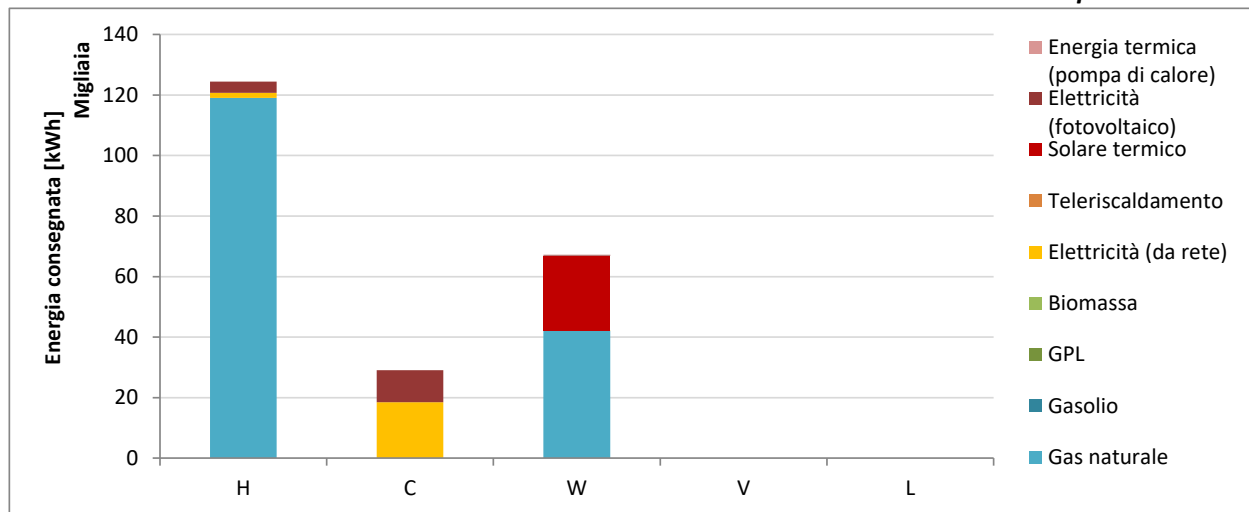
Scheda 6.17 Condominio esistente di grandi dimensioni, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica E (Milano).

EDIFICIO GRANDE CONDOMIO - ESISTENTE 1977-90 - zona B (RGC_E2_E)						
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p			0
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	0.76	0.27	2
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m ² K) [equivalente, solaio verso sottotetto (b=0,7)]	U _t	0.679	0.20	5
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m ² K) [equivalente, solaio su cantina (b=0,6)]	U _f	0.59	0.29	4
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	3.7	3.7	1
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	–	assenti	2	3
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2.35	2.35	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn}	0.85	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-DHW)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn,Pn,W}	0.8	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione in condizioni di progetto	η _{gn}		1.00	2
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP		-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		-	
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m ²)	m ²	assenti	30	3
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	assenti	16.8	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η _t			-
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	η _{ictr}	C	ZC	4
16	Riquilibrificazione dell'impianto di illuminazione (ILL)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN			
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O			
		Fattore di illuminamento costante	F _C			
		Fattore di dipendenza luce diurna	F _D			

Dati tipologici	
	
A _f [m ²]	3506
V _i [m ³]	12685
A _{env} /V _i [m ⁻¹]	0,37
A _w /A _{env} [-]	0,08
N. piani climatizzati	6
N. unità immobiliari	48



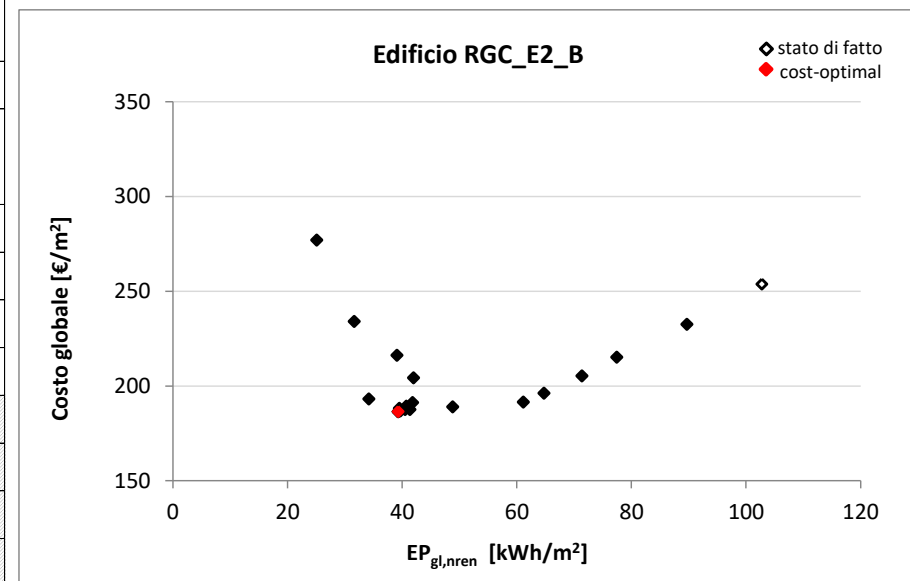
Soluzione cost-optimal



Scheda 6.18 Condominio esistente di grandi dimensioni, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica B (Palermo).

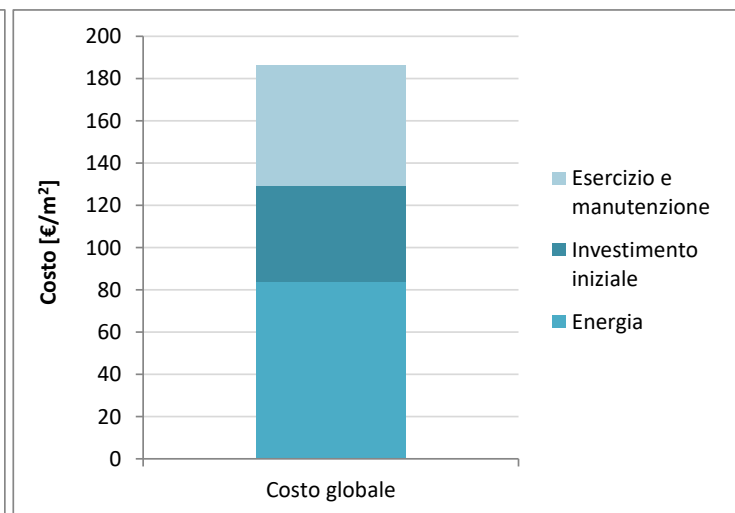
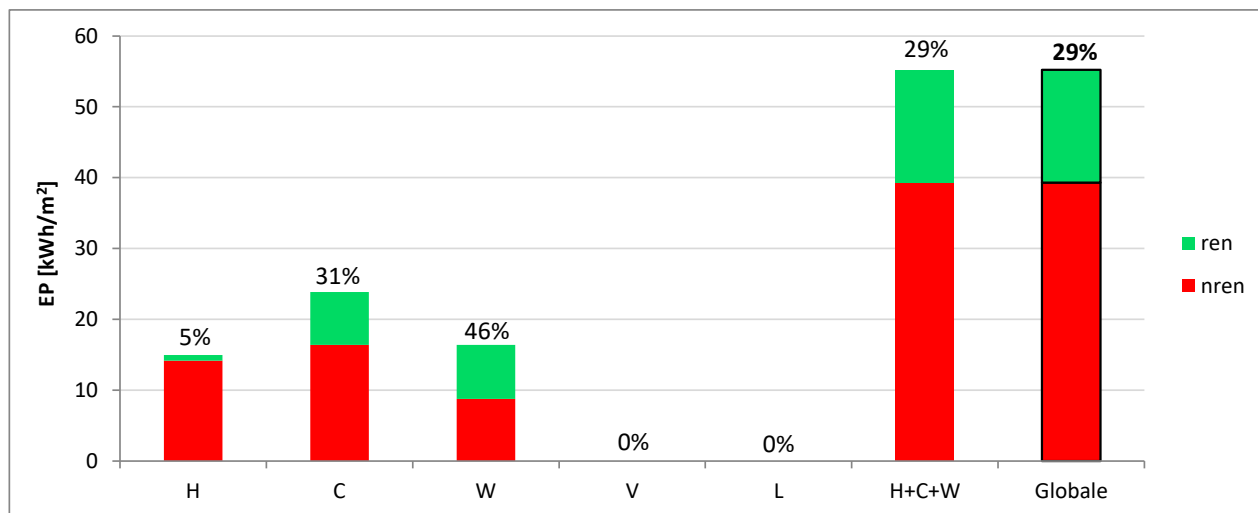
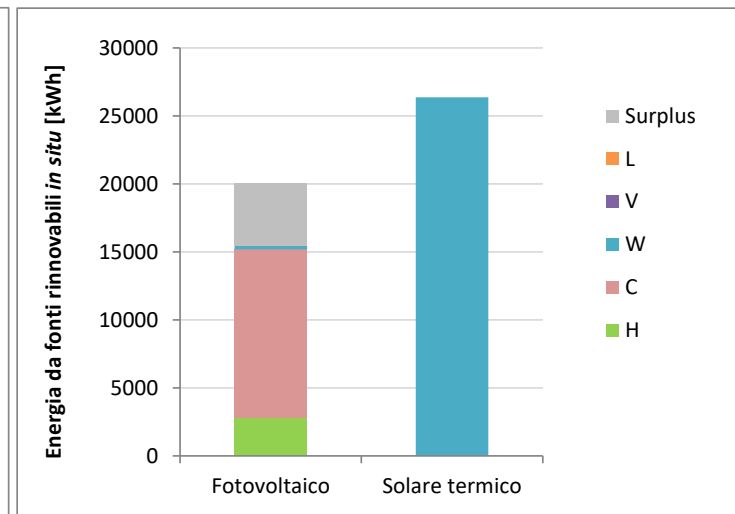
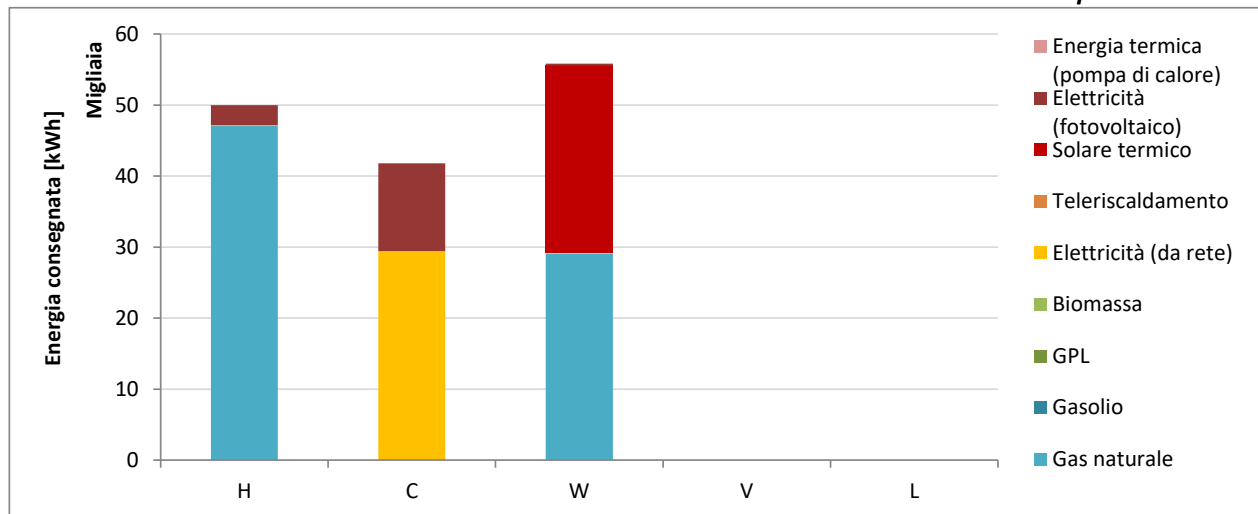
EDIFICIO GRANDE CONDOMIO - ESISTENTE 1977-90 - zona B (RGC_E2_B)						
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p			
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	0.98	0.35	2
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m ² K) [equivalente, solaio verso sottotetto (b=0,7)]	U _r	1.155	0.26	5
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m ² K) [equivalente, solaio su cantina (b=0,6)]	U _f	0.78	0.28	5
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	3.7	3.7	1
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	–	assenti	2	3
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2.35	2.35	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn}	0.85	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-DHW)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn,Pn,W}	0.8	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione in condizioni di progetto	η _{gn}		1.00	2
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP		-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		-	
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m ²)	m ²	assenti	30	3
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	assenti	16.8	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η _r			-
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	η _{ctr}	C	ZC	4
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione (ILL)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN			
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O			
		Fattore di illuminamento costante	F _C			
		Fattore di dipendenza luce diurna	F _D			

Dati tipologici	
	
A _f [m ²]	3506
V _i [m ³]	12685
A _{env} /V _i [m ⁻¹]	0,37
A _w /A _{env} [-]	0,08
N. piani climatizzati	6
N. unità immobiliari	48



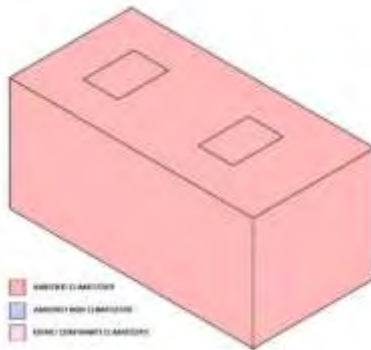
Condominio esistente di grandi dimensioni, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica B (Palermo)

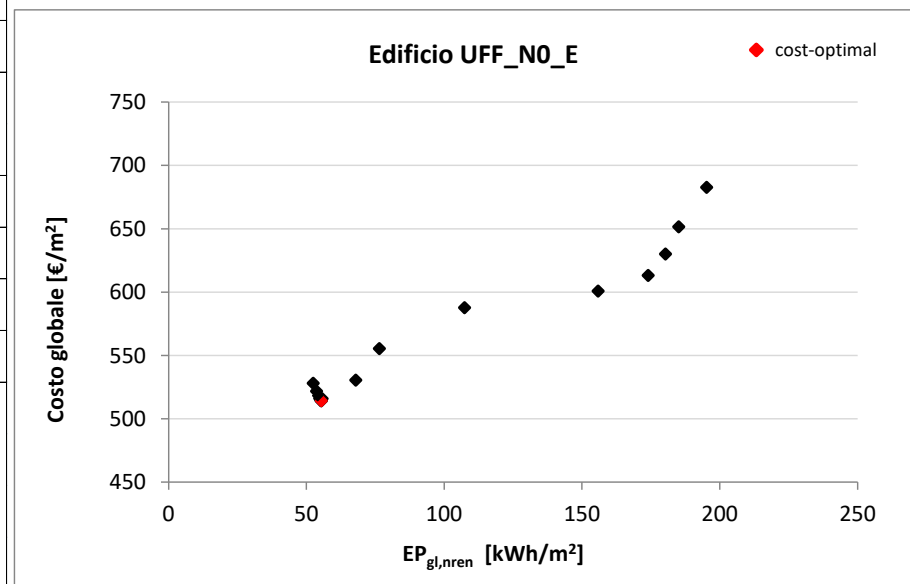
Soluzione cost-optimal



Scheda 6.19 Edificio ad uso uffici, nuovo – zona climatica E (Milano).

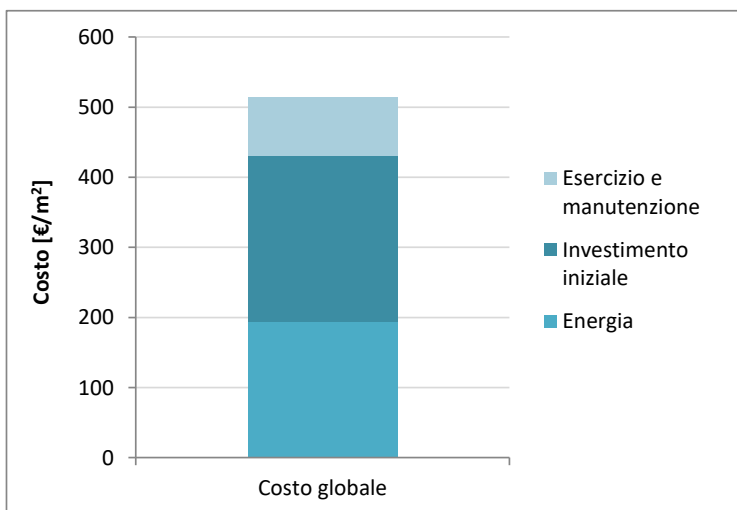
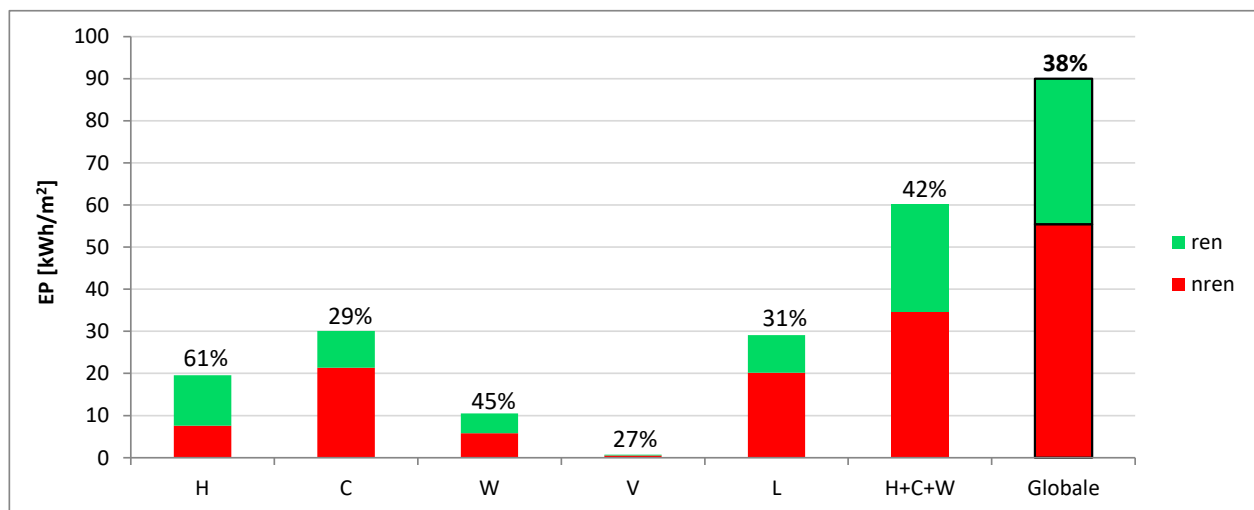
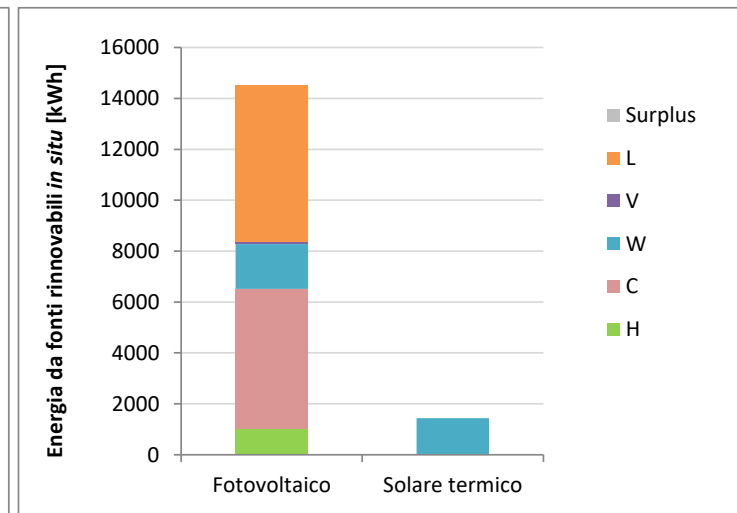
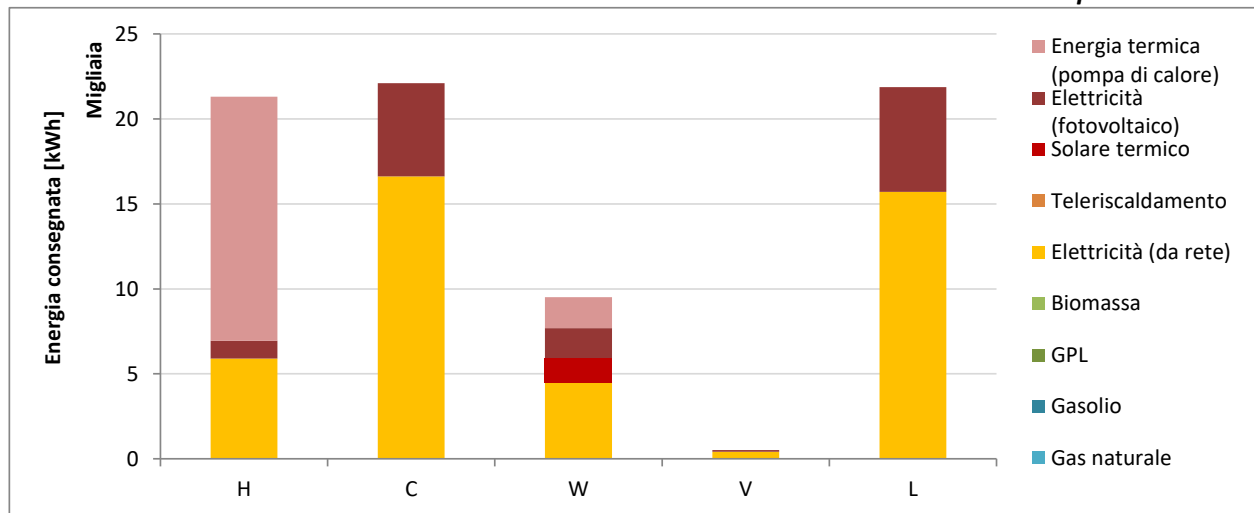
EDIFICIO AD USO UFFICIO - NUOVO - zona E (UFF_N0_E)					
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_p	0.36	2
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_p		
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_t	0.30	2
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m^2K) [equivalente, solaio su cantina ($b=0,8$)]	U_f	0.30	3
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	1.10	5
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	–	2	2
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-DHW)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	-	-
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	3.5	2
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3.2	
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m^2)	m^2	2	1
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	13.2	3
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η_r	0.6	1
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	η_{ctr}	ZC	3
16	Riquilibrificazione dell'impianto di illuminazione (ILL)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m^2)	PN	6	2
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F_o	0.8	
		Fattore di illuminamento costante	F_c	0.9	
		Fattore di dipendenza luce diurna	F_D	0.9	

Dati tipologici	
	$A_f [m^2]$
	1519
	$V_i [m^3]$
	6100
	$A_{env}/V_i [m^{-1}]$
	0,35
	$A_w/A_{env} [-]$
	0,20
	N. piani climatizzati
	4
	N. unità immobiliari
	-



Edificio ad uso uffici, nuovo – zona climatica E (Milano)

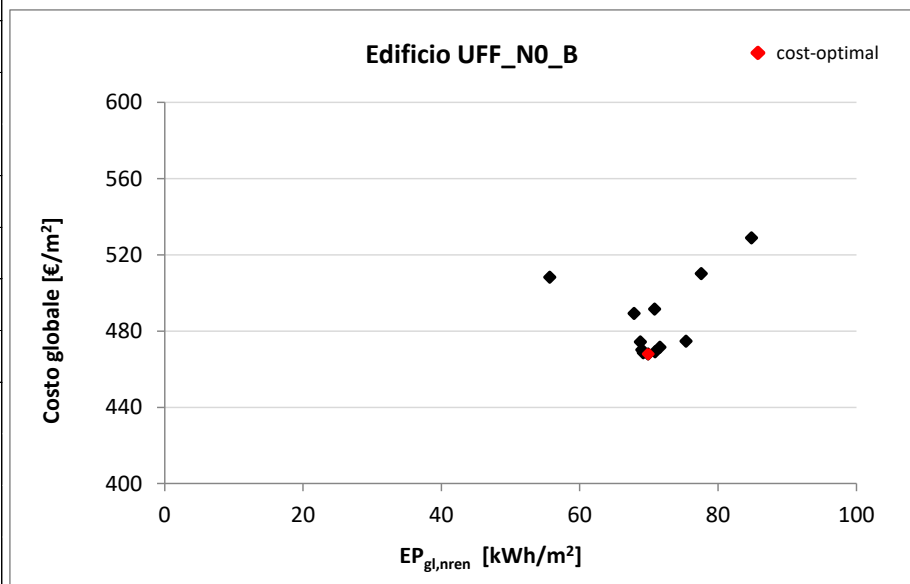
Soluzione cost-optimal



Scheda 6.20 Edificio ad uso uffici, nuovo – zona climatica B (Palermo).

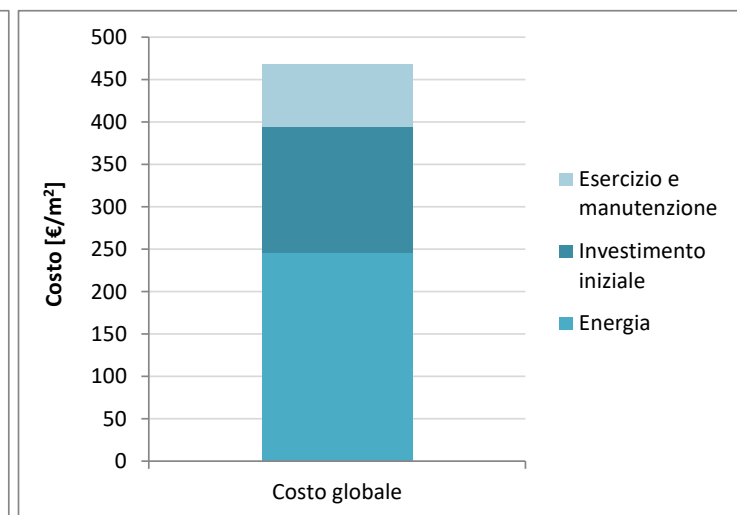
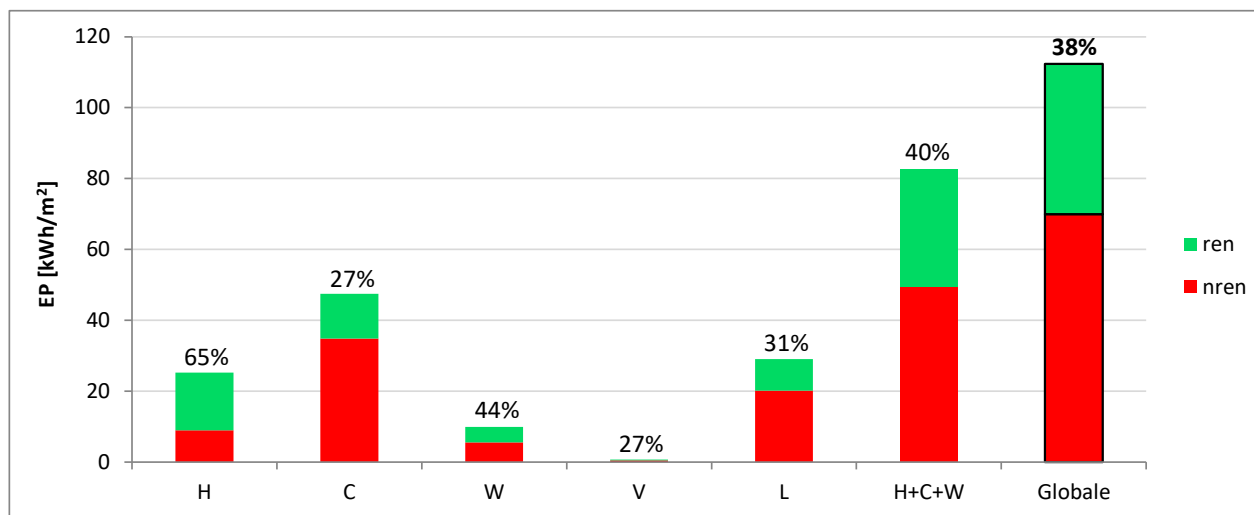
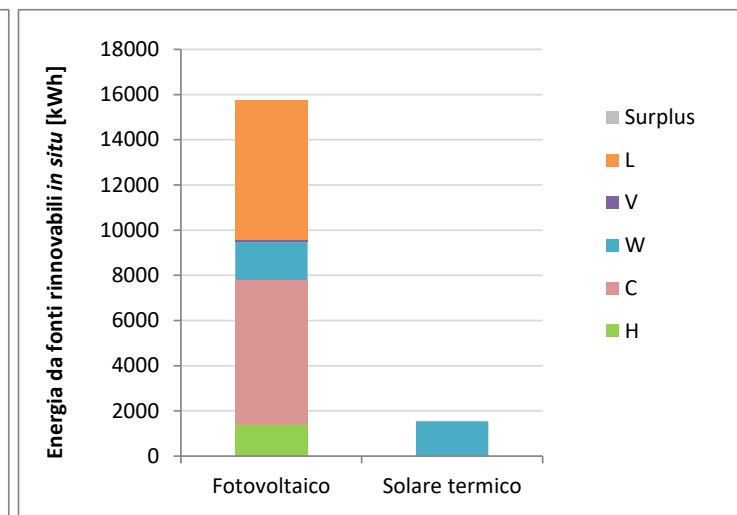
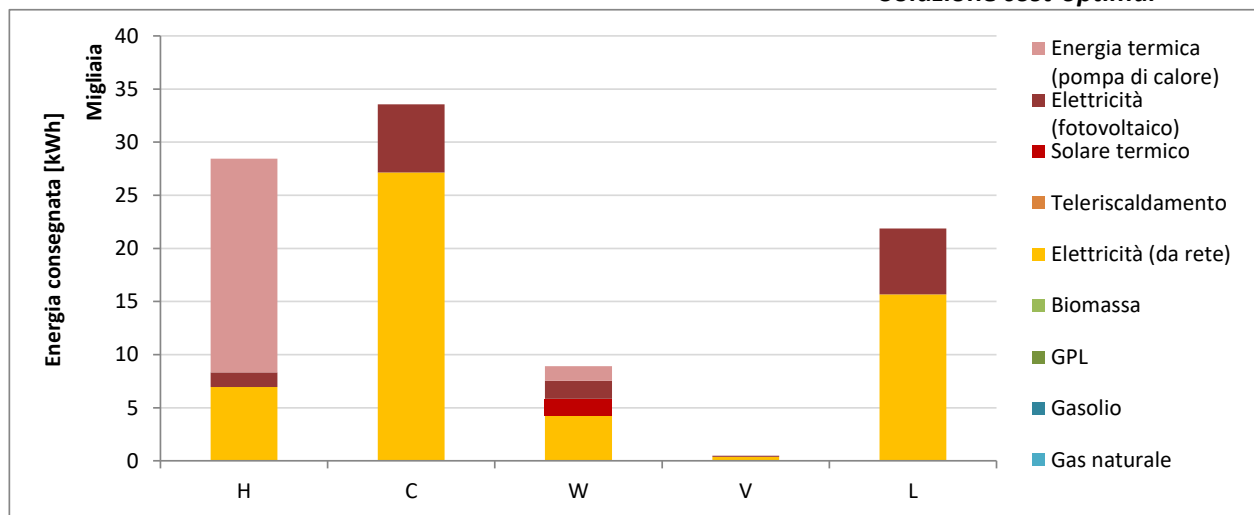
EDIFICIO AD USO UFFICIO - NUOVO - zona B (UFF_NO_B)					
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_p	1.5	1
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_p		
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_t	0.46	2
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m^2K) [equivalente, solaio su cantina ($b=0,8$)]	U_f	0.56	2
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	5.00	1
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	–	2	2
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-DHW)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn, Pn, W}$	-	-
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	3.5	2
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3.2	
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m^2)	m^2	2	1
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	13.2	3
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η_r	0.6	1
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	η_{ctr}	ZC	3
16	Riqualficazione dell'impianto di illuminazione (ILL)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m^2)	PN	6	2
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F_O	0.8	
		Fattore di illuminamento costante	F_C	0.9	
		Fattore di dipendenza luce diurna	F_D	0.9	

Dati tipologici	
	$A_f [m^2]$
	1519
	$V_i [m^3]$
	6100
	$A_{env}/V_i [m^{-1}]$
	0,35
	$A_w/A_{env} [-]$
	0,20
	N. piani climatizzati
	4
	N. unità immobiliari
	-

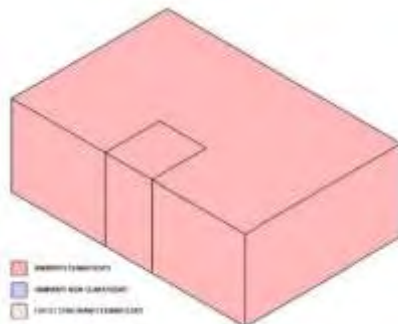


Edificio ad uso uffici, nuovo – zona climatica B (Palermo)

Soluzione cost-optimal

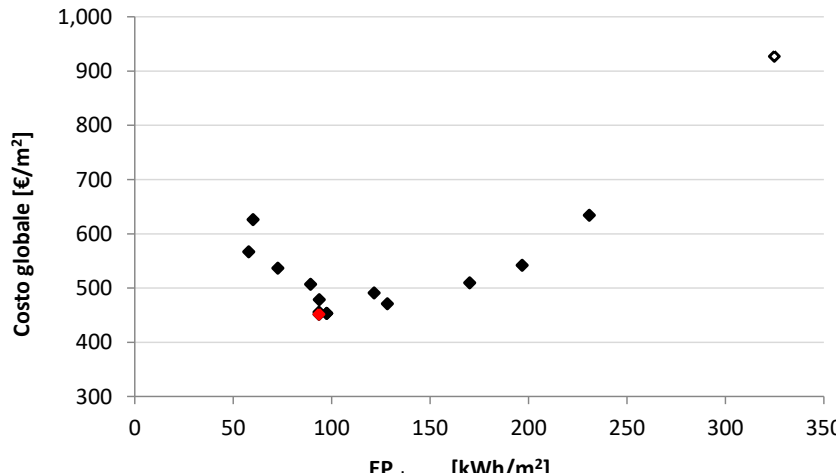


Scheda 6.21 Edificio esistente ad uso uffici, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica E (Milano).

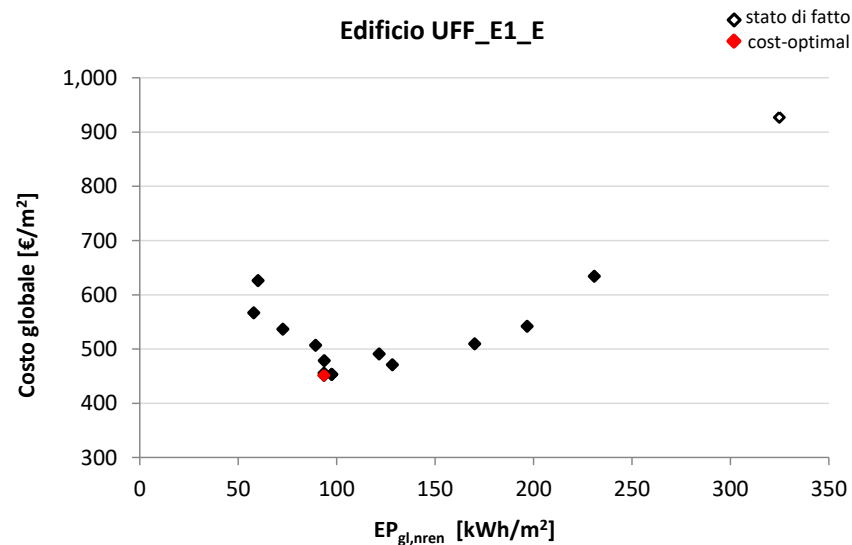
EDIFICIO AD USO UFFICI - ESISTENTE 1946-76 - zona E (UFF_E1_E)							Dati tipologici		
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Valore ottimale	N. EEO			
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _p	-	-	-	A _f [m²]	363	
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _p	1.53	0.15	1	V _I [m³]	1339	
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _r	1.2	0.32	2	A _{env} /V _I [m⁻¹]	0,60	
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m²K) [equivalente, controterra (b=0,45)]	U _f	0.34	0.34	1	A _w /A _{env} [-]	0,12	
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _w	2.6	2.6	1	N. piani climatizzati	2	
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	–	assenti	2	3	N. unità immobiliari	-	
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3.5	3.5	1			
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn}	0.87	-	-			
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-DHW)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn,Pn,W}	0.75	-	-			
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione in condizioni di progetto	η _{gn}		1.03	2			
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP		-	-			
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		-				
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m²)	m²	assenti	assenti	1			
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	assenti	5.76	4			
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η _r	assenti	assenti	1			
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	η _{ctr}	C	ZC	4			
16	Riquilificazione dell'impianto di illuminazione (ILL)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m²)	PN	20	6	3			
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O	1	0.8				
		Fattore di illuminamento costante	F _C	1	0.9				
		Fattore di dipendenza luce diurna	F _D	1	0.9				

Edificio UFF_E1_E

◆ stato di fatto
◆ cost-optimal

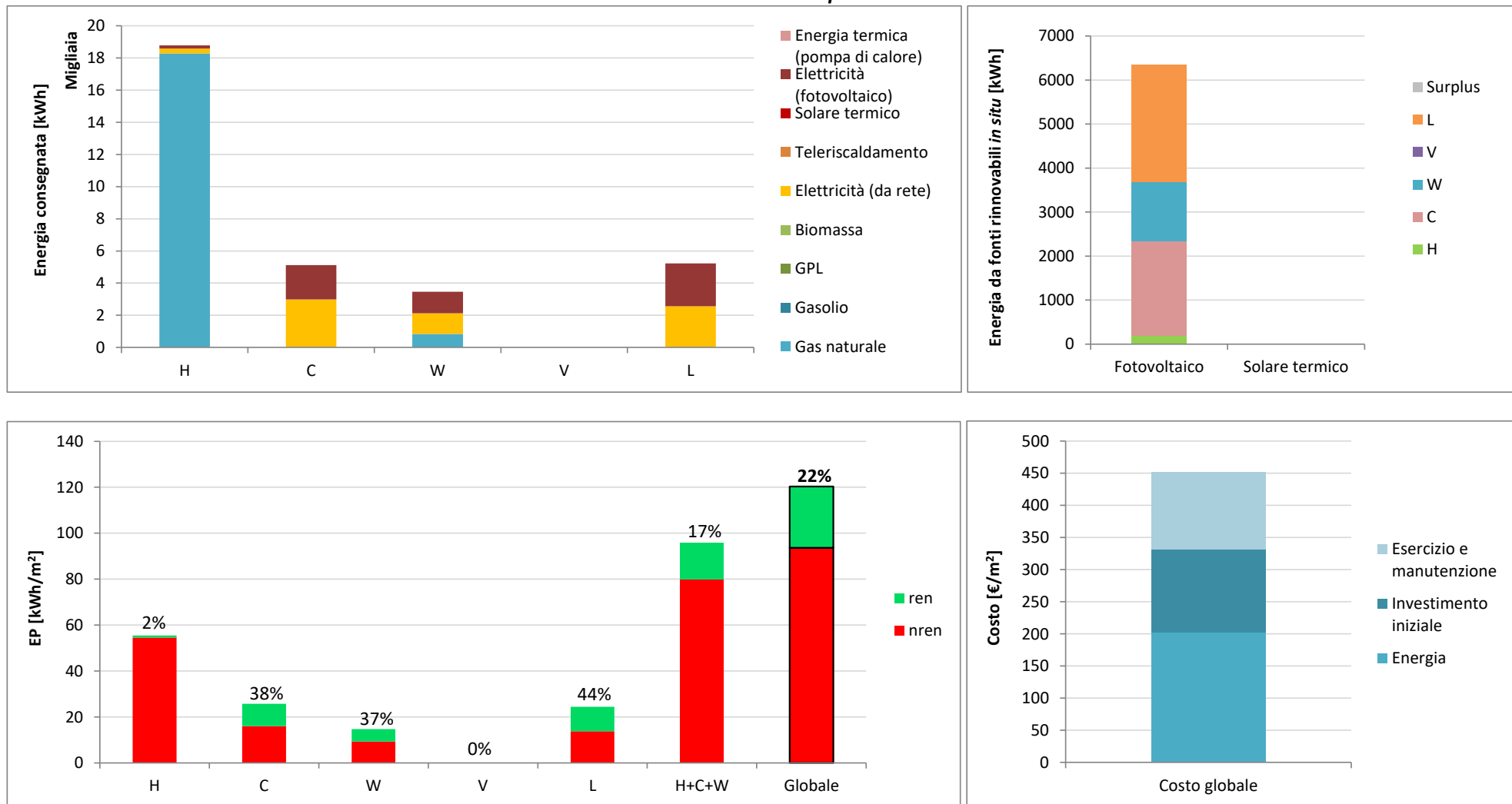


EP _{gl,nren} [kWh/m²]	Costo globale [€/m²]	Stato
60	570	Stato di fatto
60	630	Stato di fatto
70	530	Stato di fatto
90	480	Stato di fatto
95	450	Cost-optimal
100	480	Stato di fatto
120	480	Stato di fatto
125	470	Stato di fatto
170	510	Stato di fatto
195	540	Stato di fatto
230	630	Stato di fatto
325	925	Stato di fatto



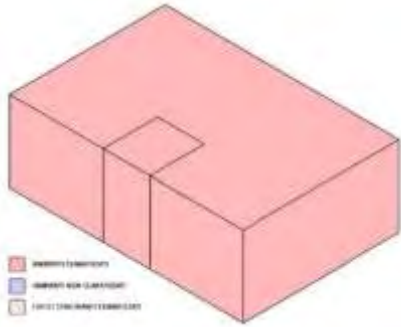
Edificio esistente ad uso uffici, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica E (Milano)

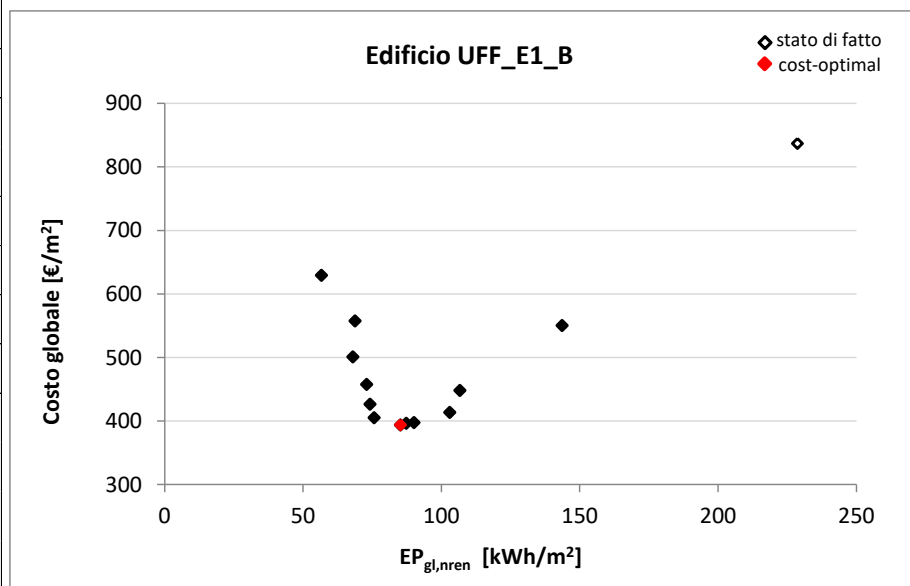
Soluzione cost-optimal



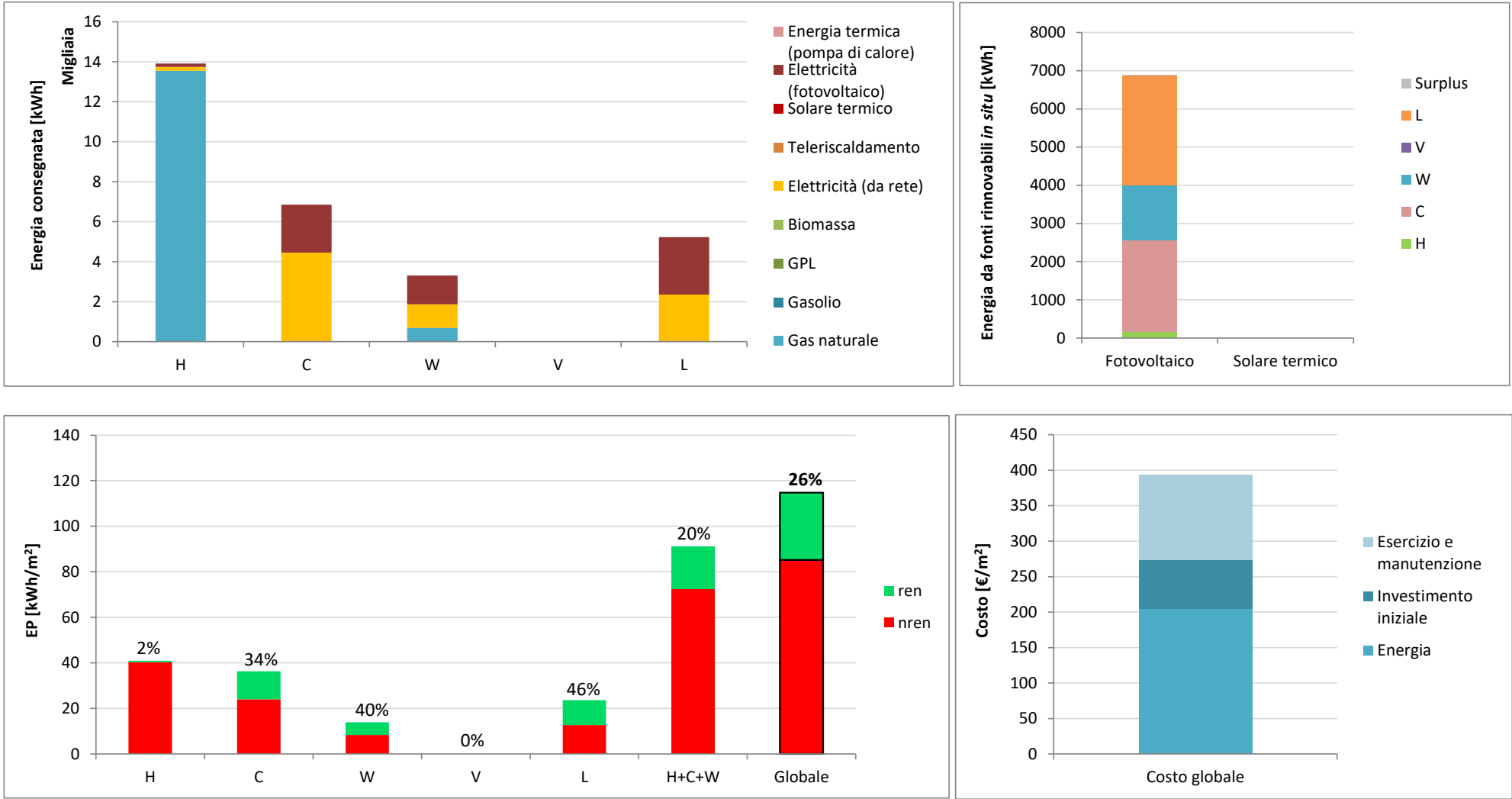
Scheda 6.22 Edificio esistente ad uso uffici, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica B (Palermo).

EDIFICIO AD USO UFFICI - ESISTENTE 1946-76 - zona B (UFF_E1_B)						
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p			
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	1.53	1.53	1
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _r	1.2	1.2	1
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m ² K) [equivalente, controterra (b=0,45)]	U _f	0.34	0.34	1
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	4.00	4.00	1
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	–	assenti	2	3
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3.5	3.5	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn}	0.852	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-DHW)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn,Pn,W}	0.75	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione in condizioni di progetto	η _{gn}		1.03	2
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP		-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		-	
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m ²)	m ²	assenti	assenti	1
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	assenti	5.76	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η _r	assenti	assenti	1
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	η _{ctr}	C	ZC	4
16	Riqualficazione dell'impianto di illuminazione (ILL)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN	20	6	3
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O	1	0.8	
		Fattore di illuminamento costante	F _C	1	0.9	
		Fattore di dipendenza luce diurna	F _D	1	0.9	

Dati tipologici	
	
A _f [m ²]	363
V _i [m ³]	1339
A _{env} /V _i [m ⁻¹]	0,60
A _w /A _{env} [-]	0,12
N. piani climatizzati	2
N. unità immobiliari	-

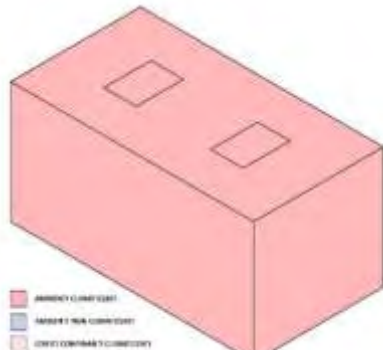


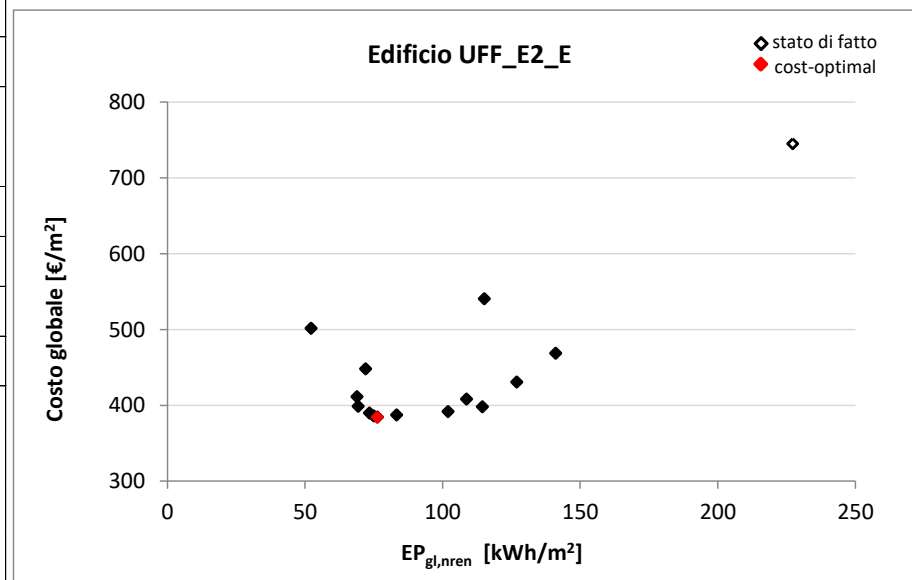
Soluzione cost-optimal



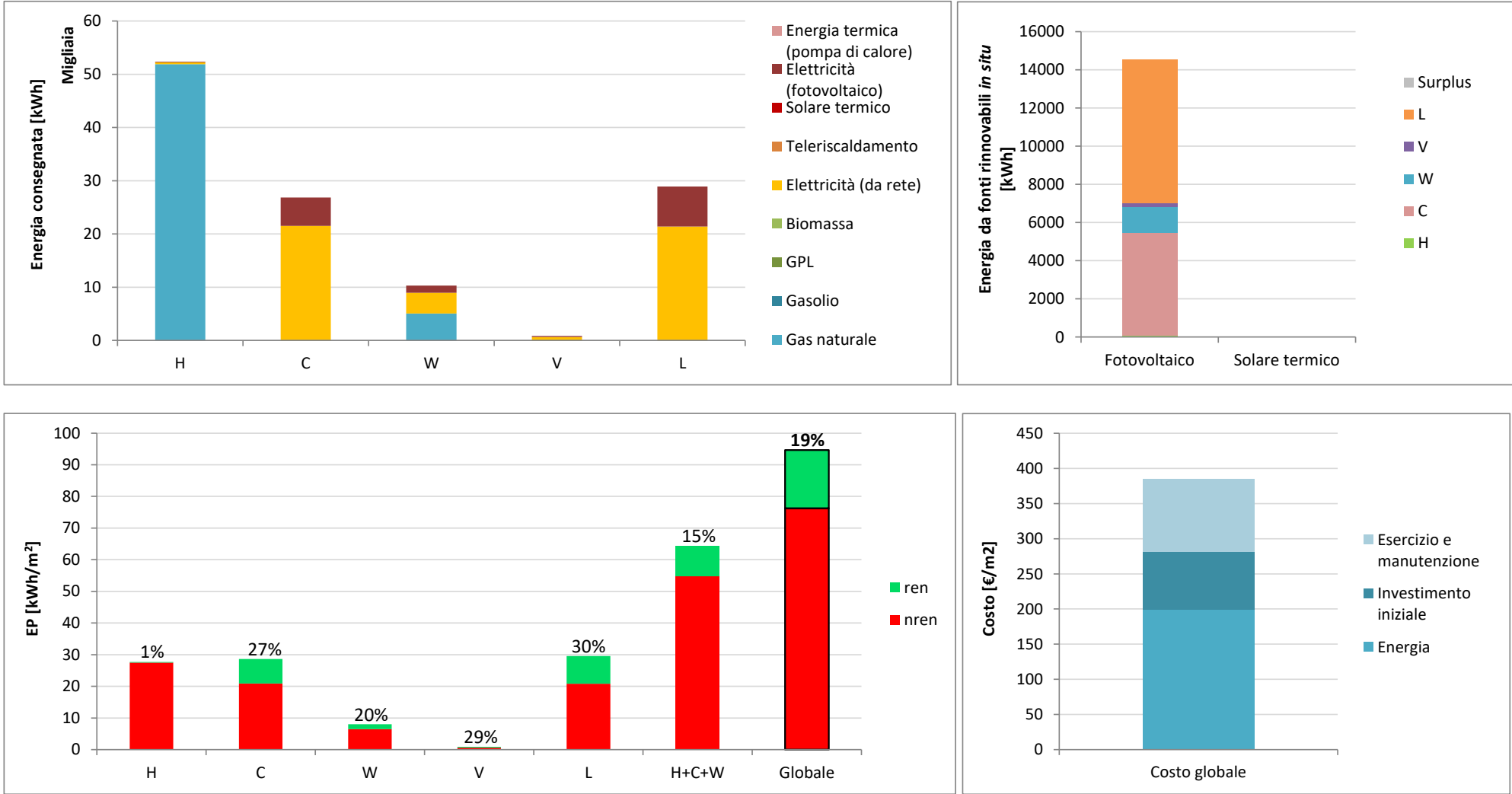
Scheda 6.23 Edificio esistente ad uso uffici, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica E (Milano).

EDIFICIO AD USO UFFICI - ESISTENTE 1977-90 - zona E (UFF_E2_E)						
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p			-
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	0.5	0.18	1
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _r	0.85	0.32	2
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m ² K) [equivalente, controterra (b=0,45)]	U _f	0.23	0.23	1
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	3.2	3.2	1
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	–	assenti	2	3
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3.5	3.5	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn}	0.876	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-DHW)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn,Pn,W}	0.75	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione in condizioni di progetto	η _{gn}		0.934	1
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP		-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		-	
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m ²)	m ²	assenti	assenti	1
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	assenti	13.2	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η _r	assente	0.6	2
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	η _{ctr}	A	ZC	4
16	Riqualficazione dell'impianto di illuminazione (ILL)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN	20	6	3
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O	1	0.8	
		Fattore di illuminamento costante	F _C	1	0.9	
		Fattore di dipendenza luce diurna	F _D	1	0.9	

Dati tipologici	
	A _f [m ²]
	2007
	V _i [m ³]
	7200
	A _{env} /V _i [m ⁻¹]
	0,32
N. piani climatizzati	A _w /A _{env} [-]
	0,21
N. unità immobiliari	
	5
	-

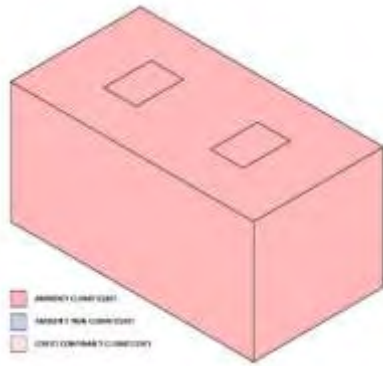


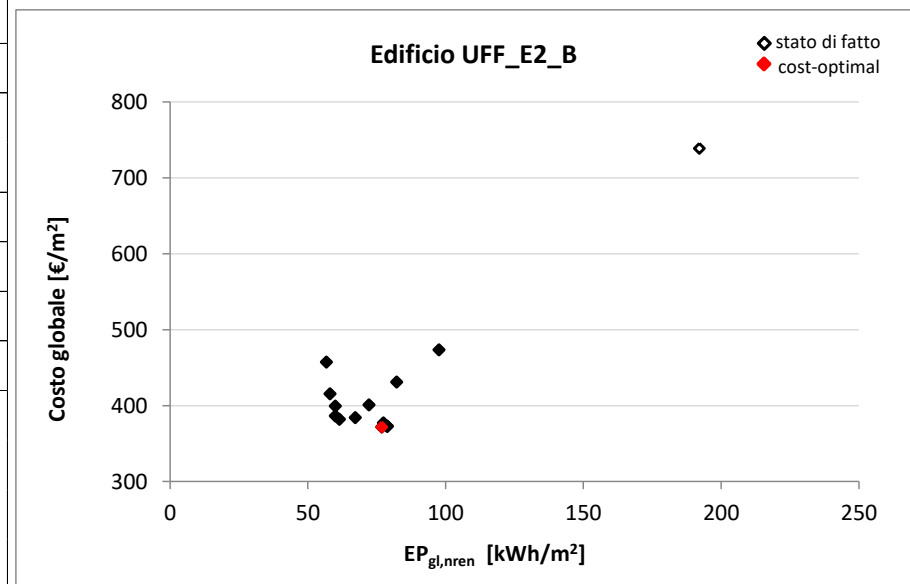
Soluzione *cost-optimal*



Scheda 6.24 Edificio esistente ad uso uffici, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica B (Palermo).

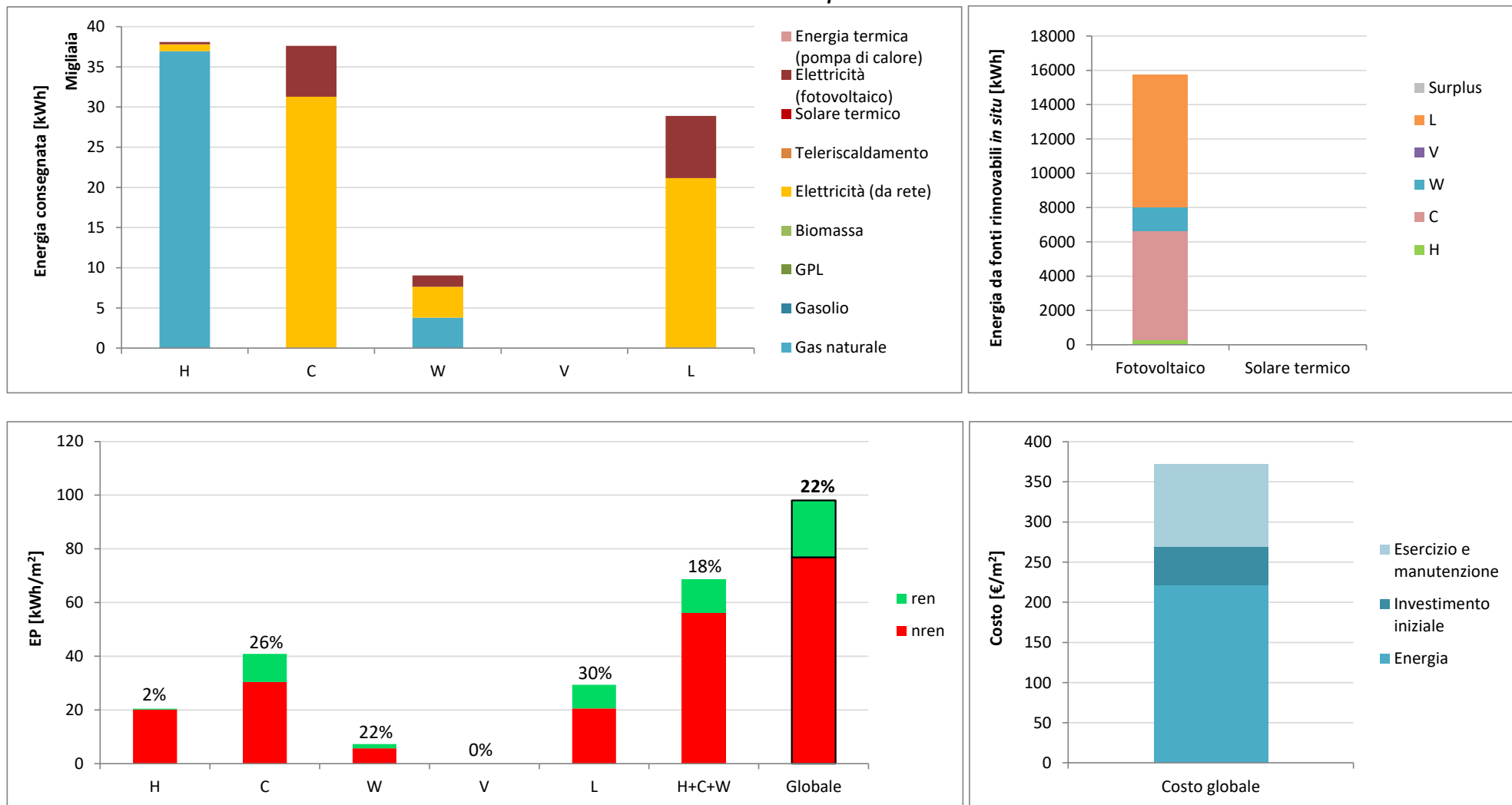
EDIFICIO AD USO UFFICI - ESISTENTE 1977-90 - zona B (UFF_E2_B)						
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p			
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	0.54	0.54	1
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _t	0.85	0.85	1
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m ² K) [equivalente, controterra (b=0,45)]	U _f	0.26	0.26	1
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	4.9	4.9	1
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	–	assenti	2	3
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	3	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn}	0.862	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-DHW)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn,Pn,W}	0.75	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione in condizioni di progetto	η _{gn}		1.03	2
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP		-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		-	
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m ²)	m ²	assenti	assenti	1
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	assenti	13.2	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η _f	assenti	assenti	1
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	η _{ctr}	A	ZC	4
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione (ILL)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN	20	6	3
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O	1	0.8	
		Fattore di illuminamento costante	F _C	1	0.9	
		Fattore di dipendenza luce diurna	F _D	1	0.9	

Dati tipologici	
	
A _f [m ²]	2007
V _i [m ³]	7200
A _{env} /V _i [m ⁻¹]	0,32
A _w /A _{env} [-]	0,19
N. piani climatizzati	5
N. unità immobiliari	-



Edificio esistente ad uso uffici, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica B (Palermo)

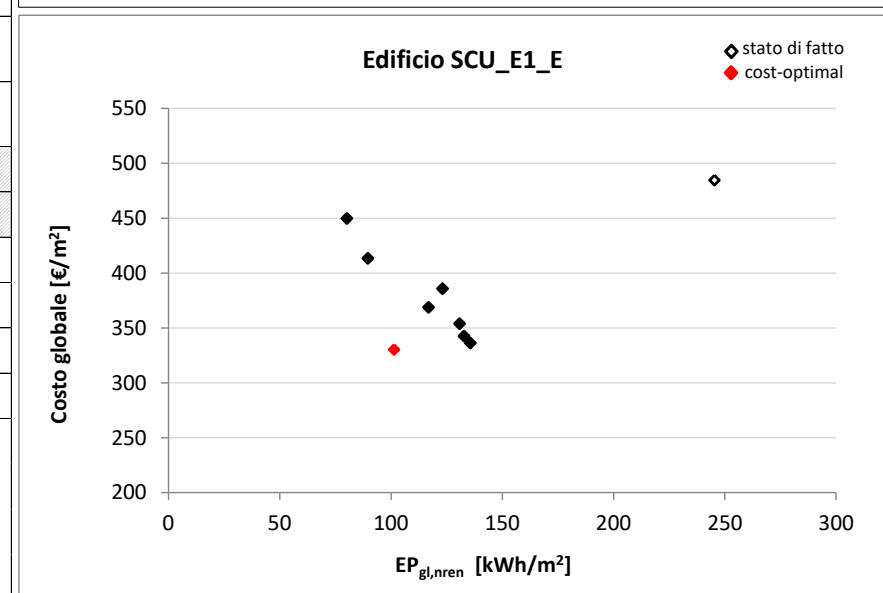
Soluzione cost-optimal



Scheda 6.25 Edificio esistente ad uso scolastico, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica E (Milano).

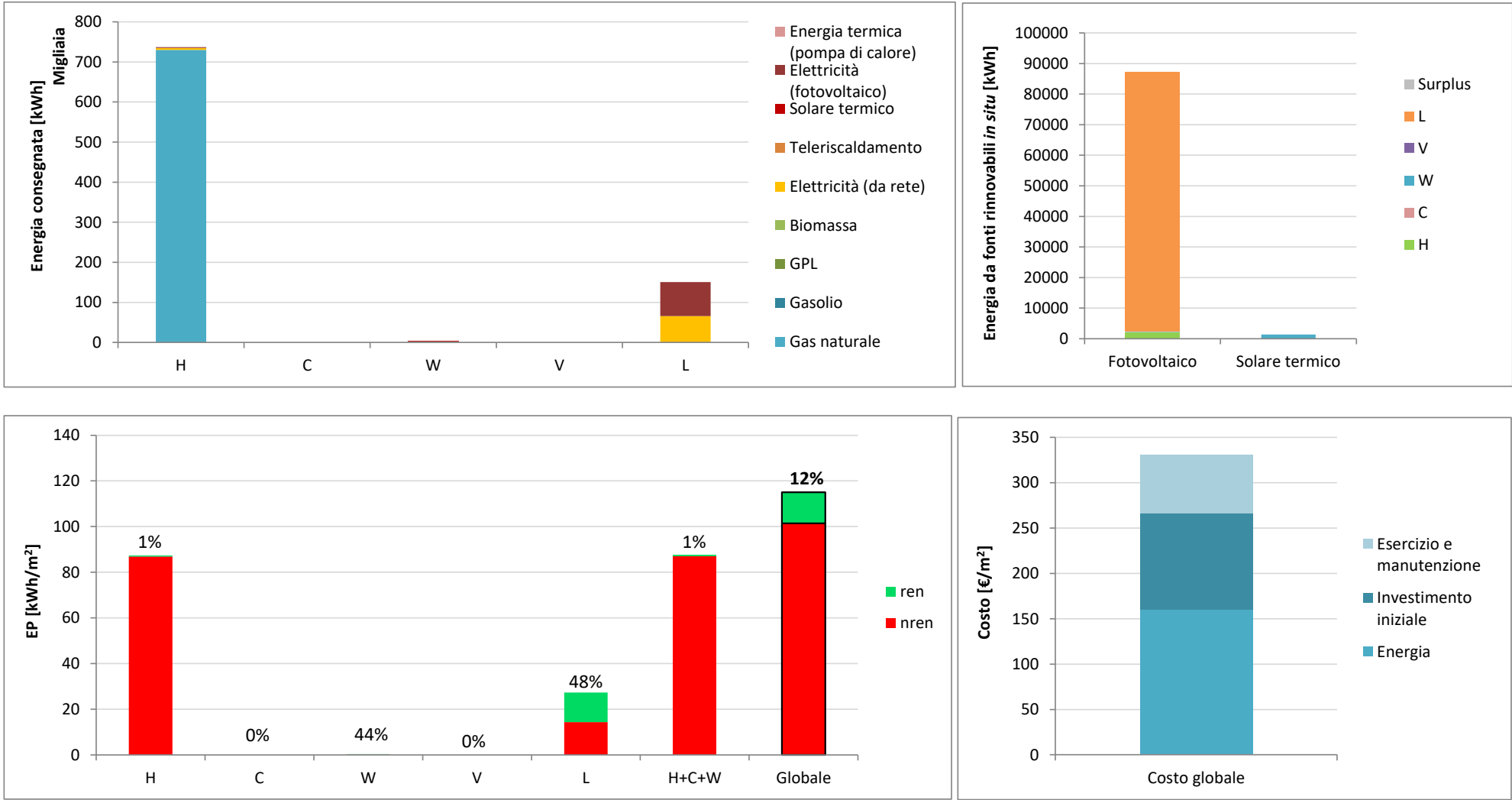
EDIFICIO AD USO SCOLASTICO - ESISTENTE 1946-76 - zona E (SCU_E1_E)						
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	-	-	-
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	1.40	0.12	1
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m ² K) [equivalente, solaio verso sottotetto (b=0,7)]	U _t	1.485	0.20	5
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m ² K) [equivalente, solaio su ambiente non climatizzato (b=0,8)]	U _f	0.72	0.31	3
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	4.25	4.25	1
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	presenti (SE-S-SW)	presenti (SE-S-SW)	1
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}	0.77	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-DHW)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn,Pn,W}	0.75	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione in condizioni di progetto	η _{gn}	-	1.00	2
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP			
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER			
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m ²)	m ²	assente	2	2
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	assente	79.2	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η _t	assente	assente	1
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	η _{ctr}	C	ZC	4
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione (ILL)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN	9	6	2
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O	1	1	
		Fattore di illuminamento costante	F _C	1	1	
		Fattore di dipendenza luce diurna	F _D	1	1	

Dati tipologici	
	A _f [m ²]
	8935
	V _i [m ³]
	47223
	A _{env} /V _i [m ⁻¹]
	0,24
	A _w /A _{env} [-]
	0,12
	N. piani climatizzati
	4
	N. unità immobiliari
	-



Edificio esistente ad uso scolastico, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica E (Milano)

Soluzione cost-optimal



Scheda 6.26 Edificio esistente ad uso scolastico, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica B (Palermo).

EDIFICIO AD USO SCOLASTICO - ESISTENTE 1946-76 - zona B (SCU_E1_B)							Dati tipologici	
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Valore ottimale	N. EEO		
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _p	-	-	-	A _f [m²]	8935
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _p	1.40	1.40	1	V _i [m³]	47223
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m²K) [equivalente, solaio verso sottotetto (b=0,7)]	U _t	1.485	0.32	4	A _{env} /V _i [m ⁻¹]	0,24
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m²K) [equivalente, solaio su ambiente non climatizzato (b=0,8)]	U _i	0.72	0.72	1	A _w /A _{env} [-]	0,12
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m²K)	U _w	4.25	4.25	1	N. piani climatizzati	4
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	–	presenti (SE-S-SW)	presenti (SE-S-SW)	1	N. unità immobiliari	-
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}	0.77	-	-		
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-DHW)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn,Pn,W}	0.75	-	-		
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione in condizioni di progetto	η _{gn}	-	1.00	2		
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP					
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER					
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m²)	m²	assente	2	2		
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	assente	79.2	4		
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η _r	assente	assente	1		
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	η _{ctr}	C	ZC	4		
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione (ILL)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m²)	PN	9	6	2		
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O	1	1			
		Fattore di illuminamento costante	F _C	1	1			
		Fattore di dipendenza luce diurna	F _D	1	1			



Edificio SCU_E1_B		◆ stato di fatto	◆ cost-optimal
Costo globale [€/m²]	EP _{gl,nren} [kWh/m²]		
190	42		
210	50		
220	50		
230	50		
270	55		
310	50		
350	60		
300	100		

Soluzione cost-optimal

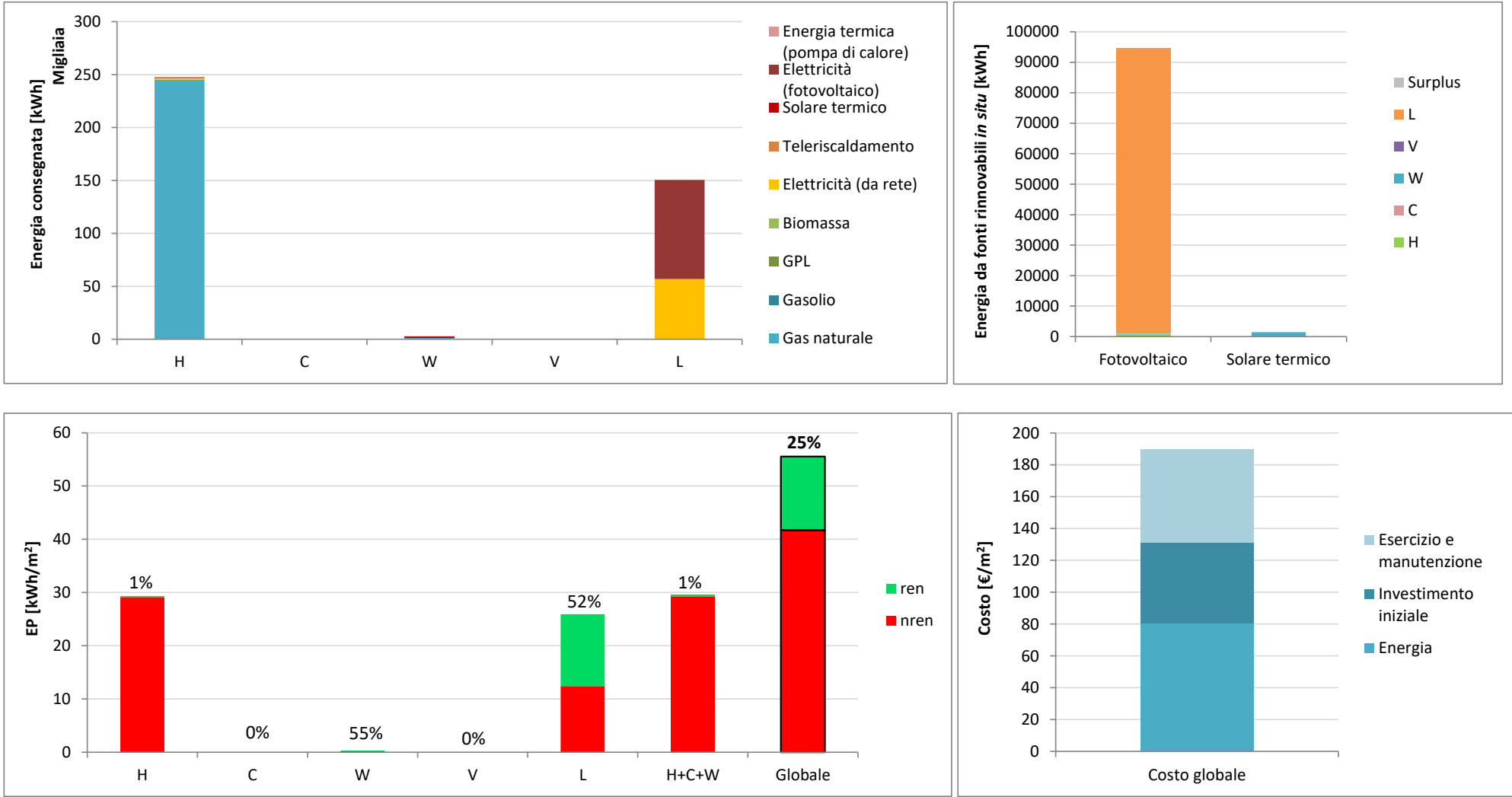


Tabella 6.1 Caratteristiche delle soluzioni *cost-optimal* per gli edifici residenziali monofamiliari.

Tecnologia / intervento	Simbolo	Unità di misura	RESIDENZIALE MONOFAMILIARE					
			Nuovi		1946-1976		1977-1990	
			Milano	Palermo	Milano	Palermo	Milano	Palermo
			RMF_NO_E	RMF_NO_B	RMF_E1_E	RMF_E1_B	RMF_E2_E	RMF_E2_B
Pareti perimetrali - isolamento a cappotto	$U_{p,ext}$	W/(m ² K)	0,26	1,50	0,30	1,18	-	-
Pareti perimetrali - insufflaggio	$U_{p,ins}$	W/(m ² K)					0,27	1,10
Solaio superiore	$U_{r,equiv.}$	W/(m ² K)	0,18	0,28	0,26	0,41	0,32	0,41
Solaio inferiore	$U_{f,equiv.}$	W/(m ² K)	0,17	0,29	0,19	0,90	0,19	0,28
Finestre	U_w	W/(m ² K)	2,20	3,20	2,30	3,20	2,80	4,90
Schermature solari	-	-	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	assenti	presenti (lamelle mobili)	assenti	presenti (lamelle mobili)
Tipo di impianto di riscaldamento	-	-	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori
Generazione termica	-	-	pompa di calore invertibile + pompa di calore W	pompa di calore invertibile + pompa di calore W	prod. combinata H+W caldaia condens. + multisplit	prod. combinata H+W caldaia condens. + multisplit	prod. combinata H+W caldaia condens. + multisplit	prod. combinata H+W caldaia condens. + multisplit
Tipo di regolazione del riscaldamento	-	-	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica
Solare termico	$(A_{coll}/A_{fp}) \cdot 10^3$	-	8	8	0	0	0	0
Solare fotovoltaico	W_{peak}/A_{fp}	W/m ²	20	24	24	24	24	24
Recuperatore di calore	η_{rec}	-	0,9	0,7				
Tipologia di sorgenti luminose e controllo	-	-						
Indicatore di prestazione	Simbolo	Unità di misura						
Costo globale (30 anni)	GC	€/m ²	575	477	498	310	311	270
Energia primaria globale totale	EP _{gl,tot}	kWh/m ²	97,7	120	90,6	102	89,5	92,8
Energia primaria globale non rinnovabile	EP _{gl,nren}	kWh/m ²	26,9	34,8	79,0	90,2	79,2	82,2
Copertura fabbisogno energetico H+C+W da fonti rinnovabili	RER _{H+C+W}	%	73%	71%	13%	12%	12%	11%
Riduzione degli indici di prestazione rispetto allo stato di fatto	Simbolo	Unità di misura						
Energia primaria globale non rinnovabile	$\Delta EP_{gl,nren}$	%			84,2%	59,5%	72,1%	21,3%

Tabella 6.2 Caratteristiche delle soluzioni *cost-optimal* per i condomini residenziali di piccole dimensioni.

Tecnologia / intervento	Simbolo	Unità di misura	RESIDENZIALE - PICCOLO CONDOMINIO					
			Nuovi		1946-1976		1977-1990	
			Milano	Palermo	Milano	Palermo	Milano	Palermo
			RPC_NO_E	RPC_NO_B	RPC_E1_E	RPC_E1_B	RPC_E2_E	RPC_E2_B
Pareti perimetrali - isolamento a cappotto	$U_{p,ext}$	W/(m ² K)	0,30	1,50	-	0,90	0,80	-
Pareti perimetrali - insufflaggio	$U_{p,ins}$	W/(m ² K)			0,37			0,35
Solaio superiore	$U_{r,equiv.}$	W/(m ² K)	0,18	0,28	0,20	0,26	0,20	0,26
Solaio inferiore	$U_{f,equiv.}$	W/(m ² K)	0,17	0,29	0,19	0,28	0,29	0,42
Finestre	U_w	W/(m ² K)	3,80	3,20	4,90	4,90	3,70	3,80
Schermature solari	-	-	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	assenti	presenti (lamelle mobili)
Tipo di impianto di riscaldamento	-	-	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - radiatori
Generazione termica	-	-	prod. separata pompa di calore H + caldaia tre stelle W + multisplit	prod. separata pompa di calore H + caldaia tre stelle W + multisplit	prod. separata caldaia condens. H + caldaia tre stelle W + multisplit	prod. separata caldaia condens. H + caldaia tre stelle W + multisplit	prod. separata caldaia condens. H + caldaia tre stelle W + multisplit	prod. separata H e W caldaie due stelle + multisplit
Tipo di regolazione del riscaldamento	-	-	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica
Solare termico	$(A_{coll}/A_{fp}) \cdot 10^3$	-	35	35	34	34	30	30
Solare fotovoltaico	W_{peak}/A_{fp}	W/m ²	24	24	24	24	24	24
Recuperatore di calore	η_{rec}	-	0,6	0,6				
Tipologia di sorgenti luminose e controllo	-	-						
Indicatore di prestazione	Simbolo	Unità di misura						
Costo globale (30 anni)	GC	€/m ²	419	359	335	242	243	185
Energia primaria globale totale	$EP_{gl,tot}$	kWh/m ²	102	100	127	79,0	103	54,3
Energia primaria globale non rinnovabile	$EP_{gl,nren}$	kWh/m ²	42,6	43,9	106	55,2	86,2	37,2
Copertura fabbisogno energetico H+C+W da fonti rinnovabili	RER_{H+C+W}	%	59%	57%	16%	30%	16%	32%
Riduzione degli indici di prestazione rispetto allo stato di fatto	Simbolo	Unità di misura						
Energia primaria globale non rinnovabile	$\Delta EP_{gl,nren}$	%			66,6%	66,0%	55,5%	68,4%

Tabella 6.3 Caratteristiche delle soluzioni *cost-optimal* per i condomini residenziali di grandi dimensioni.

Tecnologia / intervento	Simbolo	Unità di misura	RESIDENZIALE - GRANDE CONDOMINIO					
			Nuovi		1946-1976		1977-1990	
			Milano	Palermo	Milano	Palermo	Milano	Palermo
			RGC_NO_E	RGC_NO_B	RGC_E1_E	RGC_E1_B	RGC_E2_E	RGC_E2_B
Pareti perimetrali - isolamento a cappotto	$U_{p,ext}$	W/(m ² K)	0,26	1,50	-	0,90	-	-
Pareti perimetrali - insufflaggio	$U_{p,ins}$	W/(m ² K)			0,37		0,27	0,35
Solaio superiore	$U_{r,equiv.}$	W/(m ² K)	0,18	0,28	0,20	0,26	0,20	0,26
Solaio inferiore	$U_{f,equiv.}$	W/(m ² K)	0,17	0,29	0,78	0,78	0,29	0,28
Finestre	U_w	W/(m ² K)	3,80	3,20	2,30	3,20	3,70	3,70
Schermature solari	-	-	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)
Tipo di impianto di riscaldamento	-	-	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - radiatori	centralizzato - ventilconvettori	autonomo - ventilconvettori	autonomo - ventilconvettori
Generazione termica	-	-	prod. separata pompa di calore H + caldaia tre stelle W + multisplit	prod. separata pompa di calore H + caldaia tre stelle W + multisplit	prod. separata H e W caldaie tre stelle + multisplit	prod. separata caldaia condens. H + caldaia tre stelle W + multisplit	prod. combinata H+W caldaia condens. + multisplit	prod. combinata H+W caldaia condens. + multisplit
Tipo di regolazione del riscaldamento	-	-	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica
Solare termico	$(A_{coll}/A_{fp}) \cdot 10^3$	-	67	67	44	44	43	43
Solare fotovoltaico	W_{peak}/A_{fp}	W/m ²	24	24	24	24	24	24
Recuperatore di calore	η_{rec}	-	0,9	0,6				
Tipologia di sorgenti luminose e controllo	-	-						
Indicatore di prestazione	Simbolo	Unità di misura						
Costo globale (30 anni)	GC	€/m ²	363	320	355	257	212	187
Energia primaria globale totale	$EP_{gl,tot}$	kWh/m ²	75,3	85,0	118	82,8	73,5	55,2
Energia primaria globale non rinnovabile	$EP_{gl,nren}$	kWh/m ²	40,0	45,2	101	62,2	59,6	39,3
Copertura fabbisogno energetico H+C+W da fonti rinnovabili	RER_{H+C+W}	%	47%	47%	14%	25%	19%	29%
Riduzione degli indici di prestazione rispetto allo stato di fatto	Simbolo	Unità di misura						
Energia primaria globale non rinnovabile	$\Delta EP_{gl,nren}$	%			66,1%	61,0%	57,6%	61,9%

Tabella 6.4 Caratteristiche delle soluzioni *cost-optimal* per gli edifici ad uso ufficio.

Tecnologia / intervento	Simbolo	Unità di misura	EDIFICI AD USO UFFICIO					
			Nuovi		1946-1976		1977-1990	
			Milano	Palermo	Milano	Palermo	Milano	Palermo
			UFF_NO_E	UFF_NO_B	UFF_E1_E	UFF_E1_B	UFF_E2_E	UFF_E2_B
Pareti perimetrali - isolamento a cappotto	$U_{p,ext}$	W/(m ² K)	0,36	1,50	-	-	-	-
Pareti perimetrali - insufflaggio	$U_{p,ins}$	W/(m ² K)			0,15	1,53	0,18	0,54
Solaio superiore	$U_{r,equiv.}$	W/(m ² K)	0,30	0,46	0,32	1,20	0,32	0,85
Solaio inferiore	$U_{f,equiv.}$	W/(m ² K)	0,30	0,56	0,34	0,34	0,23	0,26
Finestre	U_w	W/(m ² K)	1,10	5,00	2,60	4,00	3,20	4,90
Schermature solari	-	-	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)
Tipo di impianto di riscaldamento	-	-	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - radiatori	centralizzato - ventilconvettori
Generazione termica	-	-	pompa di calore invertibile + pompa di calore W	pompa di calore invertibile + pompa di calore W	prod. combinata H+W caldaia condens. + multisplit	prod. combinata H+W caldaia condens. + multisplit	prod. combinata H+W caldaia tre stelle + multisplit	prod. combinata H+W caldaia condens. + multisplit
Tipo di regolazione del riscaldamento	-	-	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica
Solare termico	$(A_{coll}/A_{fp}) \cdot 10^3$	-	4	4	0	0	0	0
Solare fotovoltaico	W_{peak}/A_{fp}	W/m ²	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4
Recuperatore di calore	η_{rec}	-	0,6	0,6	assente	assente	0,6	assente
Tipologia di sorgenti luminose e controllo	-	-	led con controllo	led con controllo	led con controllo	led con controllo	led con controllo	led con controllo
Indicatore di prestazione	Simbolo	Unità di misura						
Costo globale (30 anni)	GC	€/m ²	514	468	452	394	384	372
Energia primaria globale totale	$EP_{gl,tot}$	kWh/m ²	89,9	112	120	115	94,7	98,1
Energia primaria globale non rinnovabile	$EP_{gl,nren}$	kWh/m ²	55,4	69,9	93,6	85,2	76,2	76,8
Copertura fabbisogno energetico H+C+W da fonti rinnovabili	RER_{H+C+W}	%	42%	40%	17%	20%	15%	18%
Riduzione degli indici di prestazione rispetto allo stato di fatto	Simbolo	Unità di misura						
Energia primaria globale non rinnovabile	$\Delta EP_{gl,nren}$	%			71,2%	62,7%	66,5%	60,0%

Tabella 6.5 Caratteristiche delle soluzioni *cost-optimal* per gli edifici ad uso scolastico.

Tecnologia / intervento	Simbolo	Unità di misura	EDIFICIO AD USO SCOLASTICO	
			1946-1976	
			Milano	Palermo
			SCU_E1_E	SCU_E1_B
Pareti perimetrali - isolamento a cappotto	$U_{p,ext}$	$W/(m^2K)$	-	-
Pareti perimetrali - insufflaggio	$U_{p,ins}$	$W/(m^2K)$	0,12	1,40
Solaio superiore	$U_{r,equiv.}$	$W/(m^2K)$	0,20	0,32
Solaio inferiore	$U_{f,equiv.}$	$W/(m^2K)$	0,31	0,72
Finestre	U_w	$W/(m^2K)$	4,25	4,25
Schermature solari	-	-	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)
Tipo di impianto di riscaldamento	-	-	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori
Generazione termica	-	-	prod. combinata H+W caldaia condens. + multisplit	prod. combinata H+W caldaia condens. + multisplit
Tipo di regolazione del riscaldamento	-	-	zona + climatica	zona + climatica
Solare termico	$(A_{coll}/A_{fp}) \cdot 10^3$	-	0,67	0,67
Solare fotovoltaico	W_{peak}/A_{fp}	W/m^2	26,4	26,4
Recuperatore di calore	η_{rec}	-	assente	assente
Tipologia di sorgenti luminose e controllo	-	-	led senza controllo	led senza controllo
Indicatore di prestazione	Simbolo	Unità di misura		
Costo globale (30 anni)	GC	$€/m^2$	330	190
Energia primaria globale totale	$EP_{gl,tot}$	kWh/m^2	115	55,5
Energia primaria globale non rinnovabile	$EP_{gl,nren}$	kWh/m^2	101	41,7
Copertura fabbisogno energetico H+C+W da fonti rinnovabili	RER_{H+C+W}	%	1%	1%
Riduzione degli indici di prestazione rispetto allo stato di fatto	Simbolo	Unità di misura		
Energia primaria globale non rinnovabile	$\Delta EP_{gl,nren}$	%	58,7%	58,0%

6.2 Analisi di sensibilità

L'analisi di sensibilità è stata sviluppata in riferimento alle principali variabili di calcolo economico: ha riguardato, in particolare, l'ipotesi di variazione dei costi dei vettori energetici considerati e la variazione del tasso di sconto.

Nel primo caso, l'incremento annuo dei costi energetici è stato variato del $\pm 10\%$ e $\pm 20\%$. I risultati dell'analisi di sensibilità sono di seguito riportati in diversi elaborati: una tabella riassuntiva (Tabella 6.6) che mostra la variazione percentuale del costo globale al variare dell'incremento dei costi dei vettori energetici, e, per ciascun edificio di riferimento, un grafico riportante l'andamento del costo globale in riferimento alla variazione dell'andamento dei costi energetici (da Figura 6.1 a Figura 6.26).

Tabella 6.6 Sintesi dei risultati dell'analisi di sensibilità alla variazione dell'aumento dei costi energetici.

Edificio	Cost-optimal					Stato di fatto				
	Costo globale [€/m ²]	(Costo _{gl} - Costo _{gl,ref})/Costo _{gl,ref} [%]				Costo globale [€/m ²]	(Costo _{gl} - Costo _{gl,ref})/Costo _{gl,ref} [%]			
		ΔCosto _{en} / ΔCosto _{en,ref}					ΔCosto _{en} / ΔCosto _{en,ref}			
		-20%	-10%	+10%	+20%		-20%	-10%	+10%	+20%
RMF_NO_E	575,4	-1,2%	-0,6%	0,7%	1,4%					
RMF_NO_B	477,5	-2,0%	-1,0%	1,1%	2,2%					
RMF_E1_E	498,1	-1,2%	-0,6%	0,6%	1,3%	884,0	-3,8%	-1,9%	2,0%	4,0%
RMF_E1_B	310,0	-2,4%	-1,2%	1,3%	2,6%	498,4	-4,4%	-2,3%	2,4%	4,9%
RMF_E2_E	311,2	-2,0%	-1,0%	1,1%	2,2%	520,5	-3,9%	-2,0%	2,1%	4,2%
RMF_E2_B	270,3	-2,6%	-1,3%	1,4%	2,8%	437,5	-4,7%	-2,4%	2,5%	5,2%
RPC_NO_E	418,7	-2,3%	-1,2%	1,2%	2,6%					
RPC_NO_B	359,2	-3,0%	-1,5%	1,6%	3,3%					
RPC_E1_E	334,8	-2,4%	-1,2%	1,3%	2,6%	669,6	-5,3%	-2,7%	2,8%	5,8%
RPC_E1_B	241,7	-3,0%	-1,5%	1,6%	3,3%	450,4	-6,4%	-3,3%	3,5%	7,2%
RPC_E2_E	242,8	-2,7%	-1,4%	1,4%	2,9%	357,2	-3,8%	-1,9%	2,0%	4,1%
RPC_E2_B	184,7	-2,3%	-1,2%	1,2%	2,5%	267,2	-4,6%	-2,3%	2,5%	5,0%
RGC_NO_E	363,3	-2,3%	-1,2%	1,2%	2,6%					
RGC_NO_B	319,9	-3,3%	-1,7%	1,8%	3,7%					
RGC_E1_E	354,6	-2,1%	-1,1%	1,1%	2,2%	791,0	-4,2%	-2,2%	2,3%	4,6%
RGC_E1_B	257,4	-2,9%	-1,5%	1,6%	3,2%	592,6	-4,6%	-2,4%	2,5%	5,1%
RGC_E2_E	212,0	-2,7%	-1,4%	1,4%	2,9%	295,9	-4,3%	-2,2%	2,3%	4,7%
RGC_E2_B	186,5	-3,0%	-1,6%	1,6%	3,4%	253,6	-5,0%	-2,6%	2,7%	5,6%
UFF_NO_E	514,2	-3,4%	-1,7%	1,8%	3,8%					
UFF_NO_B	468,0	-4,7%	-2,4%	2,6%	5,3%					
UFF_E1_E	451,7	-3,2%	-1,6%	1,7%	3,6%	927,1	-6,4%	-3,3%	3,5%	7,2%
UFF_E1_B	394,0	-4,0%	-2,0%	2,2%	4,5%	836,9	-7,0%	-3,6%	3,8%	7,9%
UFF_E2_E	384,5	-4,1%	-2,1%	2,3%	4,6%	745,0	-6,8%	-3,5%	3,7%	7,7%
UFF_E2_B	371,8	-4,9%	-2,5%	2,7%	5,6%	738,8	-7,3%	-3,7%	4,0%	8,2%
SCU_E1_E	330,3	-2,6%	-1,4%	1,4%	2,9%	484,6	-4,9%	-2,5%	2,6%	5,4%
SCU_E1_B	189,6	-2,8%	-1,4%	1,5%	3,1%	302,0	-5,5%	-2,8%	3,0%	6,2%

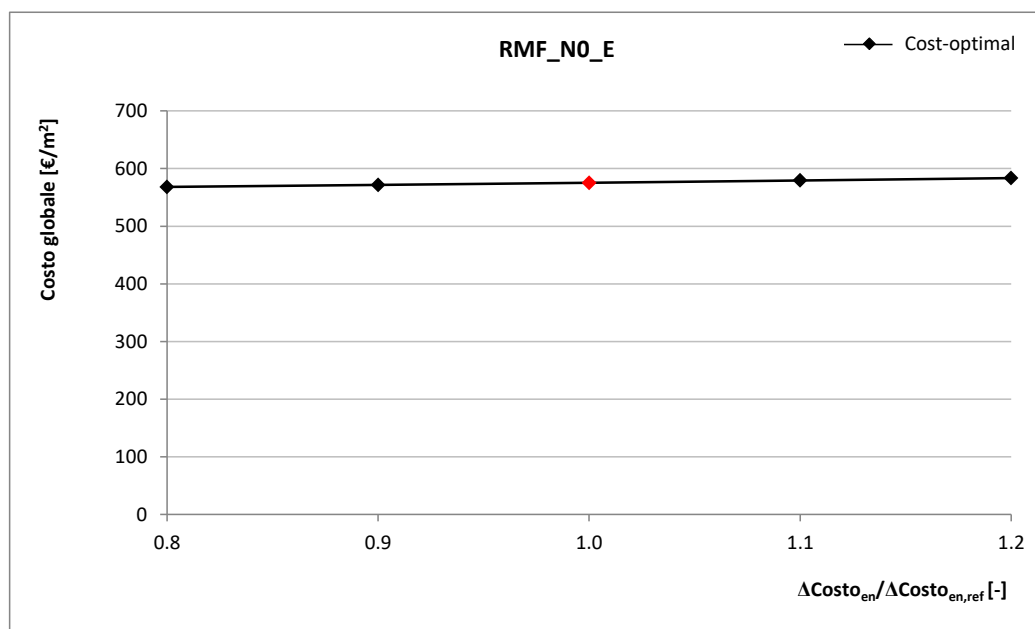


Figura 6.1 Edificio monofamiliare, nuovo – zona climatica E (Milano).

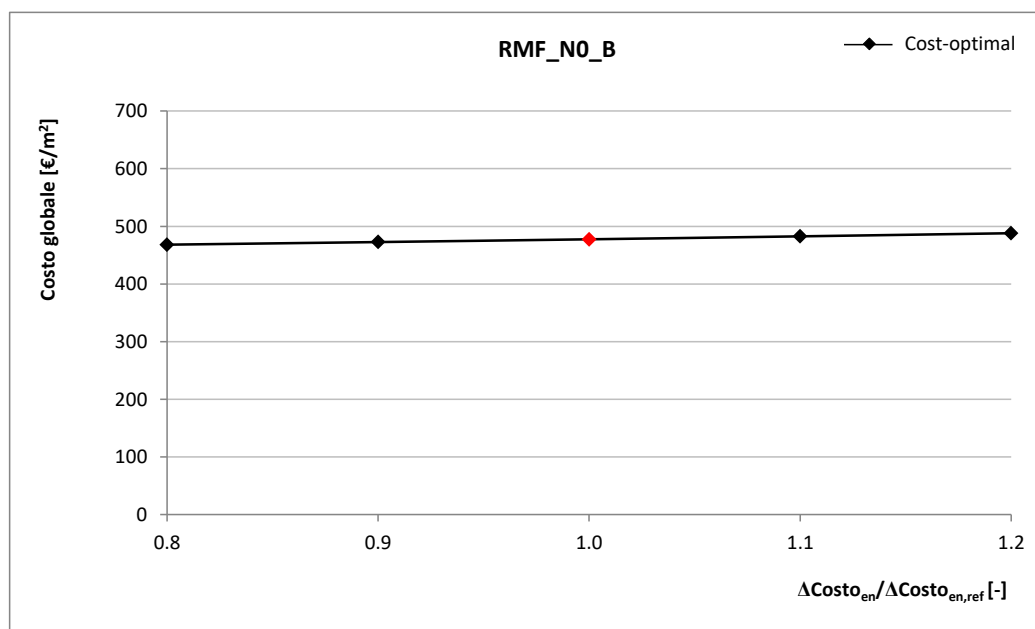


Figura 6.2 Edificio monofamiliare, nuovo – zona climatica B (Palermo).

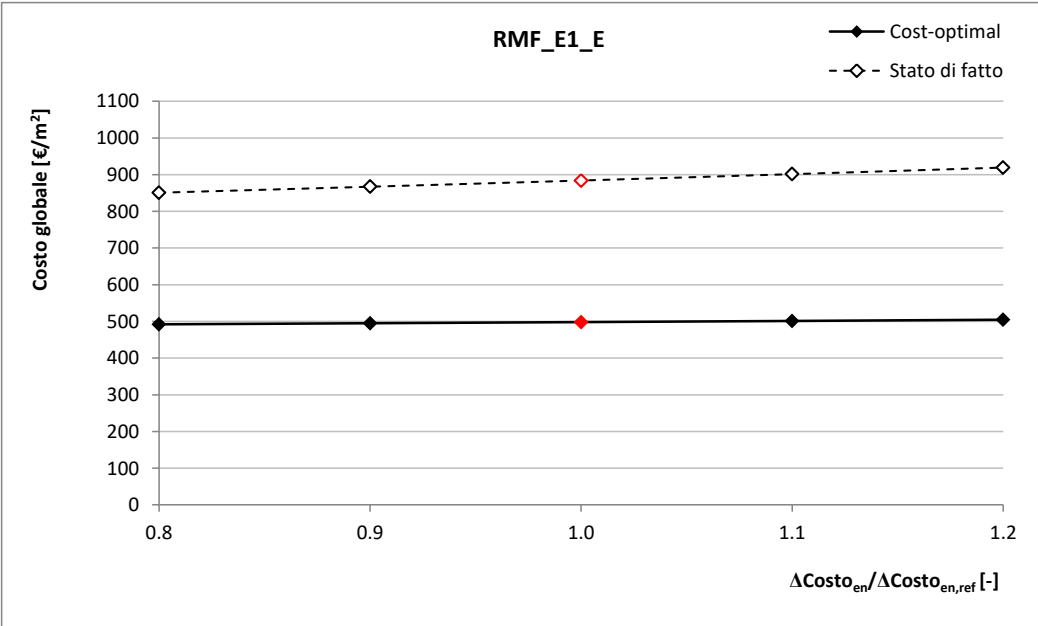


Figura 6.3 Edificio monofamiliare, epoca di costruzione 1946-1976 – zona climatica E (Milano).

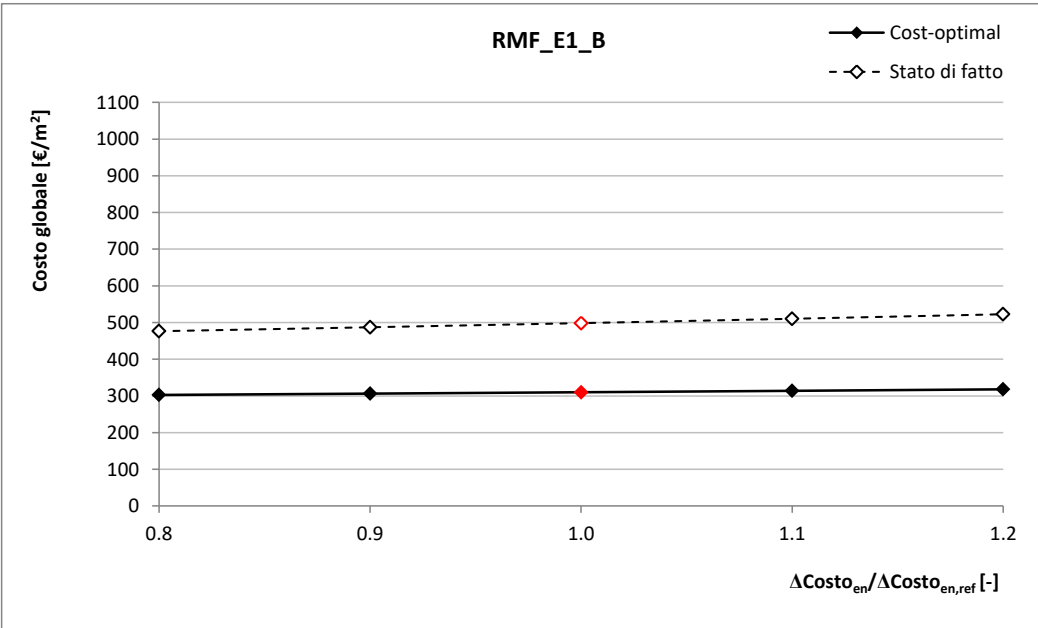


Figura 6.4 Edificio monofamiliare, epoca di costruzione 1946-1976 – zona climatica B (Palermo).

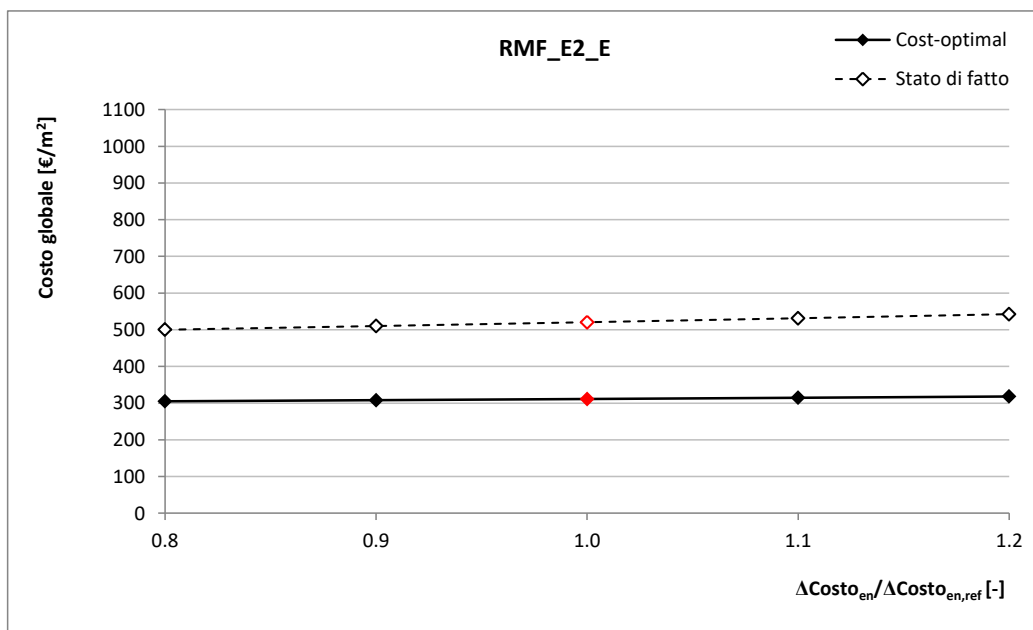


Figura 6.5 Edificio monofamiliare, epoca di costruzione 1977-1990 – zona climatica E (Milano).

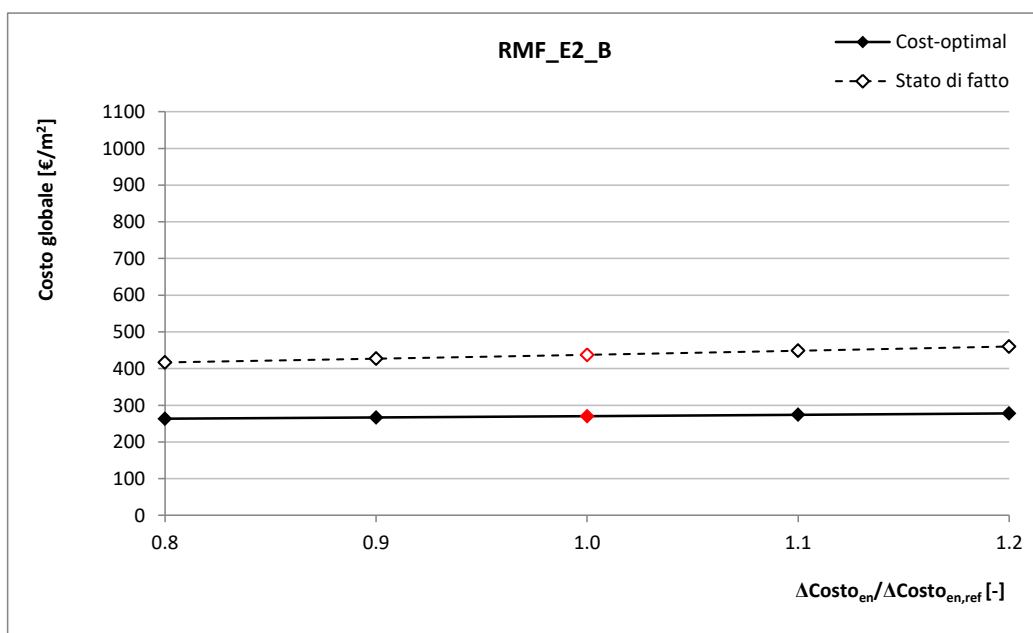


Figura 6.6 Edificio monofamiliare, epoca di costruzione 1977-1990 – zona climatica B (Palermo).

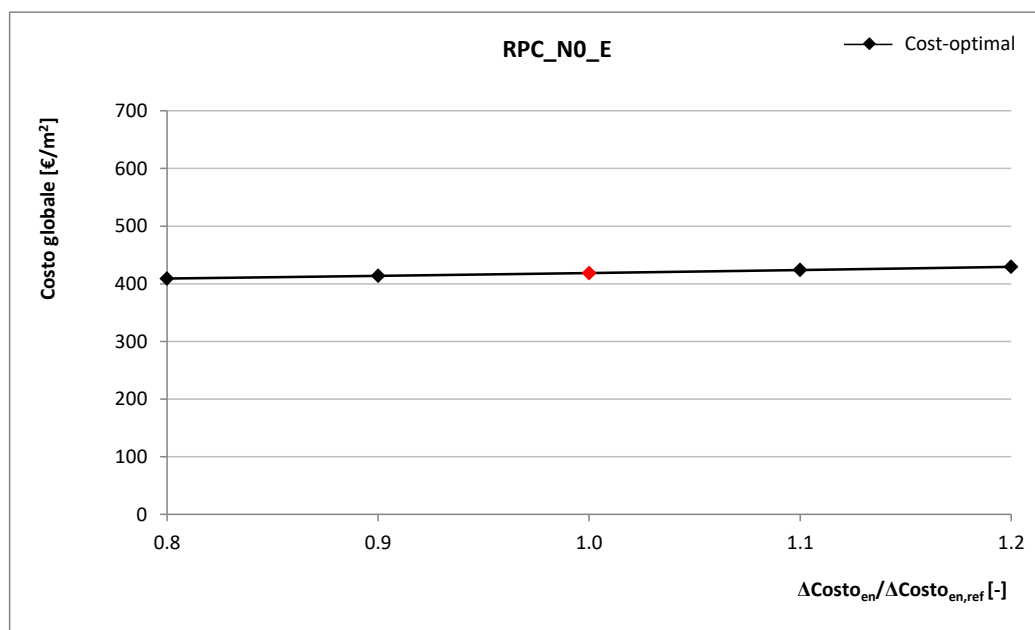


Figura 6.7 Condominio di piccole dimensioni, nuovo – zona climatica E (Milano).

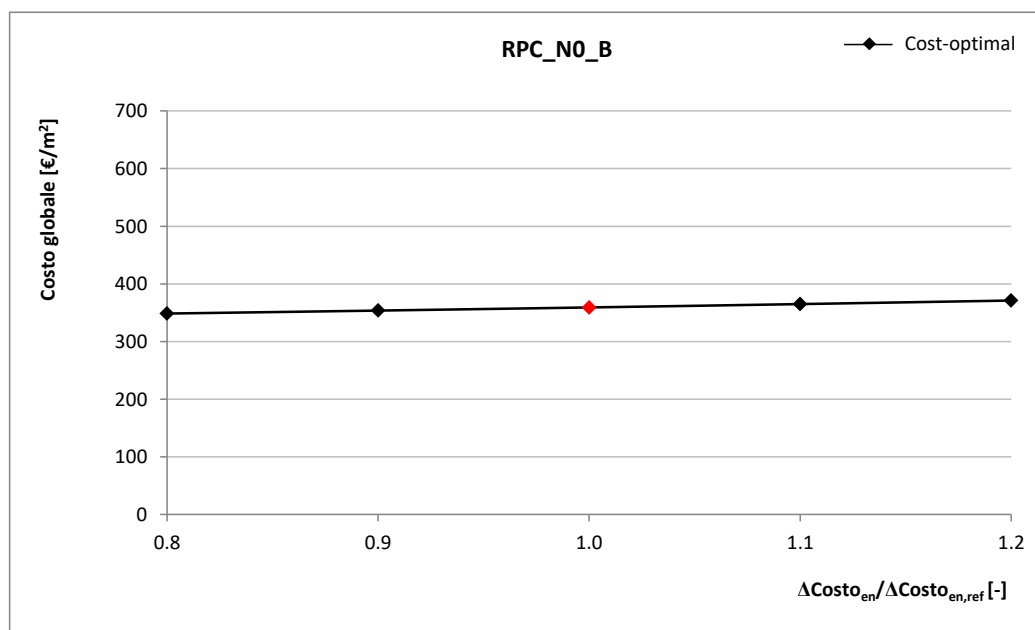


Figura 6.8 Condominio di piccole dimensioni, nuovo – zona climatica B (Palermo).

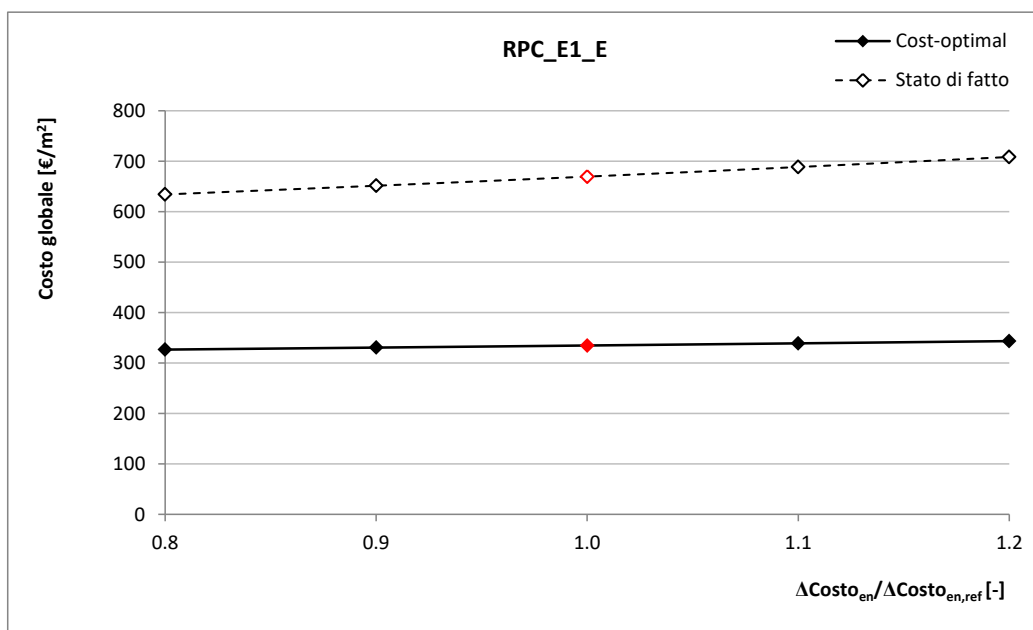


Figura 6.9 Condominio di piccole dimensioni, epoca di costruzione 1946-1976 – zona climatica E (Milano).

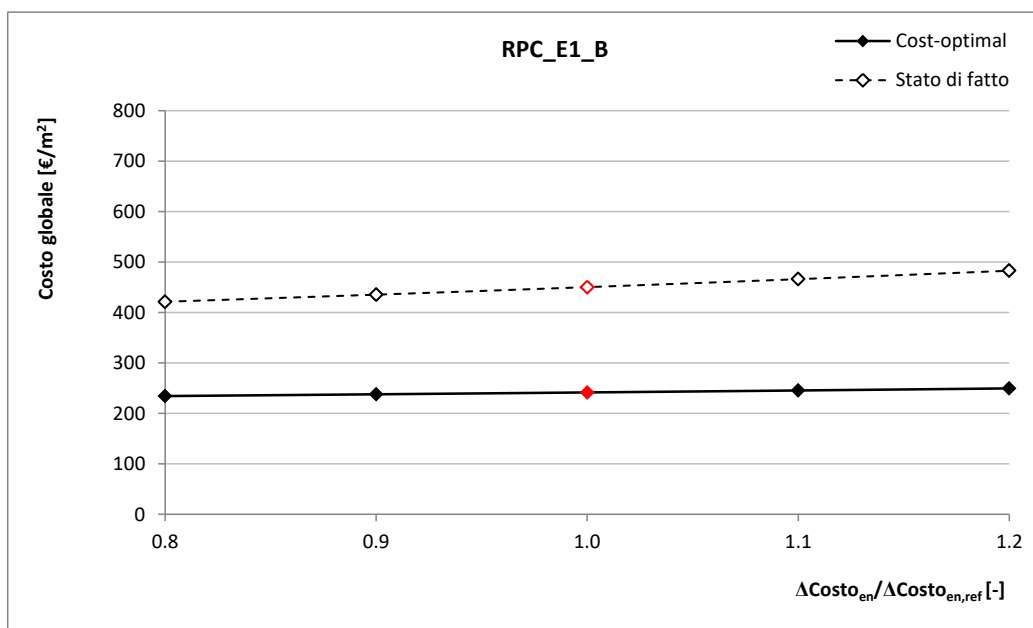


Figura 6.10 Condominio di piccole dimensioni, epoca di costruzione 1946-1976 – zona climatica B (Palermo).

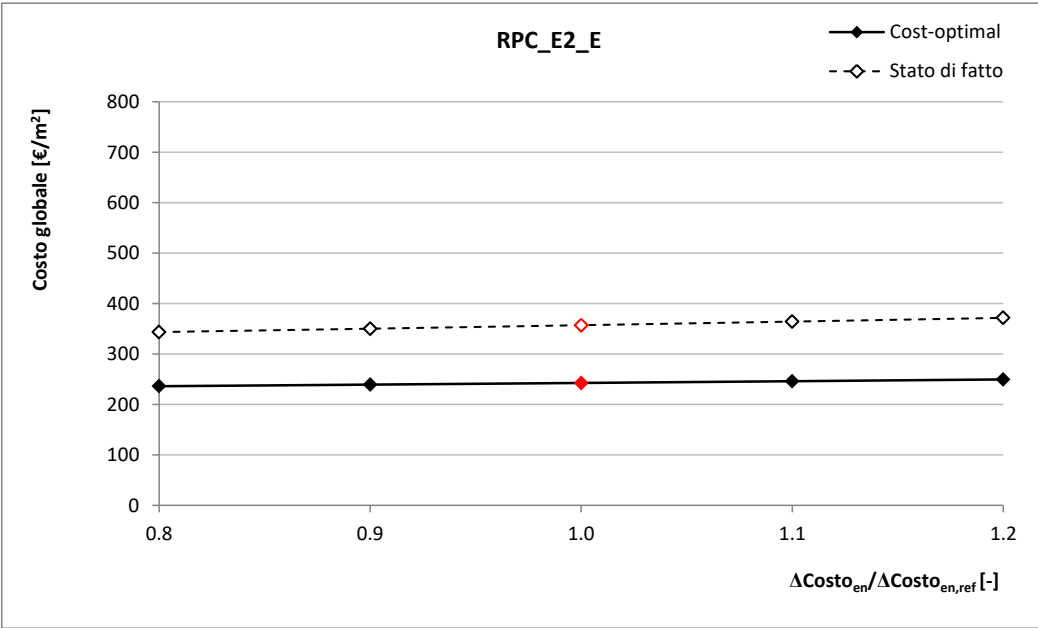


Figura 6.11 Condominio di piccole dimensioni, epoca di costruzione 1977-1990 – zona climatica E (Milano).

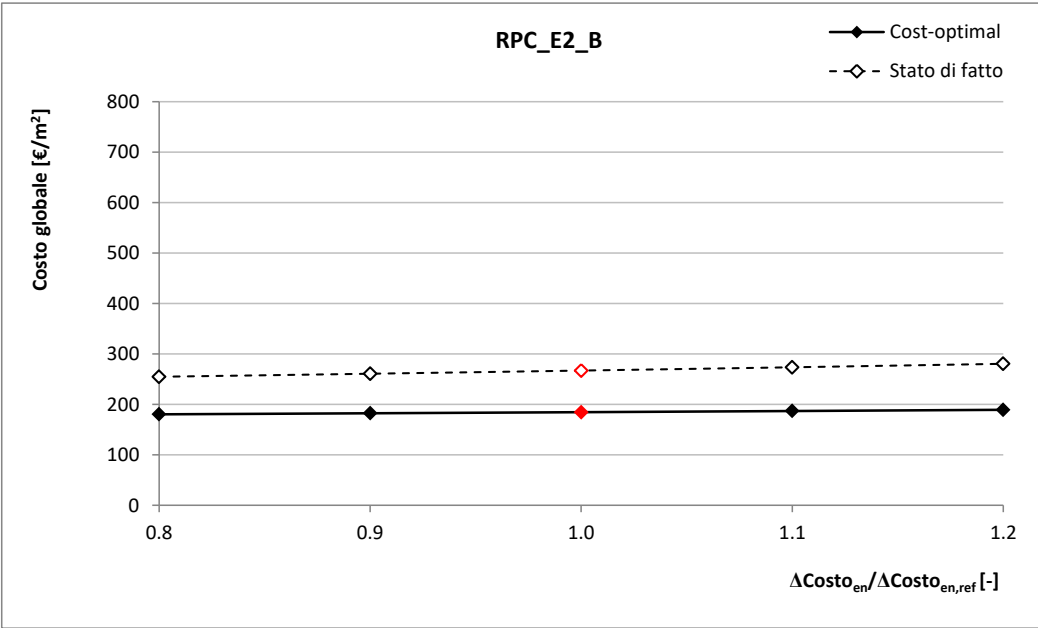


Figura 6.12 Condominio di piccole dimensioni, epoca di costruzione 1977-1990 – zona climatica B (Palermo).

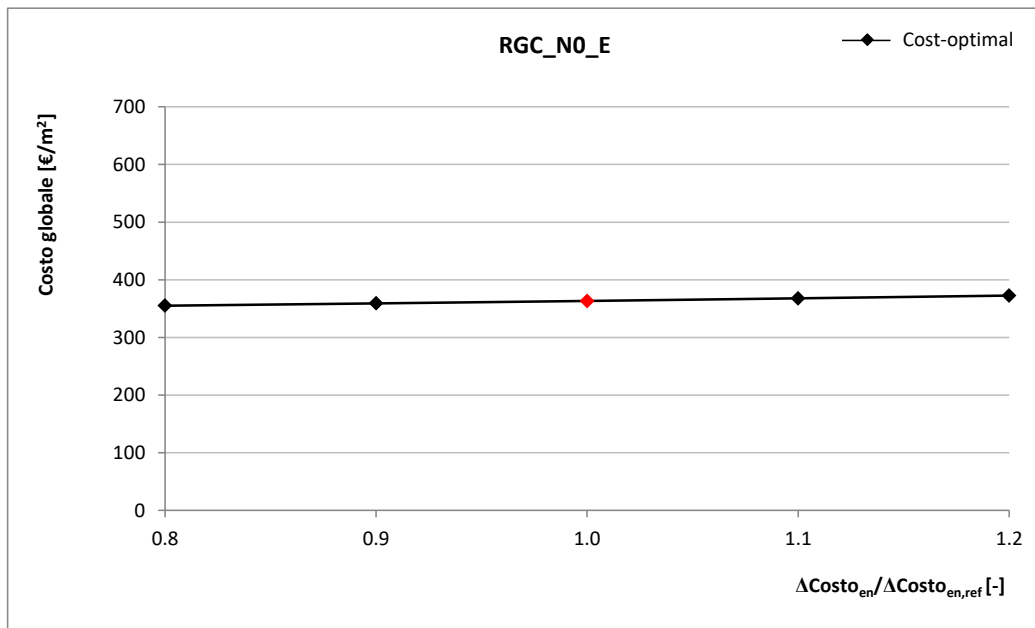


Figura 6.13 Condominio di grandi dimensioni, nuovo – zona climatica E (Milano).

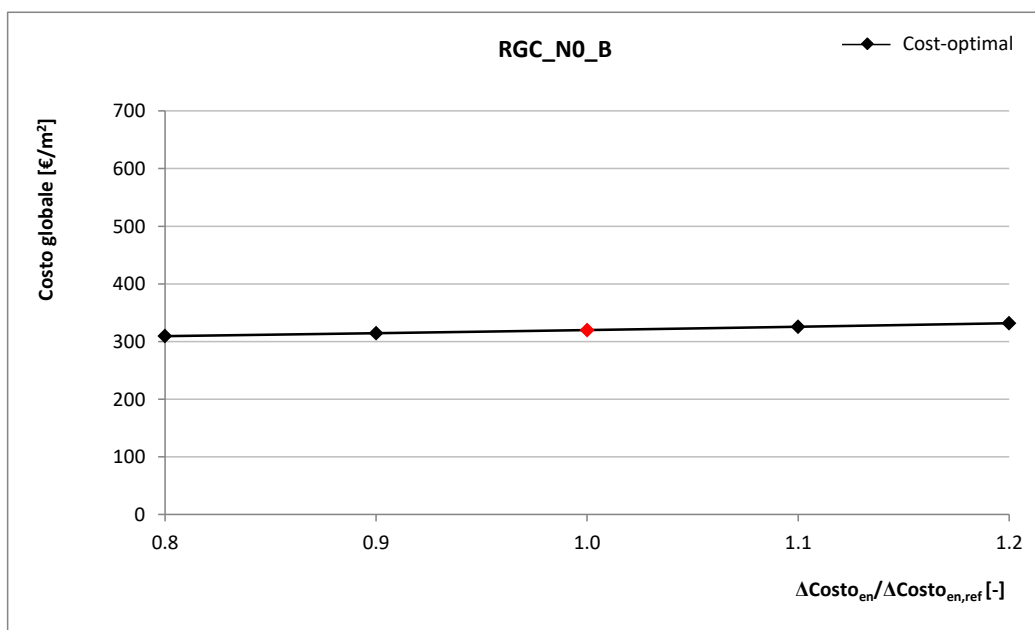


Figura 6.14 Condominio di grandi dimensioni, nuovo – zona climatica B (Palermo).

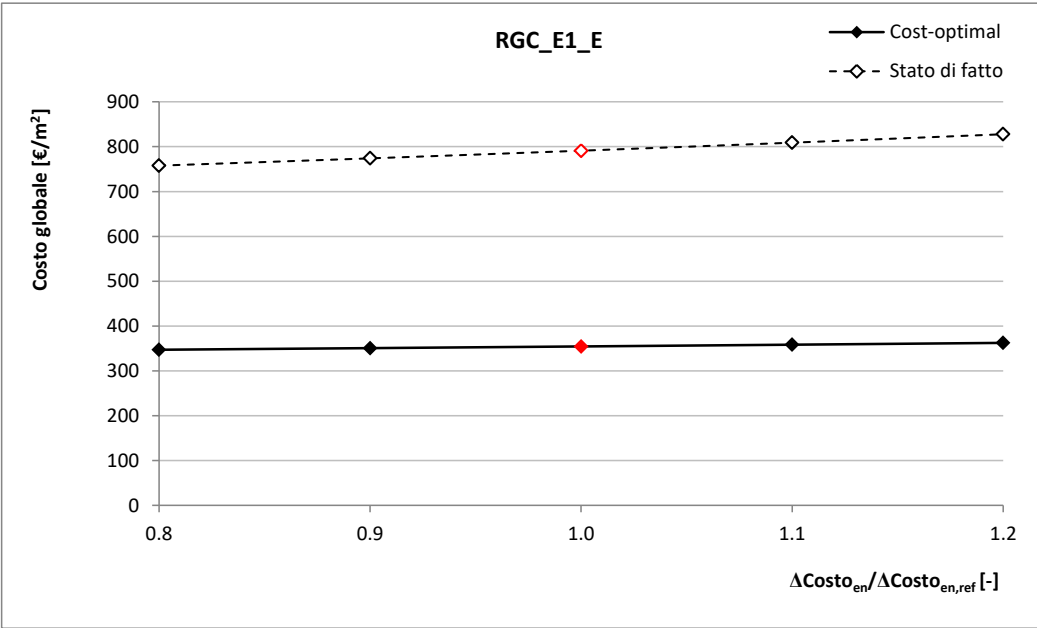


Figura 6.15 Condominio di grandi dimensioni, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica E (Milano).

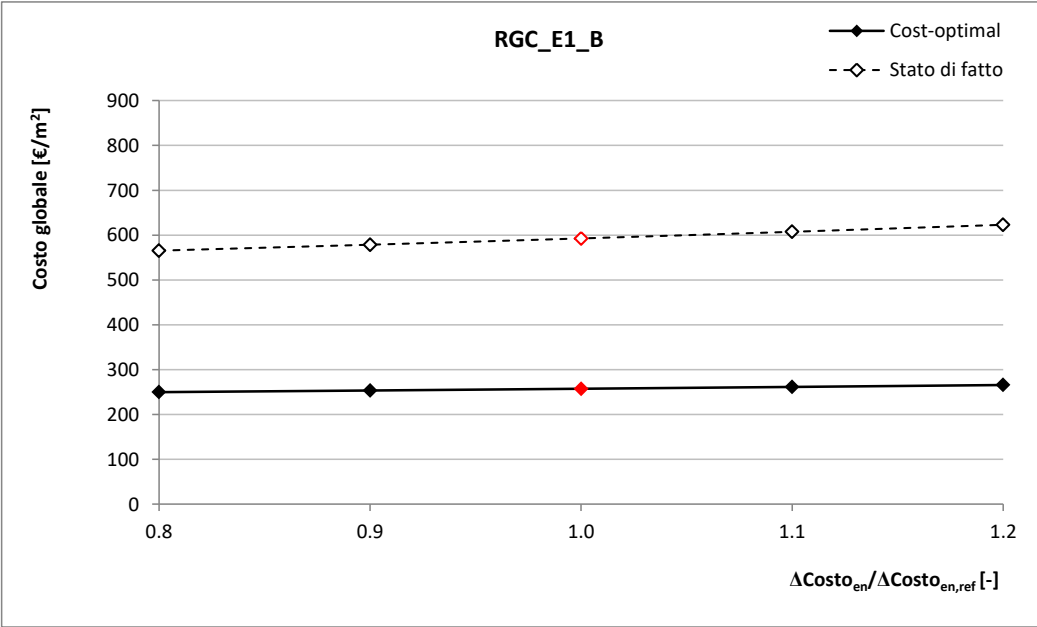


Figura 6.16 Condominio di grandi dimensioni, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica B (Palermo).

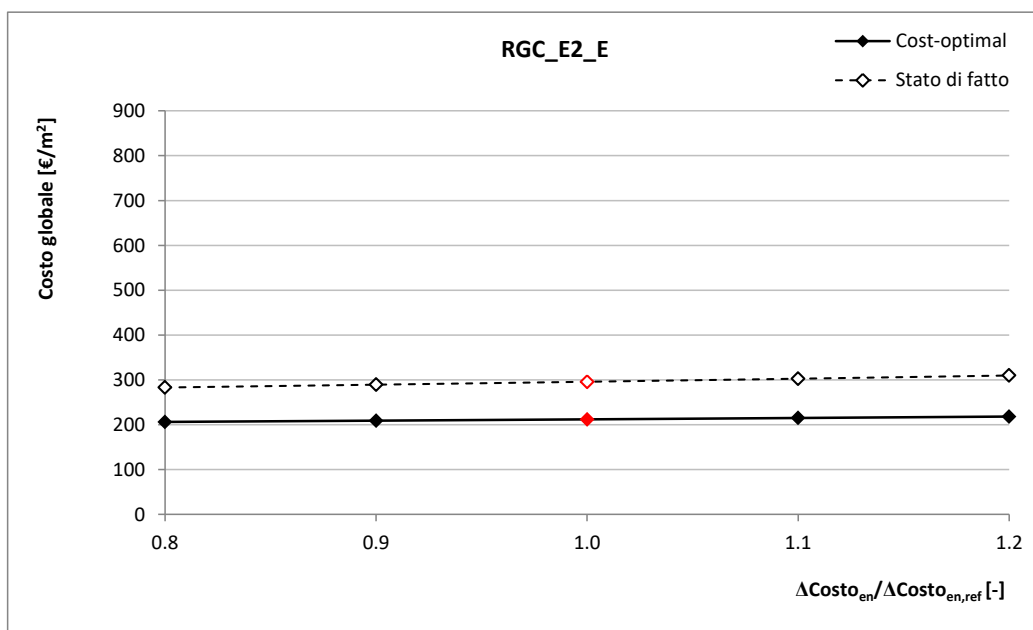


Figura 6.17 Condominio di grandi dimensioni, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica E (Milano).

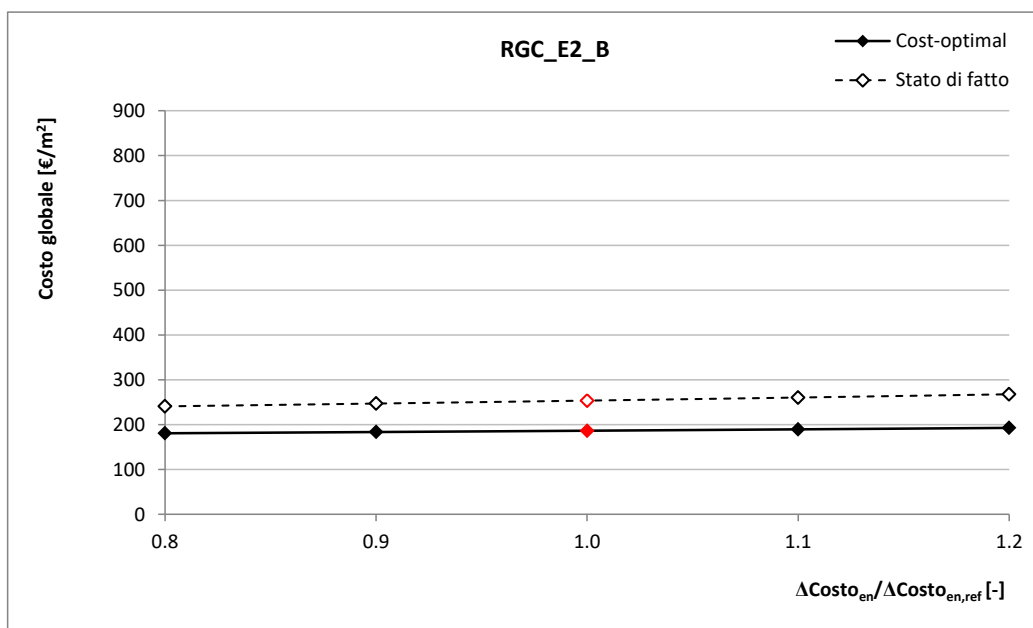


Figura 6.18 Condominio di grandi dimensioni, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica B (Palermo).

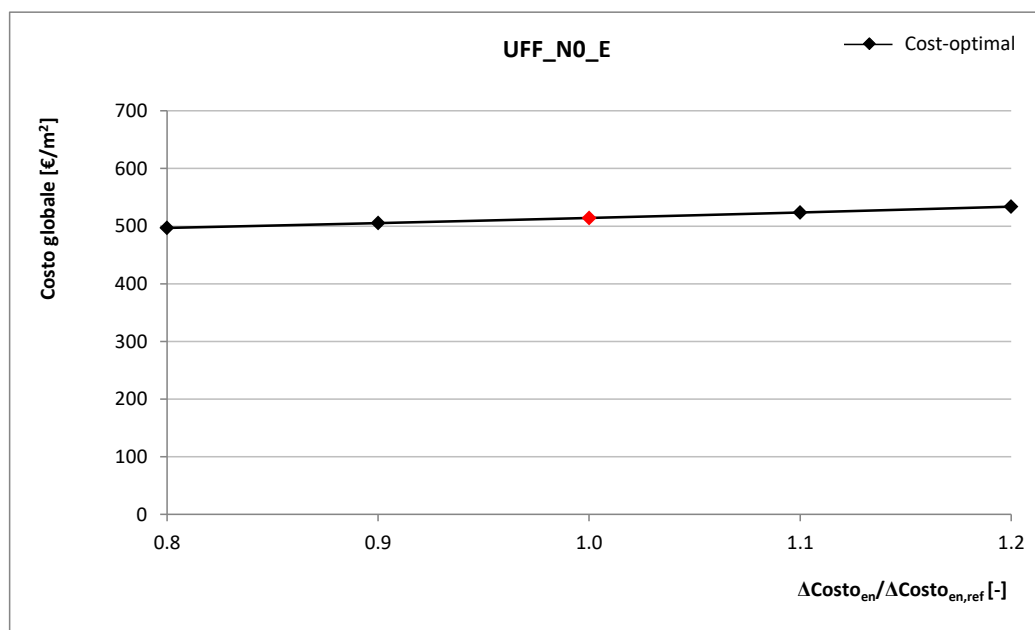


Figura 6.19 Edificio ad uso uffici, nuovo – zona climatica E (Milano).

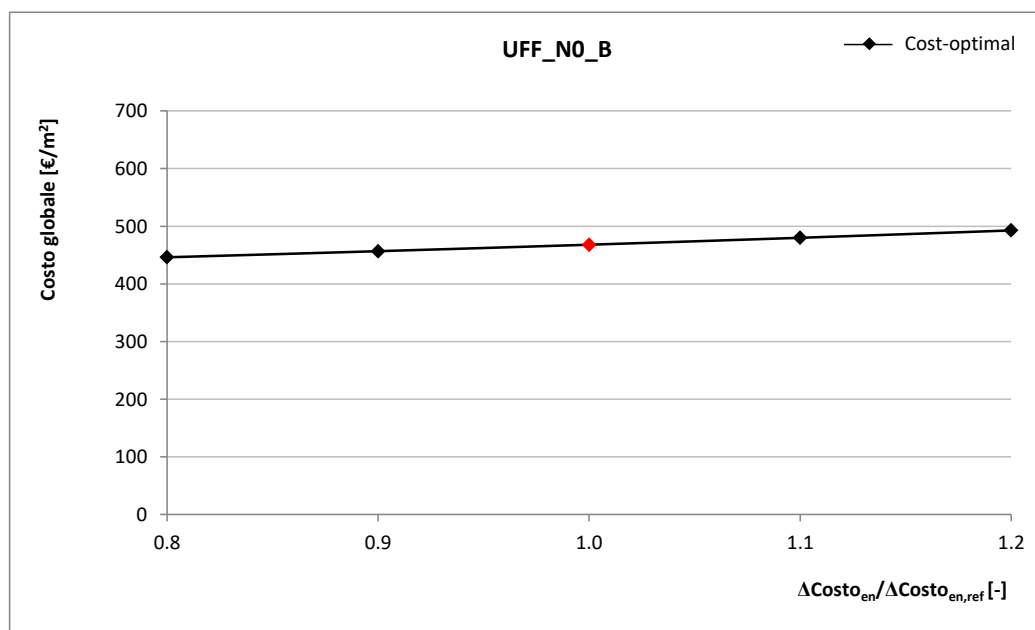


Figura 6.20 Edificio ad uso uffici, nuovo – zona climatica B (Palermo).

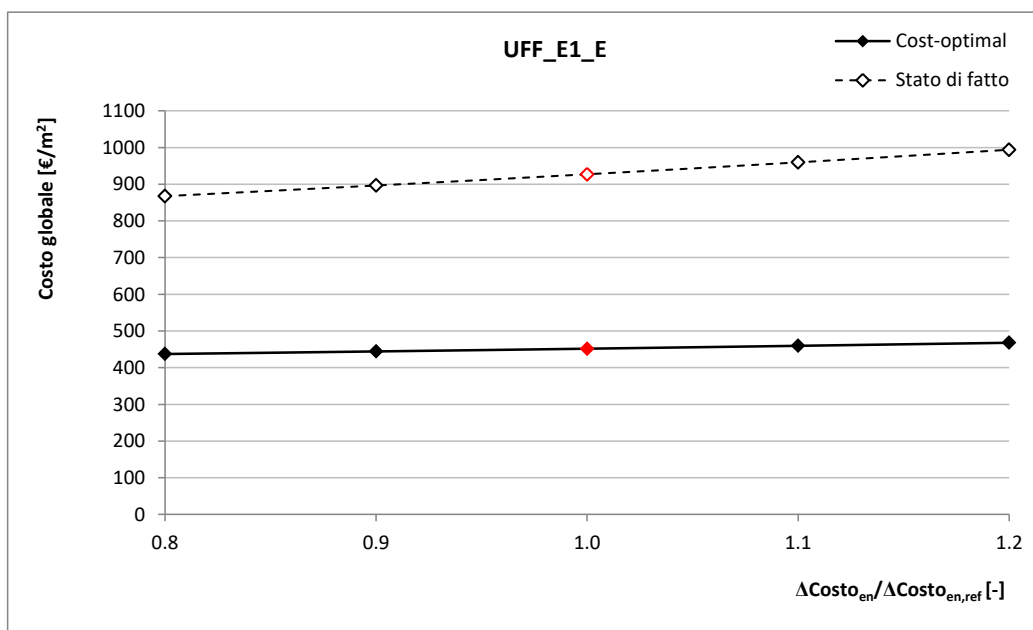


Figura 6.21 Edificio ad uso uffici, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica E (Milano).

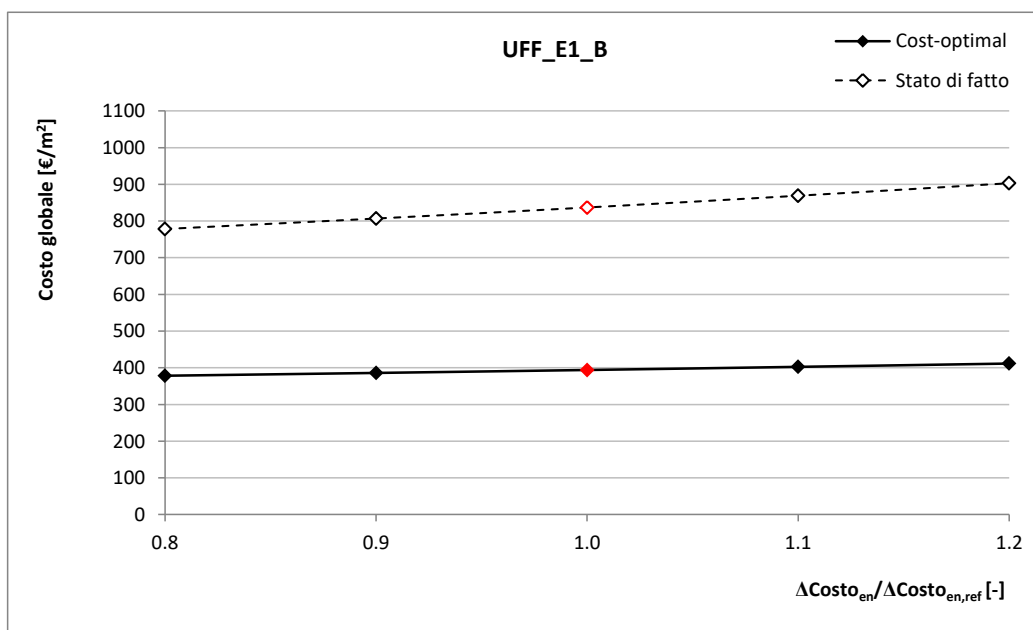


Figura 6.22 Edificio ad uso uffici, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica B (Palermo).

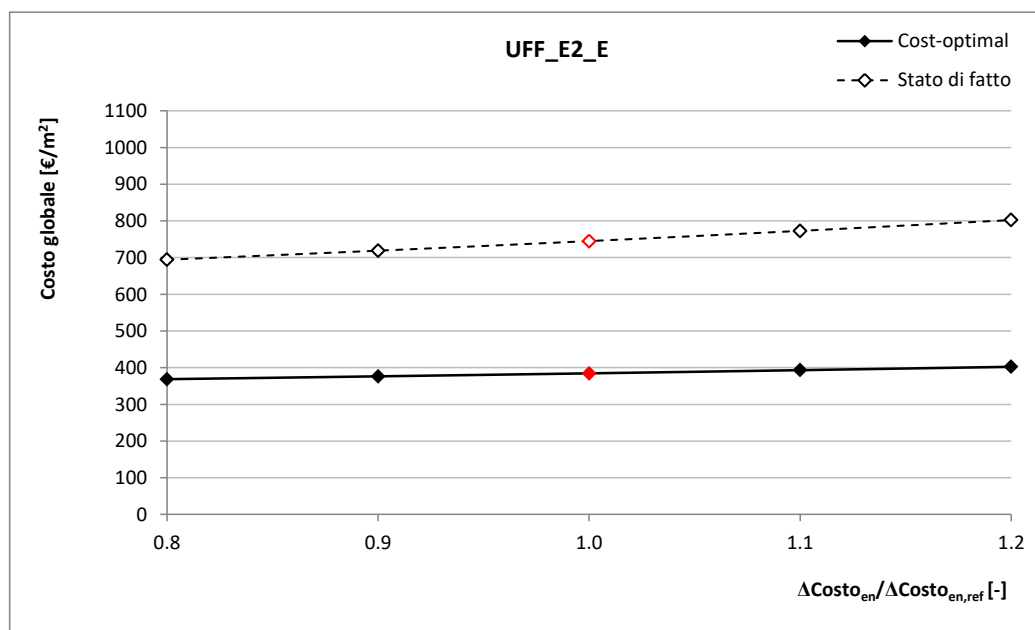


Figura 6.23 Edificio ad uso uffici, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica E (Milano).

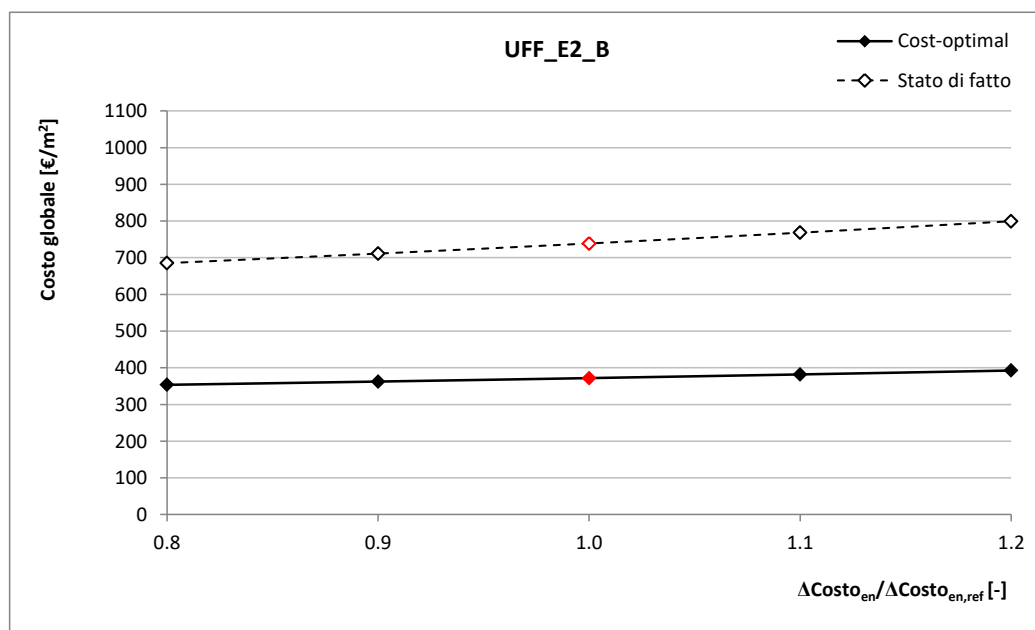


Figura 6.24 Edificio ad uso uffici, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica B (Palermo).

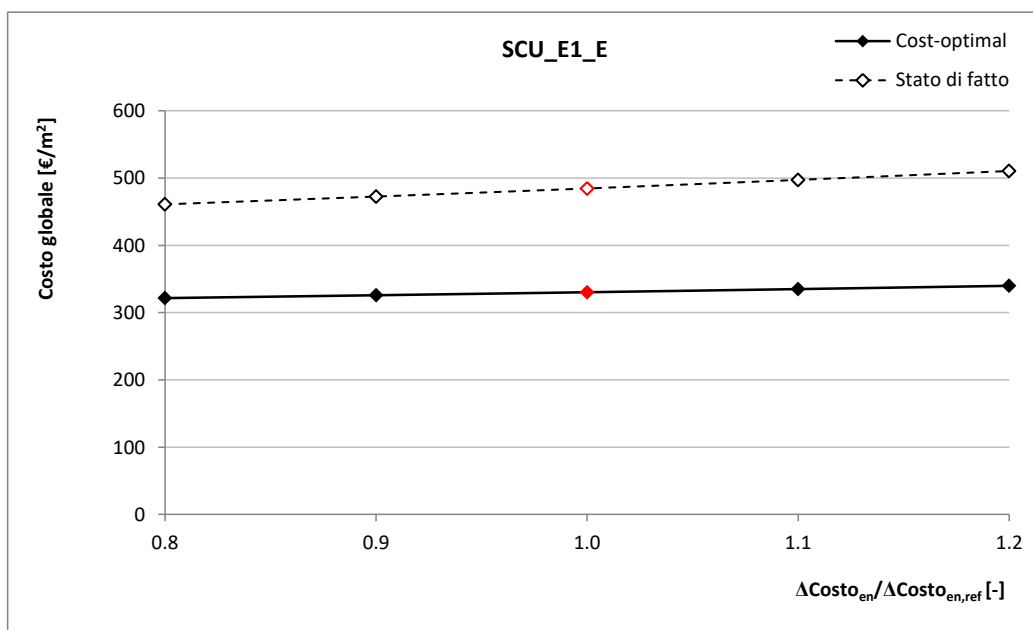


Figura 6.25 Edificio ad uso scolastico, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica E (Milano).

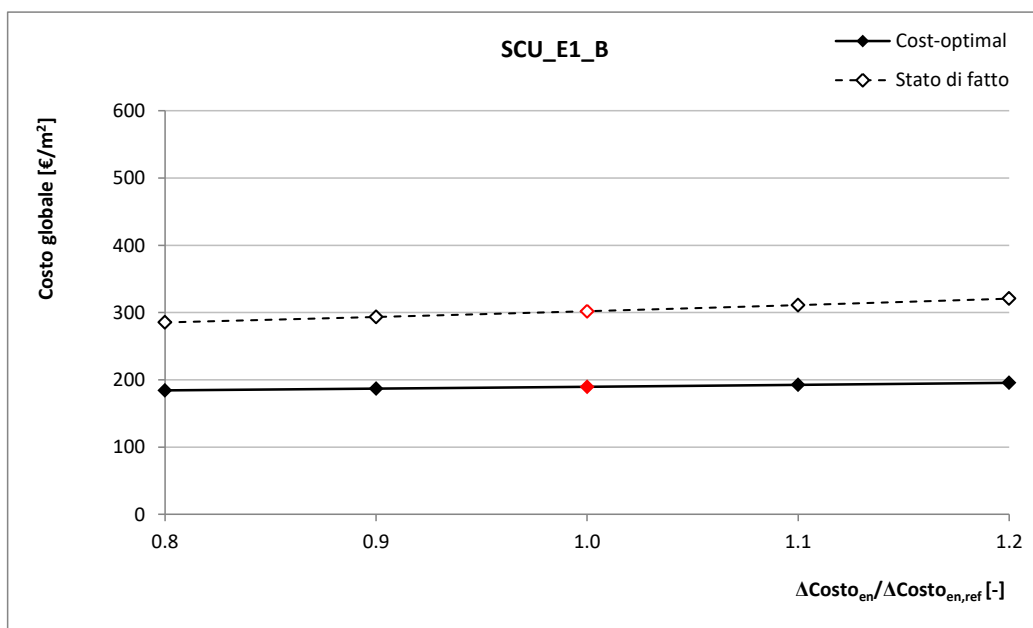


Figura 6.26 Edificio ad uso scolastico, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica B (Palermo).

Nel secondo caso, è stata testata la sensibilità del costo globale sia per le soluzioni *cost-optimal* che per lo stato di fatto al variare del tasso di sconto, da un 4% di riferimento ad un 5%. I risultati dell'analisi di sensibilità sono di seguito riportati in una tabella riassuntiva (Tabella 6.7) che mostra, per ciascun edificio di riferimento, la variazione percentuale del costo globale al variare del tasso di sconto.

Tabella 6.7 Sintesi dei risultati dell'analisi di sensibilità sul tasso di sconto.

Edificio	Soluzione <i>cost-optimal</i>			Stato di fatto		
	Costo globale [€/m ²]		Variazione percentuale costo globale	Costo globale [€/m ²]		Variazione percentuale costo globale
	Tasso di sconto		(Costo _{gl5%} - Costo _{gl4%})/Costo _{gl4%}	Tasso di sconto		(Costo _{gl5%} - Costo _{gl4%})/Costo _{gl4%}
	4%	5%	%	4%	5%	%
RMF_NO_E	575,4	548,8	-4,6%			
RMF_NO_B	477,5	448,8	-6,0%			
RMF_E1_E	498,1	476,6	-4,3%	884,0	783,90	-11,3%
RMF_E1_B	310,0	286,3	-7,6%	498,4	441,10	-11,5%
RMF_E2_E	311,2	289,5	-7,0%	520,5	461,10	-11,4%
RMF_E2_B	270,3	247,5	-8,4%	437,5	386,60	-11,6%
RPC_NO_E	418,7	393,8	-5,9%			
RPC_NO_B	359,2	333,1	-7,3%			
RPC_E1_E	334,8	305,7	-8,7%	669,6	591,00	-11,7%
RPC_E1_B	241,7	219,5	-9,2%	450,4	396,10	-12,1%
RPC_E2_E	242,8	219,9	-9,4%	357,2	316,60	-11,4%
RPC_E2_B	184,7	169,8	-8,1%	267,2	236,20	-11,6%
RGC_NO_E	363,3	340,9	-6,2%			
RGC_NO_B	319,9	295,3	-7,7%			
RGC_E1_E	354,6	328,9	-7,2%	791,0	700,10	-11,5%
RGC_E1_B	257,4	236,3	-8,2%	592,6	523,80	-11,6%
RGC_E2_E	212,0	193,0	-9,0%	295,9	261,70	-11,5%
RGC_E2_B	186,5	170,0	-8,9%	253,6	223,80	-11,8%
UFF_NO_E	514,2	479,6	-6,7%			
UFF_NO_B	468,0	428,0	-8,5%			
UFF_E1_E	451,7	414,5	-8,2%	927,1	817,30	-11,8%
UFF_E1_B	394,0	356,2	-9,6%	836,9	736,70	-12,0%
UFF_E2_E	384,5	348,2	-9,5%	745,0	656,20	-11,9%
UFF_E2_B	371,8	333,7	-10,3%	738,8	649,90	-12,0%
SCU_E1_E	330,3	304,1	-7,9%	484,6	429,20	-11,4%
SCU_E1_B	189,6	173,3	-8,6%	302,0	267,30	-11,5%

7 Analisi dei risultati

7.1 Considerazioni generali

Dall'analisi dei risultati ottenuti si possono ricavare delle considerazioni generali riguardanti la scelta delle configurazioni ottimali per le diverse tipologie edilizie.

Per quanto riguarda gli edifici residenziali monofamiliari

- Gli interventi di maggiore entità sull'involucro edilizio risultano ottimali per gli edifici di nuova costruzione. Al contrario, negli edifici esistenti vengono favoriti interventi su singoli componenti edilizi (isolamento del primo o dell'ultimo solaio), sfavorendo in particolare gli interventi sull'involucro trasparente;
- Sia per gli edifici esistenti che di nuova costruzione, la scelta ottimale per gli impianti tecnici consiste in impianti centralizzati con produzione combinata, scegliendo la pompa di calore invertibile (H+C+W) per gli edifici di nuova costruzione, e un sistema a multisplit per il raffrescamento combinato ad una caldaia a condensazione per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria per gli edifici esistenti;
- Per quanto riguarda gli edifici esistenti, le soluzioni *cost-optimal* comportano dei consistenti risparmi sia in termini di prestazione energetica che di costo globale. In particolare, si riportano risparmi superiori al 60% in termini di $EP_{gl,nren}$ per tutti gli edifici (ad eccezione dell'edificio monofamiliare, epoca 1977-90, zona climatica B), e un risparmio di circa il 40% in termini di costo globale.

Per quanto riguarda i condomini residenziali di piccole dimensioni:

- Sia per gli edifici esistenti che di nuova costruzione, gli interventi di maggiore entità sull'involucro edilizio riguardano in particolare il primo e l'ultimo solaio, mentre vengono sfavoriti gli interventi sull'involucro trasparente, scegliendo bassi livelli di prestazione energetica della misura o lo stato di fatto per gli edifici esistenti;
- Agli interventi sull'involucro edilizio vengono associati impianti centralizzati con produzione separata con multisplit per il raffrescamento, la pompa di calore o la caldaia a condensazione, rispettivamente per gli edifici nuovi e per gli esistenti, per il riscaldamento e la caldaia tradizionale a bassa temperatura per la produzione di acqua calda sanitaria;
- Per quanto riguarda gli edifici esistenti, le soluzioni *cost-optimal* comportano dei risparmi superiori al 65% in termini di $EP_{gl,nren}$ per gli edifici di entrambe le epoche, e un risparmio di circa il 30% in termini di costo globale per gli edifici appartenenti all'epoca 1977-90, e pari al 50% per gli edifici dell'epoca precedente.

Le considerazioni ricavate per quanto riguarda i condomini residenziali di grandi dimensioni e, in particolare, riguardanti gli interventi sull'involucro sono analoghe a quelle dei condomini di piccole dimensioni. Per quanto riguarda le configurazioni impiantistiche ottimali, vengono favoriti impianti centralizzati con produzione separata per gli edifici nuovi e per quelli appartenenti all'epoca 1946-76; invece, per gli edifici appartenenti all'epoca 1977-90, le configurazioni impiantistiche scelte sono impianti autonomi con produzione combinata, caratterizzati da un sistema a multisplit per il raffrescamento e da una caldaia a condensazione per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria. Come per i condomini di piccole dimensioni, le soluzioni *cost-optimal* comportano dei risparmi in termini di $EP_{gl,nren}$ simili per tutti gli edifici (circa il 60%), e un risparmio in termini di costo globale maggiori per gli edifici appartenenti all'epoca 1977-90 (55%) rispetto a quelli dell'epoca precedente (25%).

In generale, negli edifici ad uso ufficio vengono sfavoriti gli interventi sull'involucro sia opaco che trasparente, scegliendo bassi livelli di prestazione energetica delle misure o lo stato di fatto per gli edifici esistenti. A interventi di bassa prestazione energetica viene associata, al contrario, la scelta di impianti ad

alta efficienza energetica per gli edifici nuovi (centralizzati con produzione combinata, con pompa di calore invertibile). Per gli edifici esistenti, invece, la procedura favorisce impianti centralizzati con produzione separata, caratterizzati da multisplit per il raffrescamento, e caldaia a condensazione o a bassa temperatura per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria. A differenza di tutte le altre tipologie edilizie, i collettori solari termici non vengono mai scelti dalla procedura di ottimizzazione, portando a valori di copertura da fonti rinnovabili per la produzione di acqua calda sanitaria (RER_w) generalmente inferiori rispetto agli altri edifici di riferimento. Per quanto riguarda gli edifici esistenti, le soluzioni *cost-optimal* comportano dei consistenti risparmi sia in termini di prestazione energetica che di costo globale. In particolare, si riportano risparmi superiori al 65% in termini di $EP_{gl,nren}$ per tutti gli edifici, e una riduzione del costo globale di circa il 50%.

Allo stesso modo, i risultati in riferimento all'edificio scolastico esistente riportano interventi sull'involucro solo sul primo solaio e la scelta di una caldaia a condensazione per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria. I pacchetti ottimali comportano un miglioramento della prestazione energetica degli edifici pari al 60%, e una riduzione del costo globale attorno al 30%.

A carattere generale, delle considerazioni comuni a tutti gli edifici di riferimento sono state ricavate dall'analisi dei risultati. In particolare:

- Gli interventi di maggior entità sull'involucro edilizio sono ottimali soltanto per i nuovi edifici e solo in pochi casi per quelli esistenti (generalmente riferibili all'epoca di costruzione 1946-1976). Negli altri casi, il costo elevato dovuto principalmente alle opere civili connesse con la realizzazione, ha favorito interventi sui soli componenti orizzontali o su altri interventi (impianti);
- L'introduzione dell'ipotesi di non intervento sull'involucro edilizio (Livello 1 per gli edifici esistenti) determina inoltre valori di trasmittanza termica sensibilmente meno stringenti per gli edifici esistenti, abbattendo in molti casi il costo totale degli interventi rispetto a quello dei nuovi edifici della stessa tipologia;
- L'utilizzo integrale di pompa di calore per la climatizzazione e la produzione di acqua calda sanitaria ($H+C+W$) è risultato ottimale solo per edifici di nuova costruzione, del tipo monofamiliare ed uffici. Negli altri casi la soluzione di impianto selezionata risulta sempre basata sull'integrazione di pompa di calore, caldaia a condensazione o a bassa temperatura e multisplit;
- L'installazione di moduli fotovoltaici, presente sempre tra gli interventi individuati su tutte le tipologie edilizie, ha consentito di raggiungere, per gli edifici residenziali coperture del 50%-70% sugli edifici nuovi, e del 10%-30% per gli esistenti; per gli uffici, compreso tra il 40-50% per i nuovi edifici ed il 15%-20% per quelli esistenti;
- Per quanto riguarda i costi relativi alle soluzioni ottimali, questi variano maggiormente tra edifici nuovi ed esistenti, mentre sono meno rilevanti le differenze dovute alla diversa fascia climatica. In particolare, per gli edifici residenziali, gli edifici di nuova costruzione riportano costi medi inferiori rispetto a quelli esistenti (circa il 20%); al contrario, i costi medi degli edifici ad uso ufficio nuovi risultano superiori del 18% rispetto a quelli esistenti. In generale, la riduzione percentuale del costo globale per i condomini di piccole e grandi dimensioni appartenenti all'epoca 1977-90 risultano inferiori a quelli degli altri edifici di riferimento (30% rispetto ad una riduzione media pari al 50%);
- Le soluzioni *cost-optimal* degli edifici esistenti comportano un miglioramento della prestazione energetica degli edifici (in termini di $EP_{gl,nren}$) simile per tutti gli edifici di riferimento e sempre superiori al 60%.

7.2 Confronto con le soluzioni cost-optimal individuate nell'attività 2013

I risultati della presente attività di *cost-optimality* rispetto ai risultati dell'analoga attività condotta nel 2013 si differenziano per alcuni importanti aspetti, come descritti di seguito. Occorre preliminarmente osservare

che l'aver introdotto il non-intervento tra le opzioni di efficienza energetica per gli edifici esistenti ha determinato in alcuni casi e per alcuni componenti edilizi il mantenimento dello stato di fatto.

Rispetto all'attività precedente, le attuali opzioni di efficienza energetica *cost-optimal* degli edifici di riferimento, sia nuovi sia esistenti, sono caratterizzate da valori di trasmittanza termica delle chiusure verticali opache mediamente più elevate nella zona climatica B (Palermo), e delle chiusure verticali trasparenti (serramenti) mediamente più elevate nella zona climatica E (Milano). Per contro, le nuove soluzioni *cost-optimal* presentano livelli di isolamento termico elevato, con valori di trasmittanza termica generalmente più bassi rispetto ai precedenti risultati, per le chiusure orizzontali superiori e inferiori degli edifici nuovi ed esistenti.

Per quanto riguarda le misure impiantistiche, il generatore selezionato dalla procedura di ottimizzazione per gli edifici residenziali nuovi e gli edifici ad uso ufficio nuovi è sempre la pompa di calore, mentre soluzioni meno performanti erano risultate dall'attività del 2013. Si registra, generalmente per tutti gli edifici analizzati, una riduzione della taglia dei collettori solari termici e un aumento della potenza di picco dell'impianto fotovoltaico.

7.3 Confronto con i requisiti dell'edificio ad energia quasi-zero (D.M. 26/06/2015)

Confrontando i pacchetti di efficienza energetica *cost-optimal* risultanti dalla presente analisi con i requisiti dell'edificio ad energia quasi-zero come definiti nel Decreto Ministeriale 26 giugno 2015 ("Decreto requisiti minimi" [1]), per edifici esistenti soggetti a ristrutturazione importante di primo livello, si osserva che:

- la soluzione *cost-optimal* presenta valori di trasmittanza termica dei componenti d'involucro mediamente più elevati di quelli dell'edificio di riferimento¹, soprattutto per le chiusure verticali opache e trasparenti;
- la copertura, tramite il ricorso ad energia prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili, della somma dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria (ACS), il riscaldamento e il raffrescamento (RER_{H+C+W}) è inferiore alla soglia minima stabilita dal D. Lgs. 28/2011 [5].

Tutti i casi analizzati di edificio nuovo presentano una soluzione *cost-optimal* che può essere considerata equivalente ad un edificio ad energia quasi-zero. Tuttavia, si riscontrano le seguenti differenze con i valori di trasmittanza termica dell'edificio di riferimento fissati dal D.M. 26/06/2015 [1]. Nello specifico, le chiusure verticali opache e trasparenti presentano valori di trasmittanza termica di poco superiori a quelli del decreto per la zona climatica E; mentre in zona B la soluzione ottimale non prevede pareti perimetrali isolate termicamente. I valori di trasmittanza termica delle chiusure orizzontali derivanti dalla *cost-optimality* sono invece generalmente più bassi rispetto a quelli fissati dal decreto per gli stessi componenti.

La copertura, con fonti rinnovabili, sia del consumo di ACS (RER_W) sia della somma dei consumi dei tre principali servizi energetici (RER_{H+C+W}), come fissata dal D. Lgs. 28/2011 [5], è sempre rispettata in tutti i casi di edificio nuovo, a meno dei grandi condomini e degli edifici per ufficio di grandi dimensioni, nei quali il valore di RER_{H+C+W} è sempre inferiore al 50%.

Gli impianti selezionati dalla procedura di ottimizzazione per tutti gli edifici analizzati presentano livelli di efficienza pari o maggiori di quelli stabiliti dal decreto per l'edificio di riferimento.

¹ I parametri dell'edificio di riferimento (Appendice A dell'Allegato 1, capitolo 3, del D.M. 26/06/2015) sono stati presi come dato di confronto.

8 Conclusioni

Da quanto emerge dai risultati della presente attività, è possibile formulare delle linee guida utili per la revisione del decreto oggi in vigore [1]. Rispetto agli attuali requisiti di prestazione energetica, i risultati mostrano che:

- Per gli edifici esistenti, i valori di trasmittanza termica sono sensibilmente meno restrittivi, soprattutto per i componenti opachi verticali e i serramenti;
- Per gli edifici di nuova costruzione, l'attuale target nZEB (definito mediante i parametri dell'edificio di riferimento [1]), è tendenzialmente confermato, a meno della zona climatica B (Palermo), dove sono risultati ottimali dal punto di vista dei costi involucro poco o non isolati termicamente;
- Non è sempre possibile rispettare la copertura dei consumi con fonti rinnovabili, come da D.Lgs. 28/2011 [5], soprattutto nei casi di edifici di grandi dimensioni e di tipologia a torre.

Si segnala, inoltre, che per una corretta applicazione dell'edificio di riferimento, per le ristrutturazioni importanti e le nuove costruzioni è necessario considerare anche (e separatamente dai valori di trasmittanza termica) ponti termici di riferimento.

9 Riferimenti bibliografici

Legislazione

- [1] Repubblica Italiana, Decreto Ministeriale 26 giugno 2015 “Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici”, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 162 del 15 luglio 2015, Supplemento Ordinario n. 39.
- [2] Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell’edilizia (EPBD recast).
- [3] Commissione Europea, “Regolamento Delegato (UE) N. 244/2012 della Commissione del 16 gennaio 2012 che integra la direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio sulla prestazione energetica nell’edilizia istituendo un quadro metodologico comparativo per il calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli elementi edilizi”, 16 gennaio 2012.
- [4] Repubblica Italiana, D.P.R. 26 agosto 1993, n. 412. Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della L. 9 gennaio 1991, n. 10.
- [5] Decreto Legislativo 3 marzo 2011, n. 28, Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE.
- [6] Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente - ARERA, Determinazione delle tariffe di riferimento provvisorie per i servizi di distribuzione e misura del gas, per l’anno 2018.
- [7] Strategia Energetica Nazionale (SEN, 2017).

Norme tecniche

- [8] UNI/TS 11300-1. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale. Ottobre 2014.
- [9] UNI/TS 11300-2. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria. Ottobre 2014.
- [10] UNI/TS 11300-3. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva. Marzo 2010.
- [11] UNI/TS 11300-4. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria. Maggio 2012.
- [12] UNI/TS 11300-5. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 5: Calcolo dell’energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili. Marzo 2016.
- [13] UNI EN 15459. Prestazione energetica degli edifici. Procedura di valutazione economica dei sistemi energetici degli edifici. Luglio 2008.
- [14] UNI EN 15193. Prestazione energetica degli edifici – Requisiti energetici per l’illuminazione. Maggio 2008.
- [15] UNI 10349-1. Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 1: Medie mensili per la valutazione della prestazione termo-energetica dell'edificio e metodi per ripartire l'irradianza solare nella frazione diretta e diffusa e per calcolare l'irradianza solare su di una superficie inclinata. Marzo 2016.
- [16] UNI EN12237. Ventilazione degli edifici - Reti delle condotte - Resistenza e tenuta delle condotte circolari di lamiera metallica. Giugno 2004.

Pubblicazioni scientifiche

- [17] Corrado V.; Ballarini I.; Ottati I.; Paduos S. (2014). Aggiornamento della metodologia comparativa cost-optimal secondo Direttiva 2010/31/UE. Report RdS/2014/107. ROMA: Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA).
- [18] www.building-typology.eu/building-typology/country/it/
- [19] Assessment and improvement of the EPBD Impact (for new buildings and building renovation) – ASIEPI. www.asiepi.eu
- [20] Corrado V. et al. *Building Typology Brochure – Italy. Fascicolo sulla Tipologia Edilizia Italiana. Nuova edizione*. Torino: Politecnico di Torino. Luglio 2014.
- [21] Margiotto M.; Puglisi G. (2009). Caratterizzazione del parco edilizio nazionale – Determinazione dell'edificio tipo per uso ufficio. Report RdS/2009/164. ROMA: Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA).
- [22] Baldazzi E.; Beltrone E.; D'Alessandris P.; Mostacci A.; Mura A.; Napoleoni D.; Pasquino F.; Santangelo A.; Stemperini A.; Toso F. (2009). Rapporto sulla raccolta dati per la determinazione e caratterizzazione delle tipologie di impianto per il condizionamento invernale ed estivo negli edifici destinati a scuole ed uffici. Report RdS/2013/141. ROMA: Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA).
- [23] BEEPS Building Energy Environment Performance System: programma del Ministero dell'Ambiente e del Dipartimento di Fisica Tecnica dell'Università "La Sapienza" di Roma sulla certificazione energetica degli edifici esistenti.

Nomenclatura

A_f	Superficie netta climatizzata
A_g	Superficie lorda climatizzata
A_{env}	Superficie opaca disperdente
A_w	Superficie trasparente disperdente
$h_{n,interp}$	Altezza interpiano
U	Trasmittanza termica
U_{wall}	Trasmittanza termica delle chiusure verticali opache
U_w	Trasmittanza termica dei serramenti
$U_{roof/uf}$	Trasmittanza termica della copertura o dell'ultimo solaio
U_{lf}	Trasmittanza termica del primo solaio
u.i.	Unità immobiliare
$\Psi_{int/est}$	Trasmittanza lineica (esterna/interna) del ponte termico
η_{gn}	Efficienza di generazione
η_{rg}	Efficienza di regolazione
P_n	Potenza nominale
λ	Conducibilità termica
A_c	Superficie dei collettori