



Ricerca di Sistema elettrico

Aggiornamento della metodologia comparativa cost-optimal secondo Direttiva 2010/31/UE

V. Corrado, I. Ballarini, I. Ottati, S. Paduos



AGGIORNAMENTO DELLA METODOLOGIA COMPARATIVA COST-OPTIMAL SECONDO DIRETTIVA 2010/31/UE

V. Corrado, I. Ballarini, I. Ottati, S. Paduos

Settembre 2014

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2012

Area: RAZIONALIZZAZIONE E RISPARMIO NELL'USO DELL'ENERGIA ELETTRICA

Progetto: (titolo senza sigla) SVILUPPO DI MODELLI PER LA REALIZZAZIONE DI INTERVENTI DI EFFICIENZA ENERGETICA SUL PATRIMONIO IMMOBILIARE PUBBLICO

Obiettivo:

Responsabile del Progetto: arch. Gaetano Fasano, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Sviluppo e aggiornamento della metodologia cost optimal per la valutazione della rispondenza degli standard energetici nazionali, da applicare agli edifici di riferimento, secondo le linee guida della metodologia comparativa prevista dalla 2010/31/CE. Analisi di sensibilità della metodologia cost optimal per gli edifici residenziali ed a uso uffici"

Responsabile scientifico ENEA: arch. Gaetano Fasano

Responsabile scientifico Politecnico di Torino: prof. Vincenzo Corrado

Indice

| | |
|--|-----|
| SOMMARIO..... | 4 |
| 1 INTRODUZIONE..... | 6 |
| 2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI..... | 8 |
| 2.1 DESCRIZIONE DEGLI EDIFICI DI RIFERIMENTO E DEGLI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE | 9 |
| 2.1.1 <i>Edifici residenziali esistenti</i> | 11 |
| 2.1.2 <i>Edifici residenziali nuovi</i> | 11 |
| 2.1.3 <i>Edifici ad uso ufficio esistenti</i> | 12 |
| 2.1.4 <i>Edifici ad uso ufficio nuovi</i> | 13 |
| 2.2 STRUMENTI DI CALCOLO PER L'APPLICAZIONE DELLA COST OPTIMAL METHODOLOGY AL CASO ITALIANO | 13 |
| 2.2.1 <i>Calcolo dei fabbisogni di energia</i> | 13 |
| 2.2.2 <i>Calcolo del costo globale</i> | 19 |
| 2.3 METODOLOGIA DI OTTIMIZZAZIONE: DESCRIZIONE E APPLICAZIONE AD EDIFICI DI RIFERIMENTO ITALIANI ED ANALISI DI SENSIBILITÀ DELLA METODOLOGIA COST OPTIMAL PER GLI EDIFICI RESIDENZIALI ED A USO UFFICI | 24 |
| 2.3.1 <i>Le misure di efficienza energetica e le opzioni di risparmio energetico</i> | 24 |
| 2.3.2 <i>I costi degli interventi</i> | 39 |
| 2.3.3 <i>La procedura di ottimizzazione</i> | 71 |
| 2.3.4 <i>Elaborazioni e risultati</i> | 74 |
| 2.3.5 <i>Valutazione per singolo intervento</i> | 150 |
| 2.3.6 <i>Analisi di sensibilità</i> | 183 |
| 2.4 SIMULAZIONE DINAMICA..... | 245 |
| 2.4.1 <i>Obiettivo</i> | 245 |
| 2.4.2 <i>Software</i> | 245 |
| 2.4.3 <i>Casi studio</i> | 245 |
| 2.4.4 <i>Dati climatici</i> | 253 |
| 2.4.5 <i>Risultati</i> | 254 |
| 3 CONCLUSIONI | 260 |
| 3.1 EDIFICI RESIDENZIALI | 261 |
| 3.2 EDIFICI AD USO UFFICIO | 266 |
| 4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI | 269 |
| ALLEGATI..... | 271 |
| ALLEGATO A. ZONE CLIMATICHE E TRASMITTANZA POST-INTERVENTO | 272 |
| ALLEGATO B. DATI CLIMATICI | 275 |
| ALLEGATO C. VALUTAZIONE DETTAGLIATA DEI PONTI TERMICI..... | 280 |
| ALLEGATO D. SCHEDE EDIFICI DI RIFERIMENTO | 313 |

Sommario

Oggetto del contratto è lo sviluppo e l'aggiornamento della metodologia per il calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica, nell'ambito del quadro metodologico definito dal Regolamento delegato (UE) N. 244/2012 della Commissione del 16 gennaio 2012 e dalle successive Linee Guida, in accordo con quanto richiesto agli Stati Membri dalla Direttiva 2010/31/UE.

L'attività prevede la revisione degli strumenti di calcolo per l'applicazione della "*Cost Optimal Methodology*" già sviluppati nel precedente accordo (Accordo di Programma del 4 marzo 2013 tra il Ministero dello Sviluppo Economico, ENEA e il Politecnico di Torino nell'ambito del Piano Annuale di Realizzazione 2012, Area "Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica", obiettivo "a. Applicabilità di tecnologie innovative e modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica" del Progetto C.2 "Sviluppo di modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica sul patrimonio immobiliare pubblico", attività di ricerca della linea A), anche alla luce delle recenti prescrizioni legislative in tema di efficienza energetica degli edifici e di uso delle fonti rinnovabili, ed aggiornamento della normativa tecnica di riferimento.

La struttura del lavoro riprende e implementa quanto già prodotto nel precedente Accordo di Programma e si strutturata come segue:

1 Aggiornamento degli edifici di riferimento e degli interventi di riqualificazione.

Il lavoro si basa sugli edifici campione già precedentemente definiti dal gruppo di lavoro tecnico istituito presso il Ministero dello Sviluppo Economico per l'attuazione della Direttiva 31/2010/EU, ai quali verrà aggiunto per ogni categoria e per entrambe le zone climatiche un nuovo edificio, per un totale di otto casi studio.

2 Revisione degli strumenti di valutazione del livello ottimale di costo degli interventi di risparmio energetico.

In questa fase l'attività prevede l'aggiornamento degli strumenti di calcolo al fine di recepire le modifiche attuate alle specifiche tecniche UNI/TS 11300 parti 1 e 2.

L'aggiornamento prevede anche la definizione dei ponti termici mediante valori di trasmittanza termica lineare ricavati da abachi nazionali.

I calcoli verranno rifatti utilizzando i dati climatici aggiornati della revisione della norma UNI 10349 [20].

3 Valutazione del livello ottimale di costo per alcuni edifici campione.

La presente attività prevede l'applicazione degli strumenti di calcolo revisionati ad alcuni edifici di riferimento.

La metodologia di *cost optimality* verrà inoltre applicata anche a singoli interventi di riqualificazione edilizia, al fine di ottimizzare la prestazione termica in caso di intervento puntuale su un singolo elemento, edificio o impiantistico; a tal fine i costi dell'intervento non verranno modificati.

Si prevede inoltre di effettuare un'analisi di sensibilità atta a valutare per ogni misura di efficienza energetica lo scostamento dal valore ottimale di EP_{gl} e di costo globale al variare del livello di prestazione energetica.

4. Simulazione dinamica

La simulazione dinamica è stata effettuata sui due edifici per uffici di nuova costruzione (UFF_N0 e il suo omologo in aggiunta ai precedenti, come spiegato al punto 2.1). La ricerca della configurazione ottimale è prevista attraverso la simulazione alcune misure di efficienza energetica, ivi compreso il caso definito come

“ottimale”. Lo scopo è verificare l’eventuale deviazione tra il modello semplificato UNI/TS 11300 ed il modello dinamico nell’individuazione delle soluzioni ottimali.

1 Introduzione

Nell'ambito del Piano Annuale di Realizzazione 2014 dell'Accordo di Programma del 4 marzo 2013 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 della linea A, concernente lo sviluppo di metodologie e strumenti di misura ed analisi dei consumi energetici degli edifici pubblici.

La Direttiva 2010/31/UE, anche conosciuta come EPBD recast (Revisione della *Energy Performance of Buildings Directive*), definisce i principi relativi al miglioramento della prestazione energetica degli edifici.

La EPBD recast richiede agli Stati Membri che i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici siano definiti in un'ottica di raggiungimento 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", 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. Agli Stati è demandata la determinazione della durata del ciclo di vita economico dell'intero edificio o degli elementi considerati nelle valutazioni.

Il 21 marzo 2012 la Commissione ha pubblicato il Regolamento delegato (UE) N. 244/2012 del 16 gennaio 2012, e a seguire, il 19 aprile 2012, le Linee guida (Orientamenti della Commissione) che accompagnano il suddetto Regolamento. Con questi provvedimenti è stato definito il quadro metodologico per la determinazione dei requisiti energetici ottimali degli edifici, dal punto di vista sia tecnico che economico. Detto quadro costituisce la base per le elaborazioni a cura degli Stati.

Con l'utilizzo di questa metodologia, gli Stati identificano i requisiti minimi di prestazione energetica corrispondenti ai livelli di costo ottimali, per edifici nuovi e per edifici esistenti sottoposti a ristrutturazioni edili e impiantistiche, importanti e non. Gli Stati confrontano i risultati di questi calcoli con i corrispondenti requisiti minimi vigenti e riferiscono alla Commissione.

Il presente lavoro si colloca all'interno del suddetto contesto ed ha lo scopo di sviluppare una metodologia per il calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica.

Per l'applicazione della suddetta metodologia, nell'ambito del precedente Accordo di Programma [38] è stato definito un pacchetto integrato costituito da fogli di calcolo in formato 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 [16-19], e applicato nuovamente agli edifici campione.

Tra i casi studio sono stati aggiunti degli edifici di nuova costruzione e differente tipologia (monofamiliare, piccolo e grande condominio) e destinazione d'uso (residenze, uffici), per le città di Milano e di Palermo, prese come caratteristiche delle zone climatiche E e B.

Ha inoltre fatto seguito alla precedente Attività una analisi di sensibilità volta a definire lo scostamento rispetto al valore ottimale, in termini di energia e di costo globale, ottenuto variando il livello prestazionale di una misura di efficienza energetica alla volta.

In accordo con quanto specificato dalla Direttiva e dal Regolamento delegato, la metodologia *cost optimal* è stata applicata anche a singoli interventi, emulando la casistica di edifici esistenti sui quali si desidera intervenire con interventi puntuali di riqualificazione energetica.

L'attività si conclude con l'adozione della simulazione dinamica come strumento alternativo alla metodologia quasi-stazionaria delle specifiche tecniche UNI/TS 11300, volto alla definizione dei consumi energetici in previsione della valutazione del livello ottimale in funzione dei costi, così come definito dalla metodologia *cost optimal*. Lo scopo è verificare l'eventuale deviazione tra il modello semplificato UNI/TS 11300 ed il modello dinamico nell'individuazione delle soluzioni ottimali.

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

Il lavoro si struttura nelle seguenti quattro fasi:

1. Descrizione degli edifici di riferimento e degli interventi di riqualificazione.
2. Strumenti di calcolo per l'applicazione della Cost Optimal Methodology al caso italiano.
3. Metodologia di ottimizzazione: descrizione e applicazione ad edifici di riferimento italiani ed analisi di sensibilità della metodologia cost optimal per gli edifici residenziali e ad uso uffici.
4. Uso della simulazione dinamica per l'applicazione della Cost Optimal Methodology.

- Descrizione degli edifici di riferimento e degli interventi di riqualificazione: Il lavoro si basa sugli edifici campione già precedentemente definiti dal gruppo di lavoro tecnico istituito presso il Ministero dello Sviluppo Economico per l'attuazione della Direttiva 31/2010/EU. 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) 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. A questi edifici sono stati applicati alcuni pacchetti di misure di efficienza energetica.

In questa fase agli edifici già oggetto di analisi verranno aggiunti otto nuovi casi studio, rappresentati da edifici residenziali e ad uso ufficio di nuova costruzione, in zona climatica B ed E.

- Strumenti di calcolo per l'applicazione della Cost Optimal Methodology al caso italiano: nell'ambito del precedente Accordo di Programma è stato realizzato uno strumento costituito da fogli di calcolo in formato Excel *user friendly* in grado, per ogni edificio considerato, di fornire la migliore soluzione tecnologica in termini di costi/benefici finalizzata alla riduzione dei consumi energetici, sia per una nuova costruzione, sia per un intervento di ristrutturazione edilizia totale. Sono stati considerati i consumi energetici annuali per riscaldamento, raffrescamento, produzione ACS e illuminazione (in caso di edifici non residenziali), nonché l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili (solare termico e FV, pompa di calore) ed i costi globali dell'intervento (costi di investimento, di manutenzione e di esercizio, i proventi dalla esportazione di energia elettrica e i costi di smaltimento). Al fine di definire di un livello ottimale di costo degli interventi per differenti tipologie edilizie, si è proceduto ad una doppia valutazione, energetica ed economica, considerando vari pacchetti di misure di efficienza energetica.

In questa fase l'attività prevede l'aggiornamento degli strumenti di calcolo al fine di recepire le modifiche attuate alle specifiche tecniche UNI/TS 11300 parti 1 e 2. al fine di definire un livello ottimale di costo degli interventi per differenti tipologie edilizie, si procede ad una doppia valutazione, sia energetica che economica, considerando vari pacchetti di misure di efficienza energetica (a titolo di esempio, isolamento dell'involucro opaco, sostituzione dei serramenti e del generatore di calore). La valutazione energetica è condotta mediante metodologia semplificata, in accordo con le specifiche tecniche UNI/TS 11300-1/4, 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 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.

- Metodologia di ottimizzazione: descrizione e applicazione ad edifici di riferimento italiani ed analisi di sensibilità della metodologia cost optimal per gli edifici residenziali e ad uso uffici: nell'ambito

del precedente Accordo di Programma ad ogni edificio di riferimento sono stati applicati gli strumenti di calcolo presentati al punto precedente ed è stato definito un pacchetto di interventi di risparmio energetico “ottimale”, vale a dire quel gruppo di interventi di risparmio energetico che se applicati condurrebbero al migliore rapporto costi economici/benefici.

La presente attività prevede l’applicazione degli strumenti di calcolo revisionati sia ai precedenti che ai nuovi edifici di riferimento. Tale valutazione ha il principale scopo di verificare che i valori prescrittivi contenuti nell’attuale legislazione energetica nazionale abbiano un effettivo ritorno economico, secondo quanto richiesto dalla Direttiva 2010/31/UE.

Sui risultati del precedente Accordo di Programma fa ora seguito una analisi di sensibilità volta a definire lo scostamento rispetto al valore ottimale, in termini di energia e di costo globale, ottenuto variando il livello prestazionale di una misura di efficienza energetica alla volta.

- Uso della simulazione dinamica per l’applicazione della Cost Optimal Methodology: La simulazione dinamica è stata effettuata sui due edifici per uffici di nuova costruzione (UFF_NO e il suo omologo in aggiunta ai precedenti, come spiegato al punto 2.1). La ricerca della configurazione ottimale prevede attraverso la simulazione di alcune misure di efficienza energetica, ivi compreso il caso definito come “ottimale”. Lo scopo è verificare l’eventuale deviazione tra il modello semplificato UNI/TS 11300 ed il modello dinamico nell’individuazione delle soluzioni ottimali.

Ad ognuna di queste attività è dedicato di seguito un report all’interno del quale si riporta il lavoro svolto e si illustrano i risultati ottenuti.

2.1 Descrizione degli edifici di riferimento e degli interventi di riqualificazione

Ai fini della metodologia di calcolo del livello ottimale in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica, così come richiesto all'allegato III della Direttiva 2010/31/UE [1] e all'allegato I del Regolamento delegato (UE) N. 244/2012 della commissione del 16 gennaio 2012 [2], 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 virtuali (archetipi), vale a dire rappresentativi di una data categoria ma non comunque realmente esistenti [29-33].

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, e adattare anche 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»), *ASIEPI* ed *EPISCOPE*.

TABULA 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 *ASIEPI (Assessment and Improvement of the EPBD Impact)* si è posto l'obiettivo di sviluppare e testare uno strumento di comparazione tra gli Stati Membri circa l'applicazione delle prescrizioni energetiche minime introdotte con la EPBD. Il progetto ha raccolto un campione di edifici residenziali di riferimento ed ha ideato una metodologia di comparazione dei livelli richiesti di prestazioni energetiche, nonché uno strumento Excel di ausilio.

Il progetto europeo *EPISCOPE (Energy Performance Indicator Tracking Schemes for the Continuous Optimisation of Refurbishment Processes in European Housing Stocks)* è stato lanciato nel mese di aprile 2013 come follow-up del progetto *TABULA*. 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 è quello di rendere i processi di riqualificazione energetica nel settore immobiliare europeo più trasparenti ed efficaci 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 di appartamenti/multifamiliari;
- edifici 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).

Per l'applicazione italiana si è quindi optato per la definizione di edifici virtuali (due nuovi e due esistenti di diverse epoche), situati in due zone climatiche (B ed E, ai sensi del D.P.R. 412/93, si veda a tal proposito l'Allegato D), per quattro tipologie edilizie (abitazione monofamiliare, piccolo condominio, grande condominio, edificio ad uso ufficio), per un totale di 32 edifici di riferimento.

Come banca dati si è fatto riferimento al progetto *TABULA* per gli edifici residenziali della zona climatica E, mentre per gli edifici ad uso ufficio si sono utilizzate tipologie definite da ENEA. I nuovi edifici di riferimento in aggiunta a quelli già analizzati per la precedente attività [38] sono stati definiti utilizzando anche dati di altri Progetti come ad esempio *TABULA-EPISCOPE*, e da banche dati ENEA.

La classificazione dei sistemi impiantistici è effettuata sulla base dei dati dell'indagine *CRESME* 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, sono state individuate le tipologie degli edifici residenziali e terziario uso uffici, per le zone climatiche B ed E, nuovi ed esistenti, riportate in Tabella 2.1.

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

| CATEGORIE DI RIFERIMENTO | | NUMERO EDIFICI | ZONE CLIMATICHE | | NUMERO DI MODELLI | |
|------------------------------------|----------|----------------|-----------------|---|-------------------|-----------|
| | | | B | E | NUOVI | ESISTENTI |
| Abitazione monofamiliare esistente | virtuale | 2 | 1 | 1 | - | 4 |
| Abitazione monofamiliari nuova | virtuale | 2 | 2 | 2 | 4 | - |
| Piccolo condominio esistente | virtuale | 2 | 1 | 1 | - | 4 |
| Piccolo condominio nuovo | virtuale | 2 | 2 | 2 | 4 | - |
| Grande condominio esistente | virtuale | 2 | 1 | 1 | - | 4 |
| Grande condominio nuovo | virtuale | 2 | 2 | 2 | 4 | - |
| Edificio ad uso ufficio esistente | virtuale | 2 | 1 | 1 | - | 4 |
| Edificio ad uso ufficio nuovo | virtuale | 2 | 2 | 2 | 4 | - |
| RESIDENZIALE | | | | | 12 | 12 |
| TOTALE RESIDENZIALE | | | | | 24 | |
| UFFICI | | | | | 4 | 4 |
| TOTALE UFFICI | | | | | 8 | |
| TOTALE NUOVI/ESISTENTI | | | | | 16 | 16 |
| TOTALE | | | | | 32 | |

2.1.1 Edifici residenziali esistenti

A titolo di esempio si riporta in Figura 2.11 la matrice della Tipologia Edilizia della zona climatica E italiana elaborata dal Politecnico di Torino nell'ambito del progetto TABULA; tra questi, gli edifici selezionati per il presente lavoro sono descritti nell'Allegato D sottoforma di schede.

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 (trasmissionze termiche) ed impiantistico (potenze installate e rendimenti) per adattare al differente contesto climatico. La definizione degli elementi d'involucro e dei valori di trasmittanza termica post-intervento in funzione delle zone climatiche è riportata negli Allegati B e C della precedente attività ENEA [38].

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

Figura 2.1 Matrice della Tipologia Edilizia della zona climatica E italiana (tratto dalla Building Typology Brochure – Italy, prog. TABULA).

2.1.2 Edifici residenziali nuovi

Coerentemente con le scelte effettuate per gli edifici residenziali esistenti, i modelli di riferimento per gli edifici residenziali nuovi *NO* già definiti nella precedente attività riguardano le seguenti tipologie:

- A. monofamiliare costituito da un unico piano;
- B. piccolo condominio di 3 piani, con 6 unità abitative;
- C. grande condominio di 8 piani, con 24 unità abitative.

Tali edifici hanno la forma di un parallelepipedo regolare e sono dotati di sottotetto (non riscaldato), con tetto isolato, e poggiano su di un locale non climatizzato (ad esempio un garage).

Per ogni tipologia edilizia è stato individuato un primo edificio nuovo, che per geometria è il medesimo per entrambe le zone climatiche B ed E, ma che per caratteristiche del sistema edilizio (trasmittanze termiche) ed impiantistico (potenze installate e rendimenti) è differente in funzione del contesto climatico. Nella costruzione delle stratigrafie dell'involucro edilizio, sono stati rispettati i limiti di legge relativi alle trasmittanze dei pacchetti di involucro opaco orizzontale e verticale, nonché dei serramenti.

Le caratteristiche dimensionali e la definizione dei sistemi edilizio ed impiantistico degli edifici sono riportate in Allegato D sottoforma di schede, mentre l'analisi delle strutture edilizie ed i valori di trasmittanza termica post-intervento associati sono riportati in Allegato B e C della precedente attività ENEA [38].

La Tabella 2.2 seguente riassume le fonti da cui sono stati estratti i dati inseriti nelle schede degli edifici di riferimento nuovi *N1*, che si ricorda essere in aggiunta ai precedenti casi studio analizzati.

Tabella 2.2 Banche dati per la definizione degli edifici residenziali nuovi N1 per l'applicazione della metodologia *cost-optimal* al caso italiano.

| | Edificio | Geometria | Stratigrafie | Impianto riscaldamento e ACS | Impianto raffrescamento |
|--------------|----------|-----------|-----------------|------------------------------|-------------------------|
| residenziali | RMF_N1_E | EPISCOPE | EPISCOPE o ENEA | EPISCOPE | EPISCOPE |
| | RMF_N1_B | | EPISCOPE o ENEA | EPISCOPE | EPISCOPE |
| | RPC_N1_E | EPISCOPE | EPISCOPE o ENEA | EPISCOPE | EPISCOPE |
| | RPC_N1_E | | EPISCOPE o ENEA | EPISCOPE | EPISCOPE |
| | RGC_N1_E | EPISCOPE | EPISCOPE o ENEA | EPISCOPE | EPISCOPE |
| | RGC_N1_E | | EPISCOPE o ENEA | EPISCOPE | EPISCOPE |

2.1.3 Edifici ad uso ufficio esistenti

I modelli riguardano le due seguenti tipologie di edifici, caratterizzate da una diversa distribuzione degli spazi interni e differenti metrature:

- A. edificio ad uso ufficio di 2 piani;
- B. edificio ad uso ufficio di 5 piani.

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 per ENEA e dai risultati del Progetto BEEPS1 [24].

L'edificio ad uso ufficio di 2 piani è stato definito secondo la tipologia di edificio per uffici con struttura in cemento armato e tamponatura in muratura, che ha prevalso nella maggior parte delle epoche di costruzione, in particolare fino agli anni '70 del XX° secolo.

L'edificio ad uso ufficio di 5 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. Tale tipologia di edificio può essere presa a riferimento anche per quelli di nuova costruzione.

Analogamente agli edifici residenziali, anche nel caso di edifici ad uso ufficio esistenti è stata mantenuta la medesima struttura edilizia per le zone climatiche B ed E, ma il sistema edilizio ed impiantistico sono stati definiti diversamente a seconda delle due differenti condizioni climatiche. Per le caratteristiche si rimanda alle schede riportate in Allegato D.

2.1.4 Edifici ad uso ufficio nuovi

Come detto in precedenza, la tipologia di edificio utilizzata per l'esistente post anni '70 e contraddistinta da una struttura in cemento armato alternata ad ampie superfici vetrate, è da considerarsi anche come modello principale degli edifici ad uso ufficio di nuova costruzione *NO*.

Analogamente agli edifici residenziali, anche nel caso di edifici ad uso ufficio nuovi è stata mantenuta la medesima struttura edilizia per le zone climatiche B ed E, ma il sistema edilizio ed impiantistico sono stati definiti diversamente a seconda delle due differenti condizioni climatiche. Per le caratteristiche si rimanda alle schede riportate in Allegato D.

La Tabella 2.3 seguente riassume le fonti da cui sono stati estratti i dati inseriti nelle schede degli edifici di riferimento nuovi *N1*, che si ricorda essere in aggiunta ai precedenti casi studio analizzati. Gli edifici nuovi *N1* ad uso ufficio hanno le medesime caratteristiche di forma e dimensione dell'ufficio *NO*, ma la superficie vetrata è stata ampliata. Si rimanda alle schede in Allegato D per maggiori dettagli.

Tabella 2.3 Banche dati per la definizione degli edifici ad uso ufficio nuovi N1 per l'applicazione della metodologia *cost-optimal* al caso italiano.

| | Edificio | Geometria | Stratigrafie | Impianto riscaldamento e ACS | Impianto raffrescamento |
|--------|----------|-----------|--------------|------------------------------|-------------------------|
| uffici | UFF_N1_E | ENEA | ENEA | ENEA | ENEA |
| | UFF_N1_B | ENEA | ENEA | ENEA | ENEA |

2.2 Strumenti di calcolo per l'applicazione della Cost Optimal Methodology al caso italiano

2.2.1 Calcolo dei fabbisogni di energia

L'obiettivo della procedura di calcolo è quello di determinare il fabbisogno globale annuo di energia in termini di energia primaria, che include il fabbisogno di energia a fini riscaldamento, raffreddamento, ventilazione, acqua calda e illuminazione. Possono essere inclusi l'energia elettrica per gli elettrodomestici e i carichi per presa di corrente, ma non si tratta di una disposizione obbligatoria.

Si raccomanda agli Stati Membri di utilizzare le norme CEN per i calcoli della prestazione energetica. La procedura comprende le seguenti fasi [9-11]:

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 raffreddamento 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 fornita per ciascun vettore di energia come somma dei consumi di energia (non coperta dall'energia da fonti rinnovabili);
 6. calcolo dell'energia primaria associata all'energia fornita (*delivered*) e all'energia esportata verso il mercato (*exported*), ad esempio generata da sorgenti rinnovabili o da cogeneratori in situ, utilizzando i fattori nazionali di conversione;
 7. calcolo dell'energia primaria netta come differenza tra quella associata all'energia fornita e quella associata all'energia esportata.

A livello l'esigenza di un riferimento nazionale coordinato ed univoco a livello nazionale ha dato luogo allo sviluppo del pacchetto di specifiche tecniche UNI/TS 11300 composto di quattro parti.

- UNI/TS 11300-1:2014 "Prestazioni energetiche degli edifici - Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva e invernale"
- UNI/TS 11300-2:2014 "Prestazioni energetiche degli edifici - Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva"
- UNI/TS 11300-3:2010 "Prestazioni energetiche degli edifici - Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva"
- UNI/TS 11300-4:2012 "Prestazioni energetiche degli edifici - Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria"

Per ognuna delle specifiche tecniche sono stati predisposti uno o più fogli di calcolo in formato Excel di tipo user friendly in grado di calcolare i vari fabbisogni energetici a seconda dei dati in ingresso inseriti per singolo edificio. Essendo la metodologia di calcolo del fabbisogno di energia primaria dell'edificio, i fogli di calcolo sono tra loro collegati, in modo che l'output di uno divenga l'input del successivo, a partire dal foglio UNI/TS 11300-1. Di seguito si fornisce l'elenco dei fogli di calcolo creati e per le parti 1 e 2 si riportano le variazioni apportate a seguito dell'aggiornamento normativo recentemente avvenuto.

- UNI/TS 11300-1
- UNI/TS 11300-2
- UNI/TS 11300-3
- UNI/TS 11300-4_Solare termico
- UNI/TS 11300-4_Solare FV
- UNI/TS 11300-4_Pompa di calore

MODIFICHE APPORTATE AL FOGLIO DI CALCOLO 11300-1 PER IL RECEPIMENTO DELLA REVISIONE 2014.

Dati climatici

I valori delle temperature medie mensili e dell'irraggiamento medio mensile diretto e diffuso sul piano orizzontale sono stati presi dalla nuova versione della norma UNI 10375. I valori per le varie esposizioni sono stati ricavati seguendo la metodologia della normativa. Per i valori utilizzati si rimanda all'Allegato B.

In caso di frazioni di mese, i valori di temperatura e di irradianza solare si ricavano con riferimento al giorno centrale di ciascuna frazione, per interpolazione lineare tra i valori medi mensili adiacenti, assumendo come valori del giorno centrale del mese quelli riportati nella UNI 10349.

Stagione di riscaldamento e raffrescamento

Il primo e l'ultimo giorno di riscaldamento sono calcolati secondo il metodo b, punto 7.4.1.1 della norma UNI EN ISO 13790:2008, come i giorni il cui il rapporto adimensionale apporti/dispersioni γ raggiunge il suo valore limite. γ è calcolato in relazione al parametro a_H dipendente dalla costante di tempo termica, ovvero dalla capacità termica interna e dal coefficiente globale di scambio termico. Allo stesso modo, il primo e l'ultimo giorno di climatizzazione si calcolano in funzione del parametro adimensionale a_C .

In caso di valutazioni di progetto o standard, la durata della stagione, limitatamente al riscaldamento, è comunque definita in funzione della zona climatica in relazione ai gradi giorno della località, come accade già nella versione precedente.

Ponti termici

Per gli edifici esistenti non è possibile considerare un valore forfettario del ponte termico, ma è ammesso l'utilizzo del metodo di calcolo manuale previsto dalla UNI EN ISO 14683:2008 in aggiunta al calcolo numerico secondo la UNI EN ISO 10211 oppure atlanti di ponti termici contenuti nella UNI EN ISO 14683. Per il presente lavoro i ponti termici sono stati valutati utilizzando un abaco dei ponti termici [34]. Per approfondimenti si rimanda all'Allegato C.

Ventilazione

La nuova versione della UNI/TS 11300-2 definisce la portata di ventilazione come somma di due componenti, una dovuta alla presenza di persone, l'altra legata alla dimensione della superficie del locale considerato, in continuità con lo standard americano ASHRAE 62.1.

Per edifici residenziali (E.1) e industriali (E.8) è ammesso il calcolo della portata di ventilazione facendo riferimento esclusivamente ad un tasso di ventilazione oraria minimo espresso in volumi/ora.

In caso di ventilazione naturale in edifici residenziali la portata minima di progetto è $q_{ve,0}$ è calcolata considerando un tasso di ventilazione orario di $0,5 \text{ h}^{-1}$; in caso di uffici il valore è legato al numero di persone e al tasso di ricambio correlato: le simulazioni sono state condotte ipotizzando uffici singoli, per i quali si considerano 0,06 persone al metro quadrato di area di pavimento e la portata specifica di aria esterna per persona è stata presa pari a $0,011 \text{ m}^3/\text{s}$ per persona. Il fattore di correzione $f_{ve,t,k}$ della portata minima di progetto, è stato preso pari a 0,6 in caso di edifici residenziali e 0,59 in caso di uffici.

In caso di ventilazione meccanica, la portata è correlata al tasso di ricambio d'aria risultante da una differenza di pressione di 50 Pa tra interno ed esterno n_{50} , preso pari a 4 h^{-1} per edifici multifamiliari ed uffici, e 7 per edifici monofamiliari. Parimenti, la frazione temporale di calcolo con ventilazione meccanica funzionante è stato preso pari a 1 per edifici monofamiliari e multifamiliari, e 0,3 per uffici.

Sono stati considerati inoltre il coefficiente di esposizione al vento e pari a 0,07, ed f pari a 15. Il fattore di efficienza della regolazione dell'impianto di ventilazione meccanica è stato posto pari a 0,7.

In caso di presenza di recuperatore di calore, questo viene conteggiato attraverso la sua efficienza $\eta_{hru,eff}$; in tal caso il fattore di correzione della temperatura b_{ve} risulta pari a $(1-\eta_{hru,eff})$.

L'efficienza convenzionale di ventilazione è stata presa pari a 0,8, mentre i coefficienti correttivi C_1 e C_2 pari a 1.

Apporti interni sensibili

Il valore degli apporti termici sensibili interni aumenta rispetto alla versione precedente della norma: cambia l'espressione di calcolo per edifici residenziali di categoria E.1(1) ed E.1(2) e cambia il valore limite di superficie oltre il quale l'apporto è considerato in modo forfetario.

Per superficie utile di pavimento A_f superiore a 120 m^2 il valore degli apporti interni è forfetario (450 W). Per valori di A_f inferiori a 120 m^2 , cambia l'espressione adottata per il calcolo.

Sono stati implementati all'interno del foglio di calcolo i nuovi valori e formule per il calcolo del flusso termico prodotto dalle sorgenti interne, in funzione della destinazione d'uso.

Apporti interni latenti

È stata calcolata la portata massica di vapore d'acqua prodotto dagli occupanti per singola zona termica, espressa in [g/h]. In caso di valutazione standard, per edifici residenziali questa è pari a 250 g/h, mentre per gli edifici ad uso ufficio è pari a $(6 \times 10^{-3} \times A_{\text{floor}})$ g/h.

Apporti solari attraverso i componenti opachi

Gli apporti solari attraverso i componenti opachi sono stati valutati come riduzione dello scambio per trasmissione invece che come apporto interno (procedura utilizzata nella UNI EN ISO 13790). Il valore, identificato dalla sigla $Q_{\text{sol,op}}$ si sottrae allo scambio di energia termica per trasmissione sia nel caso di riscaldamento che nel caso di raffrescamento.

Apporti solari attraverso i componenti trasparenti

Si adottato una tipologia di schermatura solare esterna caratterizzata da prestazioni energetiche differenti per la zona climatica B ed E; in entrambi i casi si valuta la doppia opzione a lamelle fisse o mobili. si riportano di seguito in Tabella 2.4 i casi considerati.

Tabella 2.4 Caratteristiche delle schermature solari utilizzate per l'applicazione della metodologia *cost-optimal* al caso italiano.

| LAMELLE | Zona climatica B | | Zona climatica E | |
|----------------|------------------|--------|------------------|--------|
| | Fisse | Mobili | Fisse | Mobili |
| α_s [-] | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| ρ_s [-] | 0,6 | 0,6 | 0,4 | 0,4 |
| τ_s [-] | 0,2 | 0,2 | 0,4 | 0,4 |

In caso di schermature solari con lamelle fisse, si considera un fattore $f_{\text{sh,with}}$ pari a 1, a significare che la schermatura è costantemente utilizzata; in caso di lamelle mobili il fattore $f_{\text{sh,with}}$ viene calcolato in accordo con la UNI/TS 11300-1 e lo schermo si considera utilizzato quindi in caso di irradianza incidente sul componente maggiore di 300 W/m^2 .

I serramenti utilizzati nel processo di ottimizzazione sono caratterizzati da un valore di trasmittanza termica differente per la zona climatica B ed E; per ogni zona sono inoltre stati considerati cinque livelli di prestazione. Di seguito in Tabella 2.5 si riportano le caratteristiche dei serramenti proposti.

Tabella 2.5 Caratteristiche dei componenti vetrati utilizzati per l'applicazione della metodologia *cost-optimal* al caso italiano.

| | Zona climatica B | | | | | Zona climatica E | | | | |
|-------------------------------|------------------|--------|--------|--------------|--------------|------------------|--------|--------------|--------------|--------------|
| U_w [W/m ² K] | 5,80 | 3,00 | 2,60 | 2,20 | 1,80 | 5,00 | 2,20 | 1,90 | 1,06 | 1,30 |
| Tipologia di vetro | singolo | doppio | doppio | doppio low-e | triplo low-e | singolo | doppio | doppio low-e | triplo low-e | triplo low-e |
| $g_{gl,n}$ [-] | 0,85 | 0,75 | 0,75 | 0,67 | 0,50 | 0,85 | 0,75 | 0,67 | 0,50 | 0,50 |

Extra flusso termico per radiazione infrarossa verso la volta celeste

Il calcolo dell'extra-flusso termico verso la volta celeste risulta più di dettaglio nella nuova versione. Si passa dal considerare una differenza di temperatura prefissata tra l'aria esterna e quella apparente del cielo (11 K) ad un valore di temperatura variabile con la temperatura dell'aria esterna e con la pressione parziale del vapore d'acqua media nel mese considerato.

Il coefficiente di scambio termico esterno per irraggiamento diventa dipendente non solo dall'emissività ma anche dalla temperatura esterna e di quella equivalente della volta celeste.

MODIFICHE APPORTATE AL FOGLIO DI CALCOLO 11300-2 PER IL RECEPIMENTO DELLA REVISIONE 2014.

Fabbisogno ideale netto di energia termica

Il fabbisogno ideale netto di energia termica si calcola come fabbisogno di energia termica ideale (da UNI TS 11300-1) meno le perdite del servizio di acqua calda sanitaria. Nella vecchia versione solo le perdite attraverso il serbatoio di accumulo erano decurtate. La nuova versione tiene in considerazione anche le perdite del sottosistema di distribuzione relative al servizio ACS, così come descritto successivamente in questo documento.

Sottosistema di emissione

Nel caso di radiatori su parete esterna isolata e di pannelli annegati a pavimento, i rendimenti di emissione sono stati aggiornati in funzione della nuova versione della norma.

Altra criticità affrontata è quella delle dispersioni dei pannelli radianti annegati a soffitto e a pavimento in strutture disperdenti verso ambienti non climatizzati o l'esterno. Per queste strutture si calcola un fattore correttivo f_i , dipendente dalla trasmittanza dei due lati della struttura che ospita il pannello radiante. Tale fattore correttivo viene normalizzato sulla potenza nominale dei pannelli installati, ed in seguito moltiplicato per il rendimento di emissione del pannello radiante.

Sottosistema di regolazione

I valori del rendimento del sottosistema di regolazione sono stati aggiornati in funzione della nuova versione della norma. In particolare,

- nel caso di regolazione 15.1 (solo climatica) → il rendimento varia mensilmente in funzione di γ ed η da 11300-1;
- nel caso di regolazione 15.2 (regolazione di zona) → il rendimento è pari a 0,97;
- nel caso di regolazione 15.3 (regolazione singolo ambiente) → il rendimento è pari a 0,995.

Sottosistema di distribuzione

I valori tabellari del rendimento del sottosistema di distribuzione differiscono rispetto alla versione precedente e sono aumentati i casi di installazione di impianti presi in considerazione dalla norma.

Cambia inoltre il fattore di correzione del rendimento di distribuzione; i tre valori riportati nella vecchia versione sono sostituiti da 33 valori che variano in funzione della temperatura di mandata e di ritorno di progetto, della Δt di progetto corrispondente, della temperatura media stagionale e della tipologia di impianto. Ogni rendimento di distribuzione, relativo ad un tratto di distribuzione, deve essere opportunamente corretto dal fattore di correzione corrispondente.

Nel caso particolare del presente lavoro, si è proceduto come segue:

- nel caso di impianto con radiatori → fattore correttivo pari a 0,92
- nel caso di impianto con ventilconvettori → fattore correttivo pari a 0,77
- nel caso di impianto con pannelli radianti → fattore correttivo pari a 0,51

Acqua calda sanitaria

Il calcolo del fabbisogno termico per acqua calda sanitaria resta identico nella nuova versione, ma la temperatura di ingresso dell'acqua fredda di acquedotto θ_0 è calcolata come media annuale delle temperature medie mensili dell'aria esterna della località considerata ricavate dalla UNI 10349:2013 (prima si assumeva una temperatura di 15°C in caso di assenza di informazioni dall'ente comunale).

Il fabbisogno in volume di ACS per usi residenziali diventa $V_w = a \cdot S_u + b$. La nuova versione aggiunge quindi un quantitativo "b" di litri/giorno al fabbisogno calcolato secondo la vecchia versione. Cambia anche il valore del parametro "a" come si vede nel prospetto 30.

Per usi diversi dal residenziale il fabbisogno di volume non aumenta e si calcola sempre allo stesso modo. Nel caso particolare di edifici destinati ad ufficio, il fabbisogno specifico giornaliero è pari a 0,2 litri/giorno per la superficie netta climatizzata.

Il rendimento di erogazione si considera pari a 1 anziché 0,95 come nella versione precedente della norma.

Il calcolo delle perdite della rete di distribuzione devono essere calcolate in maniera dettagliata, considerando lunghezza e diametro delle tubazioni. In assenza di tali informazioni, e solo nei casi di impianti esistenti privi di ricircolo, le perdite del sottosistema di distribuzione possono essere calcolate moltiplicando la somma di Q_w e $Q_{i,w,r}$ per il fattore di perdita della rete, fornito dal prospetto 34, come per la precedente versione della norma. In aggiunta, nel prospetto 34 si forniscono valori per sistemi installati dopo la legge 373/76 con rete di distribuzione corrente totalmente in ambiente climatizzato. Tale opzione è stata utilizzata nel presente lavoro per i casi di edifici di nuova costruzione.

Le perdite recuperate si calcolano applicando il fattore di recupero delle perdite soltanto al valore delle perdite del sottosistema di erogazione. Nella vecchia versione della norma lo stesso coefficiente si applica al valore delle perdite globali del sottosistema di distribuzione appena calcolato.

Come sopra specificato, tali recuperi riducono il fabbisogno di energia termica utile $Q_{H,nd}$ e non vanno quindi più in detrazione al fabbisogno di energia per ACS.

I CONSUMI ENERGETICI PER ILLUMINAZIONE

Ai fini della *cost-optimal methodology* per gli edifici ad uso ufficio è inoltre necessario considerare i consumi (e quindi anche opere di riqualificazione energetica) per illuminazione. Le 4 soluzioni testate sono le seguenti e non sono state modificate rispetto alla precedente attività ENEA:

- Soluzione (1) T5 senza regolazione
- Soluzione (2) T5 con regolazione base

- Soluzione (3) LED Standard senza regolazione
- Soluzione (4) LED PLUS con regolazione avanzata.

Per la determinazione del fabbisogno di energia è stato definito un foglio di calcolo basato sulla valutazione del *LENI* secondo la normativa tecnica di riferimento [15].

| DATI DI INPUT | | EEM | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
|---------------|---|------|------|------|------|------|------|------------------|
| variabili | fattore di incremento della potenza installata (a) | | 1 | 1 | 1 | 1 | | |
| | Densità della potenza di illuminazione installata nell'edificio (W/m ²) | PN | 13 | 13 | 4,7 | 4,6 | | |
| | Fattore di dipendenza dal daylight F_D | FD | 1 | 0,9 | 1 | 0,9 | | |
| | Fattore di dipendenza dall'occupazione (fattore di presenza) F_O | FO | 1 | 0,9 | 1 | 0,8 | | |
| | Fattore di illuminamento costante F_C | FC | 1 | 0,9 | 1 | 0,9 | | |
| costanti | Ore di funzionamento durante il periodo di disponibilità del daylight (h) | TD | 2250 | 2250 | 2250 | 2250 | | |
| | Ore di funzionamento durante il periodo di non disponibilità del daylight (h) | TN | 250 | 250 | 250 | 250 | | |
| | Ore totali annuali (h) | TY | 8760 | 8760 | 8760 | 8760 | | |
| OUT | indicatore numerico di energia per illuminazione (kWh/m ² anno) | LENI | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | TOT (kWh/m2anno) |
| | | | | | | | 0,00 | TOT (kWh/anno) |

Figura 2.2 Schermata di sunto del calcolo del fabbisogno di energia elettrica per illuminazione degli edifici ad uso ufficio.

2.2.2 Calcolo del costo globale

Il Regolamento prescrive che i calcoli economici siano effettuati in accordo con la norma UNI EN 15459 [9]. Tale norma distingue tra due metodologie di calcolo: costo globale (*global cost*) e rendita finanziaria (*annuity cost*); il Regolamento prescrive di seguire la metodologia del costo globale.

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, 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, ridotti a 20 per gli edifici adibiti ad uffici. Nell'applicazione "italiana" della *cost-optimal methodology*, in ossequio alle Linee guida, l'anno di partenza per il calcolo è stato fissato nell'anno in corso; pertanto, si assume che nel 2012 venga completata la realizzazione o la ristrutturazione dell'edificio e a partire dal 2013 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 2.3.

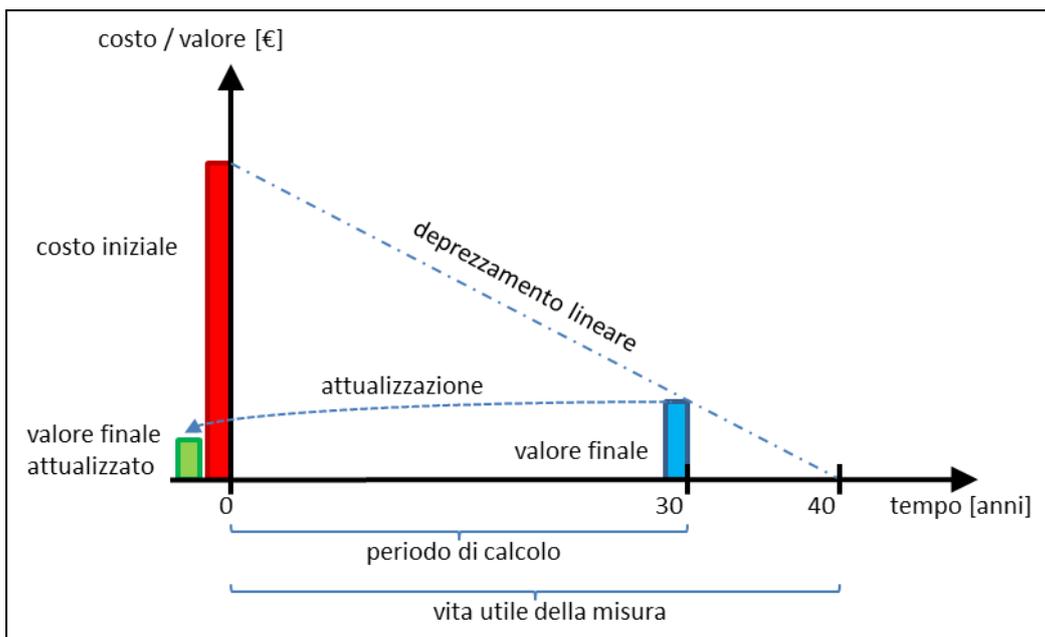


Figura 2.3 Esempio grafico di valutazione del valore finale di una misura.

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 2.4. 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.

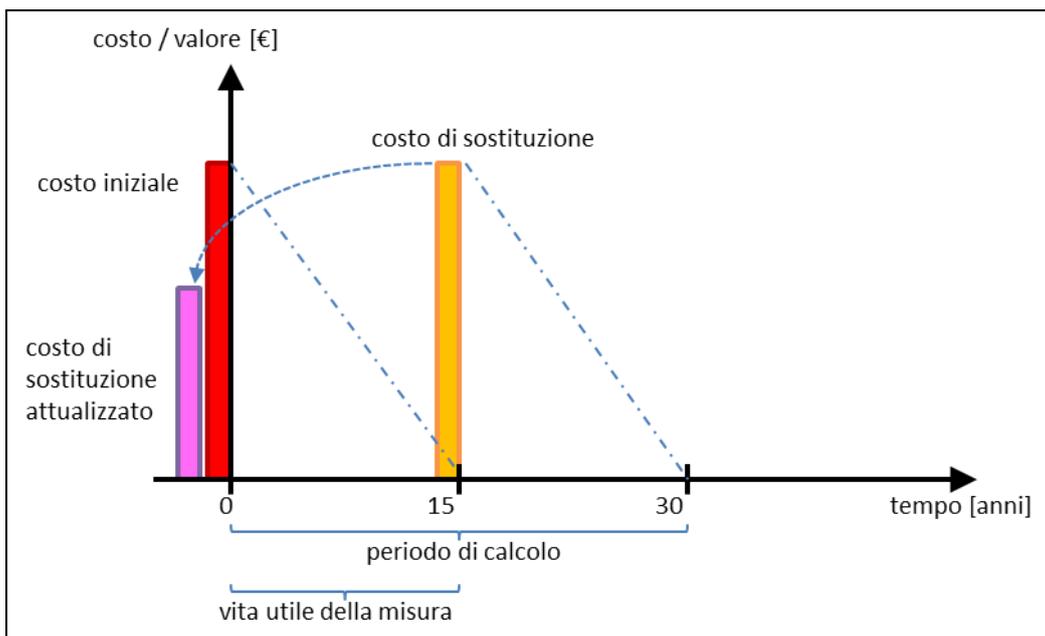


Figura 2.4 Esempio grafico di valutazione del costo di sostituzione di una misura.

In Figura 2.5 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 situazioni 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 2.6). 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.

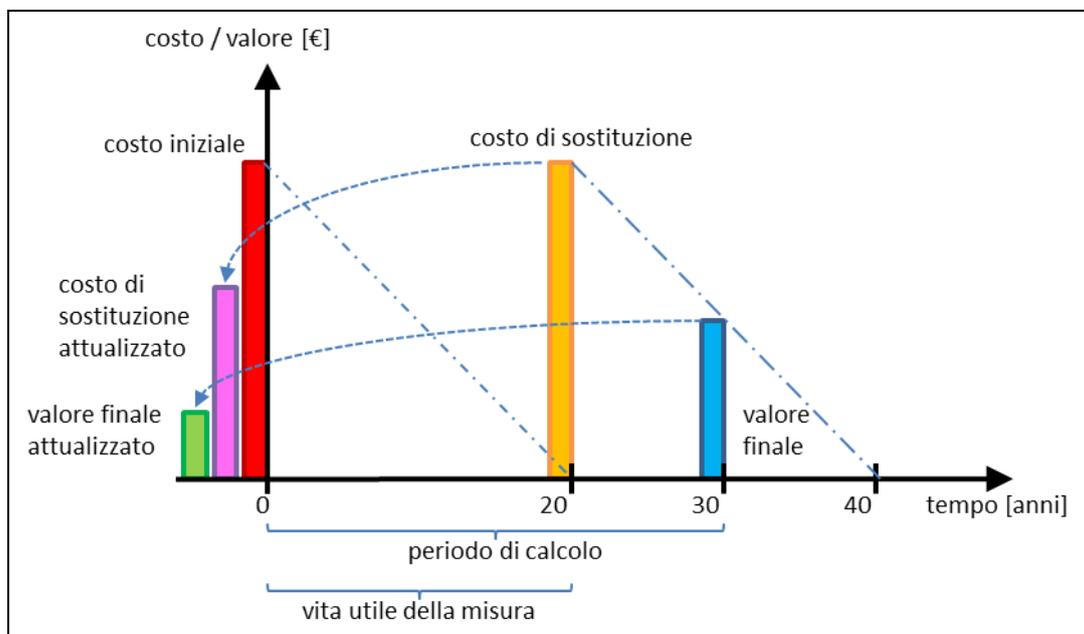


Figura 2.5 Esempio grafico di valutazione del valore finale nel caso di sostituzione di una misura.

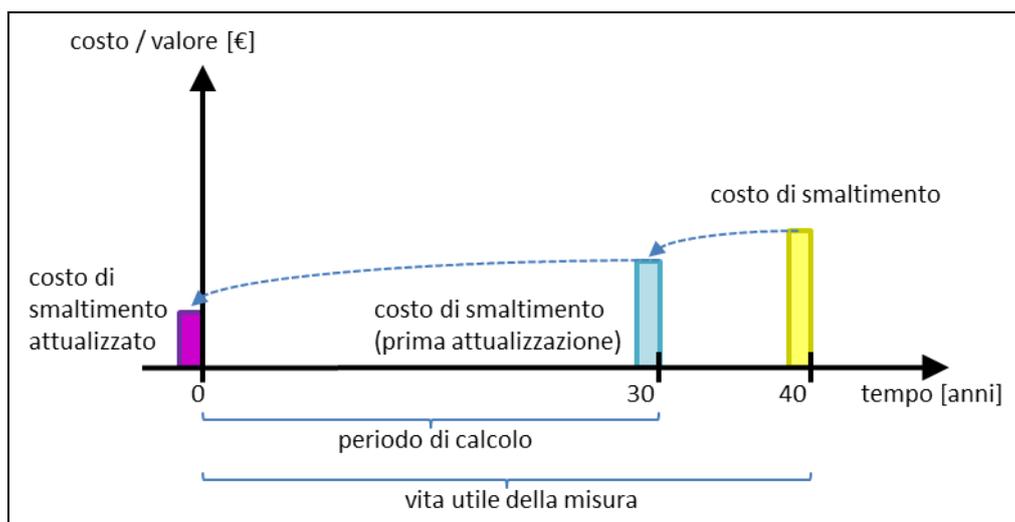


Figura 2.6 Esempio grafico di attualizzazione del costo di smaltimento.

Voci di costo

Lo schema generale delle voci di costo indicato nel Regolamento è mostrato nella Figura 2.7. 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 rilevano 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 misure 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.

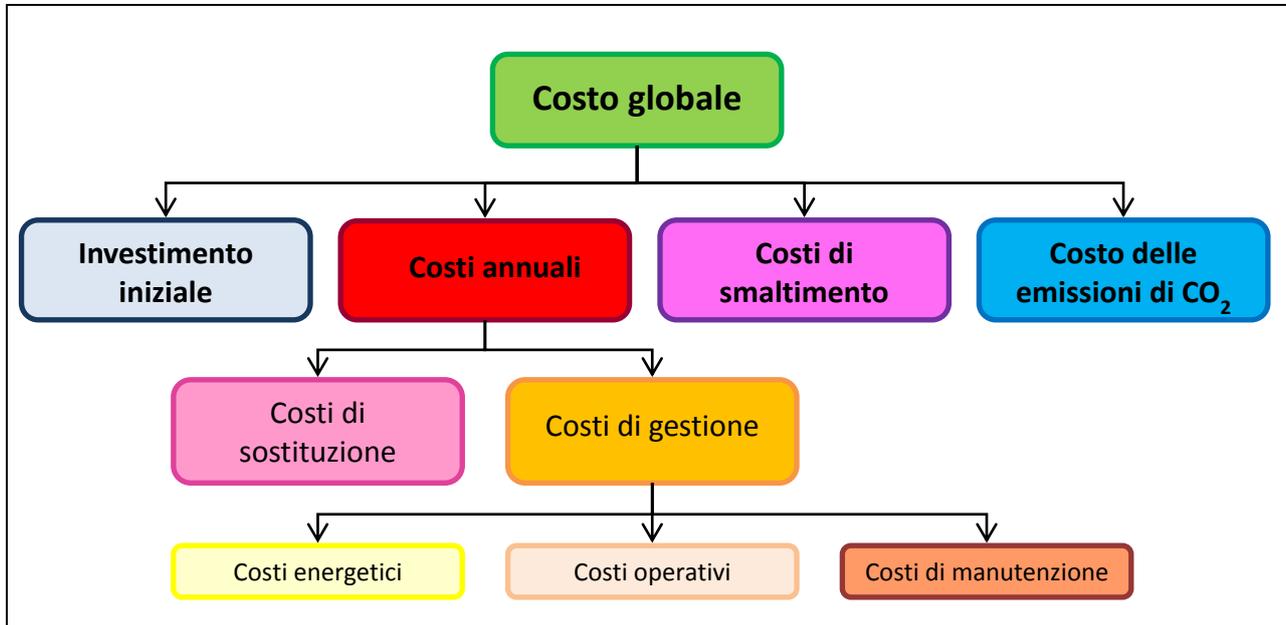


Figura 2.7 Schema delle categorie di costi (fonte: *Linee guida*).

Si noti che questa classificazione si discosta leggermente da quella comunemente utilizzata nelle valutazioni di tipo *lifecycle cost*. (ad esempio la norma ISO 15686-5:2008).

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.

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 *Regolamento* richiede di effettuare il calcolo in entrambi i casi e solo alla fine di scegliere con quale prospettiva completare le verifiche.

Infine per entrambe le prospettive il *Regolamento* richiede che venga fatta un'analisi di sensitività (Capitolo 2.3.6), in cui debbono essere testati almeno due tassi di attualizzazione. Il gruppo di lavoro ha deciso di utilizzare i tassi indicati nella Tabella 2.6.

Tabella 2.6 Tassi di attualizzazione utilizzati

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

2.3 Metodologia di ottimizzazione: descrizione e applicazione ad edifici di riferimento italiani ed analisi di sensibilità della metodologia cost optimal per gli edifici residenziali ed a uso uffici

Per l'applicazione della procedura di ottimizzazione è necessario definire:

- le misure di efficienza energetica e le opzioni di risparmio energetico;
- i costi degli interventi.

2.3.1 Le misure di efficienza energetica e le opzioni di risparmio energetico

In base alla Direttiva 2010/31/UE 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; inoltre 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.

L'elenco degli interventi di riqualificazione energetica considerati all'interno della metodologia comparativa sono stati suddivisi in diverse categorie, a seconda della tipologia edilizia di volta in volta considerata: edifici residenziali esistenti, edifici residenziali nuovi, edifici ad uso ufficio esistenti, edifici ad uso ufficio nuovi, e non sono stati modificati rispetto alla precedente attività ENEA [38].

In merito a ciascuna categoria, per ogni intervento considerato, si è utilizzata una scala di valori su più livelli, dei quali il secondo rappresenta la conformità alle attuali prescrizioni energetiche in vigore, il primo è peggiorativo, gli altri migliorativi. Se si prende per esempio in considerazione un intervento di riqualificazione energetica dell'involucro edilizio, il primo livello considera un valore di trasmittanza termica superiore a quanto prescritto dall'Allegato C del D.Lgs. 192/05, il secondo livello esattamente quello previsto dalla legislazione per la zona climatica considerata, i successivi livelli considerano soluzioni migliorative.

Tabella 2.7 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate.

| n. | EEM | Parameter id. | Symbol | N MAX ⁽¹⁾ |
|----|---|---|----------------------|-------------------------|
| 1 | External wall thermal insulation (EIFS-EW): exterior insulation finishing system (cappotto) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 5 |
| 2 | External wall thermal insulation (CWI-EW): Cavity wall insulation (insufflazione) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 5 |
| 3 | Roof thermal insulation (INS-R) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _r | 5 |
| 4 | Floor thermal insulation (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | 5 |
| 5 | Window thermal insulation (INS-W) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 5 |
| 6 | Solar shading systems (SHAD) | Fattore di trasmissione solare | t _{sh} | 2 |
| 7 | High efficiency chiller (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 5 |
| 8 | Efficiency Heat Generator System (GHS) | Rendimento di generazione | η _{gn} | 5 |
| 9 | High efficiency systems for DHW (HES-DHW) | Rendimento del sistema al 100% del carico | η _{gn,Pn,W} | 2 |
| 10 | Efficiency Heat Generator System for heating and hot water | Rendimento di generazione | η _{gn} | 5 |
| 11 | Heat pump for heating, cooling and hot water | Coefficiente di prestazione | COP | 3 |
| | | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3 |
| 12 | Thermal solar systems (SOL) | m ² di collettori solari | m ² | 3 |
| 13 | PV system (PV) | Potenza di picco installata | kWp | 4 |
| 14 | Energy recovery ventilation system (ERVS) | Rendimento del recuperatore di calore | η _r | 3 |
| 15 | Improving Control System (ICS) | Rendimento di regolazione e controllo | η _{ctr} | 3 |
| 16 | Lighting power density (LPD) | Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²) | PN | 4 |
| 17 | Lighting control systems (LCS) | Fattore di dipendenza dall'occupazione | F _O | 4 |
| | | Fattore di dipendenza dal daylight | F _D | 4 |
| | | Fattore di illuminamento costante | F _C | 4 |

Tabella 2.8 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio monofamiliare, nuovo.

| Tipologia: Edificio Monofamiliare | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---|---|----------------------|---|-------------------|------|-------|-----|-----|
| Epoca: NUOVO | | | | | | | | | |
| n. | EEM | Parameter id. | Symbol | N | Level of EEM | | | | |
| | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | External wall thermal insulation (EIFS-EW): exterior insulation finishing system (cappotto) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 5 | VEDI Tabella 2.20 | | | | |
| 2 | External wall thermal insulation (CWI-EW): Cavity wall insulation (insufflazione) | | | x | x | x | x | x | |
| 3 | Roof thermal insulation (INS-R) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _r | 5 | VEDI Tabella 2.20 | | | | |
| 4 | Floor thermal insulation (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | 5 | | | | | |
| 5 | Window thermal insulation (INS-W) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 5 | | | | | |
| 6 | Solar shading systems (SHAD) | Fattore di trasmissione solare | t _{sh} | 2 | VEDI Tabella 2.4 | | | | |
| 7 | High efficiency chiller (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3 | 2,9 | 3,5 | 4,0 | - | - |
| 8 | Efficiency Heat Generator System (GHS) | Rendimento di generazione | η _{gn} | 2 | - | - | - | 1,7 | 1,9 |
| 9 | High efficiency systems for DHW (HES-DHW) | Rendimento del sistema al 100% del carico | η _{gn,Pn,W} | 3 | 0,88 | 0,93 | 1,00 | - | - |
| 10 | Efficiency Heat Generator System for heating and hot water | Rendimento di generazione | η _{gn} | 3 | 0,88 | 0,93 | 1,00 | - | - |
| 11 | Heat pump for heating, cooling and hot water | Coefficiente di prestazione | COP | 3 | 2,5 | 3,1 | 4.1 | - | - |
| | | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3 | 2,3 | 2,9 | 3,5 | - | - |
| 12 | Thermal solar systems (SOL) | m ² di collettori solari | m ² | 3 | 2 | 4 | 5 | - | - |
| 13 | PV system (PV) | Potenza di picco installata | kWp | 4 | 1 | 3 | 4 | 5 | - |
| 14 | Energy recovery ventilation system (ERVS) | Rendimento del recuperatore di calore | η _r | 3 | 0,6 | 0,7 | 0,9 | - | - |
| 15 | Improving Control System (ICS) | Rendimento di regolazione e controllo | η _{ctr} | 3 | 0,94 | 0,97 | 0,995 | - | - |
| 16 | Lighting power density (LPD) | Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²) | PN | x | x | x | x | - | - |
| 17 | Lighting control systems (LCS) | Fattore di dipendenza dall'occupazione | F _O | x | x | x | x | - | - |
| | | Fattore di dipendenza dal daylight | F _D | x | x | x | x | - | - |
| | | Fattore di illuminamento costante | F _C | x | x | x | x | - | - |

Tabella 2.9 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio monofamiliare, epoca 1946-1976.

| Tipologia: Edificio Monofamiliare | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---|---|----------------------|---|-------------------|--------------|-------|-----|-----|---|----------------|---|
| Epoca: 1946-1976 | | | | | | | | | | | | |
| n. | EEM | Parameter id. | Symbol | N | Level of EEM | | | | | | | |
| | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | |
| 1 | External wall thermal insulation (EIFS-EW): exterior insulation finishing system (cappotto) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 5 | VEDI Tabella 2.20 | | | | | | | |
| 2 | External wall thermal insulation (CWI-EW): Cavity wall insulation (insufflazione) | | | | | | | | | | | |
| 3 | Roof thermal insulation (INS-R) | | | | | | | | | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _r | 5 |
| 4 | Floor thermal insulation (INS-F) | | | | | | | | | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | 5 |
| 5 | Window thermal insulation (INS-W) | | | | | | | | | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 5 |
| 6 | Solar shading systems (SHAD) | Fattore di trasmissione solare | t _{sh} | 2 | VEDI Tabella 2.4 | | | | | | | |
| 7 | High efficiency chiller (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3 | 2,9 | 3,5 | 4,0 | - | - | | | |
| 8 | Efficiency Heat Generator System (GHS) | Rendimento di generazione | η _{gn} | 2 | - | - | - | 1,7 | 1,9 | | | |
| 9 | High efficiency systems for DHW (HES-DHW) | Rendimento del sistema al 100% del carico | η _{gn,Pn,W} | 3 | 0,88 | Tabella 2.21 | 1,00 | - | - | | | |
| 10 | Efficiency Heat Generator System for heating and hot water | Rendimento di generazione | η _{gn} | 3 | 0,88 | Tabella 2.21 | 1,00 | - | - | | | |
| 11 | Heat pump for heating, cooling and hot water | Coefficiente di prestazione | COP | 3 | 2,5 | 3,1 | 4,1 | - | - | | | |
| | | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3 | 2,3 | 2,9 | 3,5 | - | - | | | |
| 12 | Thermal solar systems (SOL) | m ² di collettori solari | m ² | 3 | 2 | 4 | 5 | - | - | | | |
| 13 | PV system (PV) | Potenza di picco installata | kWp | 4 | 1 | 3 | 4 | 5 | - | | | |
| 14 | Energy recovery ventilation system (ERVS) | Rendimento del recuperatore di calore | η _r | x | x | x | x | - | - | | | |
| 15 | Improving Control System (ICS) | Rendimento di regolazione e controllo | η _{ctr} | 3 | 0,94 | 0,97 | 0,995 | - | - | | | |
| 16 | Lighting power density (LPD) | Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²) | PN | x | x | x | x | - | - | | | |
| 17 | Lighting control systems (LCS) | Fattore di dipendenza dall'occupazione | F _O | x | x | x | x | - | - | | | |
| | | Fattore di dipendenza dal daylight | F _D | x | x | x | x | - | - | | | |
| | | Fattore di illuminamento costante | F _C | x | x | x | x | - | - | | | |

Tabella 2.10 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio monofamiliare, epoca 1977-1990.

| Tipologia: Edificio Monofamiliare | | | | | | | | | | | | |
|--|---|---|----------------------|---|-------------------|--------------|-------|-----|-----|---|----------------|---|
| Epoca: 1977-1990 | | | | | | | | | | | | |
| n. | EEM | Parameter id. | Symbol | N | Level of EEM | | | | | | | |
| | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | |
| 1 | External wall thermal insulation (EIFS-EW): exterior insulation finishing system (cappotto) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 5 | VEDI Tabella 2.20 | | | | | | | |
| 2 | External wall thermal insulation (CWI-EW): Cavity wall insulation (insufflazione) | | | | | | | | | | | |
| 3 | Roof thermal insulation (INS-R) | | | | | | | | | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _r | 5 |
| 4 | Floor thermal insulation (INS-F) | | | | | | | | | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | 5 |
| 5 | Window thermal insulation (INS-W) | | | | | | | | | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 5 |
| 6 | Solar shading systems (SHAD) | Fattore di trasmissione solare | t _{sh} | 2 | VEDI Tabella 2.4 | | | | | | | |
| 7 | High efficiency chiller (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3 | 2,9 | 3,5 | 4,0 | - | - | | | |
| 8 | Efficiency Heat Generator System (GHS) | Rendimento di generazione | η _{gn} | 2 | - | - | - | 1,7 | 1,9 | | | |
| 9 | High efficiency systems for DHW (HES-DHW) | Rendimento del sistema al 100% del carico | η _{gn,Pn,W} | 3 | 0,88 | Tabella 2.21 | 1,00 | - | - | | | |
| 10 | Efficiency Heat Generator System for heating and hot water | Rendimento di generazione | η _{gn} | 3 | 0,88 | Tabella 2.21 | 1,00 | - | - | | | |
| 11 | Heat pump for heating, cooling and hot water | Coefficiente di prestazione | COP | 3 | 2,5 | 3,1 | 4.1 | - | - | | | |
| | | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3 | 2,3 | 2,9 | 3,5 | - | - | | | |
| 12 | Thermal solar systems (SOL) | m ² di collettori solari | m ² | 3 | 2 | 4 | 5 | - | - | | | |
| 13 | PV system (PV) | Potenza di picco installata | kWp | 4 | 1 | 3 | 4 | 5 | - | | | |
| 14 | Energy recovery ventilation system (ERVS) | Rendimento del recuperatore di calore | η _r | x | x | x | x | - | - | | | |
| 15 | Improving Control System (ICS) | Rendimento di regolazione e controllo | η _{ctr} | 3 | 0,94 | 0,97 | 0,995 | - | - | | | |
| 16 | Lighting power density (LPD) | Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²) | PN | x | x | x | x | - | - | | | |
| 17 | Lighting control systems (LCS) | Fattore di dipendenza dall'occupazione | F _O | x | x | x | x | - | - | | | |
| | | Fattore di dipendenza dal daylight | F _D | x | x | x | x | - | - | | | |
| | | Fattore di illuminamento costante | F _C | x | x | x | x | - | - | | | |

Tabella 2.11 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio piccolo condominio, nuovo.

| Tipologia: Edificio Piccolo Condominio | | | | | | | | | |
|---|---|---|------------------|---|-------------------|--------------|-------|------|------|
| Epoca: NUOVO | | | | | | | | | |
| n. | EEM | Parameter id. | Symbol | N | Level of EEM | | | | |
| | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | External wall thermal insulation (EIFS-EW): exterior insulation finishing system (cappotto) | Trasmittanza termica (W/m^2K) | U_p | 5 | VEDI Tabella 2.20 | | | | |
| 2 | External wall thermal insulation (CWI-EW): Cavity wall insulation (insufflazione) | | | x | x | x | x | x | |
| 3 | Roof thermal insulation (INS-R) | Trasmittanza termica (W/m^2K) | U_r | 5 | VEDI Tabella 2.20 | | | | |
| 4 | Floor thermal insulation (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m^2K) | U_f | 5 | | | | | |
| 5 | Window thermal insulation (INS-W) | Trasmittanza termica (W/m^2K) | U_w | 5 | | | | | |
| 6 | Solar shading systems (SHAD) | Fattore di trasmissione solare | t_{sh} | 2 | VEDI Tabella 2.4 | | | | |
| 7 | High efficiency chiller (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3 | 3 | 3,69 | 4,2 | - | - |
| 8 | Efficiency Heat Generator System (GHS) | Rendimento di generazione | η_{gn} | 5 | 0,88 | Tabella 2.21 | 1,00 | 1,70 | 1,90 |
| 9 | High efficiency systems for DHW (HES-DHW) | Rendimento del sistema al 100% del carico | $\eta_{gn,Pn,W}$ | 3 | 0,88 | 0,93 | 1,00 | - | - |
| 10 | Efficiency Heat Generator System for heating and hot water | Rendimento di generazione | η_{gn} | 3 | 0,88 | 0,93 | 1,00 | - | - |
| 11 | Heat pump for heating, cooling and hot water | Coefficiente di prestazione | COP | 3 | 2,5 | 3,1 | 4,2 | - | - |
| | | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3 | 2,3 | 2,9 | 3,1 | - | - |
| 12 | Thermal solar systems (SOL) | m^2 di collettori solari | m^2 | 3 | 7 | 12 | 17 | - | - |
| 13 | PV system (PV) | Potenza di picco installata | kWp | 4 | 2,5 | 5 | 7,5 | 10 | - |
| 14 | Energy recovery ventilation system (ERVS) | Rendimento del recuperatore di calore | η_r | 3 | 0,6 | 0,7 | 0,9 | - | - |
| 15 | Improving Control System (ICS) | Rendimento di regolazione e controllo | η_{ctr} | 3 | 0,94 | 0,97 | 0,995 | - | - |
| 16 | Lighting power density (LPD) | Densità della potenza di illuminazione installata (W/m^2) | PN | x | x | x | x | - | - |
| 17 | Lighting control systems (LCS) | Fattore di dipendenza dall'occupazione | F_o | x | x | x | x | - | - |
| | | Fattore di dipendenza dal daylight | F_D | x | x | x | x | - | - |
| | | Fattore di illuminamento costante | F_C | x | x | x | x | - | - |

Tabella 2.12 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio piccolo condominio, epoca 1946-1976.

| Tipologia: Edificio Piccolo Condominio | | | | | | | | | |
|--|---|---|----------------------|---|-------------------|--------------|-------|------|------|
| Epoca: 1946-1976 | | | | | | | | | |
| n. | EEM | Parameter id. | Symbol | N | Level of EEM | | | | |
| | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | External wall thermal insulation (EIFS-EW): exterior insulation finishing system (cappotto) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 5 | VEDI Tabella 2.20 | | | | |
| 2 | External wall thermal insulation (CWI-EW): Cavity wall insulation (insufflazione) | | | | | | | | |
| 3 | Roof thermal insulation (INS-R) | | | | | | | | |
| 4 | Floor thermal insulation (INS-F) | | | | | | | | |
| 5 | Window thermal insulation (INS-W) | | | | | | | | |
| 6 | Solar shading systems (SHAD) | Fattore di trasmissione solare | t _{sh} | 2 | VEDI Tabella 2.4 | | | | |
| 7 | High efficiency chiller (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3 | 3 | 3,69 | 4,2 | - | - |
| 8 | Efficiency Heat Generator System (GHS) | Rendimento di generazione | η _{gn} | 5 | 0,88 | Tabella 2.21 | 1,00 | 1,70 | 1,90 |
| 9 | High efficiency systems for DHW (HES-DHW) | Rendimento del sistema al 100% del carico | η _{gn,Pn,W} | 3 | 0,88 | 0,93 | 1,00 | - | - |
| 10 | Efficiency Heat Generator System for heating and hot water | Rendimento di generazione | η _{gn} | 5 | 0,88 | 0,93 | 1,00 | - | - |
| 11 | Heat pump for heating, cooling and hot water | Coefficiente di prestazione | COP | 3 | 2,5 | 3,1 | 4,2 | - | - |
| | | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3 | 2,3 | 2,9 | 3,1 | - | - |
| 12 | Thermal solar systems (SOL) | m ² di collettori solari | m ² | 3 | 7 | 12 | 17 | - | - |
| 13 | PV system (PV) | Potenza di picco installata | kWp | 4 | 2,5 | 5 | 7,5 | 10 | - |
| 14 | Energy recovery ventilation system (ERVS) | Rendimento del recuperatore di calore | η _r | x | x | x | x | - | - |
| 15 | Improving Control System (ICS) | Rendimento di regolazione e controllo | η _{ctr} | 3 | 0,94 | 0,97 | 0,995 | - | - |
| 16 | Lighting power density (LPD) | Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²) | PN | x | x | x | x | - | - |
| 17 | Lighting control systems (LCS) | Fattore di dipendenza dall'occupazione | F _O | x | x | x | x | - | - |
| | | Fattore di dipendenza dal daylight | F _D | x | x | x | x | - | - |
| | | Fattore di illuminamento costante | F _C | x | x | x | x | - | - |

Tabella 2.13 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio piccolo condominio, epoca 1977-1990.

| Tipologia: Edificio Piccolo Condominio | | | | | | | | | |
|---|---|---|------------------|---|-------------------|--------------|-------|------|------|
| Epoca: 1977-1990 | | | | | | | | | |
| n. | EEM | Parameter id. | Symbol | N | Level of EEM | | | | |
| | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | External wall thermal insulation (EIFS-EW): exterior insulation finishing system (cappotto) | Trasmittanza termica (W/m^2K) | U_p | 5 | VEDI Tabella 2.20 | | | | |
| 2 | External wall thermal insulation (CWI-EW): Cavity wall insulation (insufflazione) | | | | | | | | |
| 3 | Roof thermal insulation (INS-R) | | | | | | | | |
| 4 | Floor thermal insulation (INS-F) | | | | | | | | |
| 5 | Window thermal insulation (INS-W) | | | | | | | | |
| 6 | Solar shading systems (SHAD) | Fattore di trasmissione solare | t_{sh} | 2 | VEDI Tabella 2.4 | | | | |
| 7 | High efficiency chiller (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3 | 3 | 3,69 | 4,2 | - | - |
| 8 | Efficiency Heat Generator System (GHS) | Rendimento di generazione | η_{gn} | 5 | 0,88 | Tabella 2.21 | 1,00 | 1,70 | 1,90 |
| 9 | High efficiency systems for DHW (HES-DHW) | Rendimento del sistema al 100% del carico | $\eta_{gn,Pn,W}$ | 3 | 0,88 | 0,93 | 1,00 | - | - |
| 10 | Efficiency Heat Generator System for heating and hot water | Rendimento di generazione | η_{gn} | 5 | 0,88 | 0,93 | 1,00 | - | - |
| 11 | Heat pump for heating, cooling and hot water | Coefficiente di prestazione | COP | 3 | 2,5 | 3,1 | 4,2 | - | - |
| | | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3 | 2,3 | 2,9 | 3,1 | - | - |
| 12 | Thermal solar systems (SOL) | m^2 di collettori solari | m^2 | 3 | 7 | 12 | 17 | - | - |
| 13 | PV system (PV) | Potenza di picco installata | kWp | 4 | 2,5 | 5 | 7,5 | 10 | - |
| 14 | Energy recovery ventilation system (ERVS) | Rendimento del recuperatore di calore | η_r | x | x | x | x | - | - |
| 15 | Improving Control System (ICS) | Rendimento di regolazione e controllo | η_{ctr} | 3 | 0,94 | 0,97 | 0,995 | - | - |
| 16 | Lighting power density (LPD) | Densità della potenza di illuminazione installata (W/m^2) | PN | x | x | x | x | - | - |
| 17 | Lighting control systems (LCS) | Fattore di dipendenza dall'occupazione | F_o | x | x | x | x | - | - |
| | | Fattore di dipendenza dal daylight | F_D | x | x | x | x | - | - |
| | | Fattore di illuminamento costante | F_C | x | x | x | x | - | - |

Tabella 2.14 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio grande condominio, nuovo.

| Tipologia: Edificio Grande Condominio | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|---|---|----------------------|---|-------------------|--------------|-------|------|------|
| Epoca: NUOVO | | | | | | | | | |
| n. | EEM | Parameter id. | Symbol | N | Level of EEM | | | | |
| | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | External wall thermal insulation (EIFS-EW): exterior insulation finishing system (cappotto) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 5 | VEDI Tabella 2.20 | | | | |
| 2 | External wall thermal insulation (CWI-EW): Cavity wall insulation (insufflazione) | | | x | x | x | x | x | |
| 3 | Roof thermal insulation (INS-R) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _r | 5 | VEDI Tabella 2.20 | | | | |
| 4 | Floor thermal insulation (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | 5 | | | | | |
| 5 | Window thermal insulation (INS-W) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 5 | | | | | |
| 6 | Solar shading systems (SHAD) | Fattore di trasmissione solare | t _{sh} | 2 | VEDI Tabella 2.4 | | | | |
| 7 | High efficiency chiller (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3 | 3,2 | 3,86 | 4,2 | - | - |
| 8 | Efficiency Heat Generator System (GHS) | Rendimento di generazione | η _{gn} | 5 | 0,88 | Tabella 2.21 | 1,00 | 1,70 | 1,90 |
| 9 | High efficiency systems for DHW (HES-DHW) | Rendimento del sistema al 100% del carico | η _{gn,Pn,W} | 3 | 0,88 | 0,93 | 1,00 | - | - |
| 10 | Efficiency Heat Generator System for heating and hot water | Rendimento di generazione | η _{gn} | 3 | 0,88 | 0,93 | 1,00 | - | - |
| 11 | Heat pump for heating, cooling and hot water | Coefficiente di prestazione | COP | 3 | 2.5 | 2.9 | 3.3 | - | - |
| | | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3 | 2.4 | 2.8 | 3.2 | - | - |
| 12 | Thermal solar systems (SOL) | m ² di collettori solari | m ² | 3 | 30 | 50 | 70 | - | - |
| 13 | PV system (PV) | Potenza di picco installata | kWp | 4 | 3,7 | 7,5 | 11,2 | 15 | - |
| 14 | Energy recovery ventilation system (ERVS) | Rendimento del recuperatore di calore | η _r | 3 | 0,6 | 0,7 | 0,9 | - | - |
| 15 | Improving Control System (ICS) | Rendimento di regolazione e controllo | η _{ctr} | 3 | 0,94 | 0,97 | 0,995 | - | - |
| 16 | Lighting power density (LPD) | Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²) | PN | x | x | x | x | - | - |
| 17 | Lighting control systems (LCS) | Fattore di dipendenza dall'occupazione | F _O | x | x | x | x | - | - |
| | | Fattore di dipendenza dal daylight | F _D | x | x | x | x | - | - |
| | | Fattore di illuminamento costante | F _C | x | x | x | x | - | - |

Tabella 2.15 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio grande condominio, epoca 1946-1976.

| Tipologia: Edificio Grande Condominio | | | | | | | | | |
|--|---|---|------------------|---|-------------------|-------------|-------|------|------|
| Epoca: 1946-1976 | | | | | | | | | |
| n. | EEM | Parameter id. | Symbol | N | Level of EEM | | | | |
| | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | External wall thermal insulation (EIFS-EW): exterior insulation finishing system (cappotto) | Trasmittanza termica (W/m^2K) | U_p | 5 | VEDI Tabella 2.20 | | | | |
| 2 | External wall thermal insulation (CWI-EW): Cavity wall insulation (insufflazione) | | | | | | | | |
| 3 | Roof thermal insulation (INS-R) | | | | | | | | |
| 4 | Floor thermal insulation (INS-F) | | | | | | | | |
| 5 | Window thermal insulation (INS-W) | | | | | | | | |
| 6 | Solar shading systems (SHAD) | Fattore di trasmissione solare | t_{sh} | 2 | VEDI Tabella 2.4 | | | | |
| 7 | High efficiency chiller (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3 | 3,2 | 3,86 | 4,2 | - | - |
| 8 | Efficiency Heat Generator System (GHS) | Rendimento di generazione | η_{gn} | 5 | 0,88 | Tabela 2.21 | 1,00 | 1,70 | 1,90 |
| 9 | High efficiency systems for DHW (HES-DHW) | Rendimento del sistema al 100% del carico | $\eta_{gn,Pn,W}$ | 3 | 0,88 | 0,93 | 1,00 | - | - |
| 10 | Efficiency Heat Generator System for heating and hot water | Rendimento di generazione | η_{gn} | 5 | 0,88 | 0,93 | 1,00 | - | - |
| 11 | Heat pump for heating, cooling and hot water | Coefficiente di prestazione | COP | 3 | 2.5 | 2.9 | 3.3 | - | - |
| | | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3 | 2.4 | 2.8 | 3.2 | - | - |
| 12 | Thermal solar systems (SOL) | m^2 di collettori solari | m^2 | 3 | 30 | 50 | 70 | - | - |
| 13 | PV system (PV) | Potenza di picco installata | kWp | 4 | 3,7 | 7,5 | 11,2 | 15 | - |
| 14 | Energy recovery ventilation system (ERVS) | Rendimento del recuperatore di calore | η_r | x | x | x | x | - | - |
| 15 | Improving Control System (ICS) | Rendimento di regolazione e controllo | η_{ctr} | 3 | 0,94 | 0,97 | 0,995 | - | - |
| 16 | Lighting power density (LPD) | Densità della potenza di illuminazione installata (W/m^2) | PN | x | x | x | x | - | - |
| 17 | Lighting control systems (LCS) | Fattore di dipendenza dall'occupazione | F_o | x | x | x | x | - | - |
| | | Fattore di dipendenza dal daylight | F_D | x | x | x | x | - | - |
| | | Fattore di illuminamento costante | F_C | x | x | x | x | - | - |

Tabella 2.16 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio grande condominio, epoca 1977-1990.

| Tipologia: Edificio Grande Condominio | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|---|---|----------------------|---|-------------------|--------------|-------|------|------|
| Epoca: 1977-1990 | | | | | | | | | |
| n. | EEM | Parameter id. | Symbol | N | Level of EEM | | | | |
| | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | External wall thermal insulation (EIFS-EW): exterior insulation finishing system (cappotto) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 5 | VEDI Tabella 2.20 | | | | |
| 2 | External wall thermal insulation (CWI-EW): Cavity wall insulation (insufflazione) | | | | | | | | |
| 3 | Roof thermal insulation (INS-R) | | | | | | | | |
| 4 | Floor thermal insulation (INS-F) | | | | | | | | |
| 5 | Window thermal insulation (INS-W) | | | | | | | | |
| 6 | Solar shading systems (SHAD) | Fattore di trasmissione solare | t _{sh} | 2 | VEDI Tabella 2.4 | | | | |
| 7 | High efficiency chiller (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3 | 3,2 | 3,86 | 4,2 | - | - |
| 8 | Efficiency Heat Generator System (GHS) | Rendimento di generazione | η _{gn} | 5 | 0,88 | Tabella 2.21 | 1,00 | 1,70 | 1,90 |
| 9 | High efficiency systems for DHW (HES-DHW) | Rendimento del sistema al 100% del carico | η _{gn,Pn,W} | 3 | 0,88 | 0,93 | 1,00 | x | x |
| 10 | Efficiency Heat Generator System for heating and hot water | Rendimento di generazione | η _{gn} | 5 | 0,88 | 0,93 | 1,00 | x | x |
| 11 | Heat pump for heating, cooling and hot water | Coefficiente di prestazione | COP | 3 | 2.5 | 2.9 | 3.3 | - | - |
| | | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3 | 2.4 | 2.8 | 3.2 | - | - |
| 12 | Thermal solar systems (SOL) | m ² di collettori solari | m ² | 3 | 30 | 50 | 70 | - | - |
| 13 | PV system (PV) | Potenza di picco installata | kWp | 4 | 3,7 | 7,5 | 11,2 | 15 | - |
| 14 | Energy recovery ventilation system (ERVS) | Rendimento del recuperatore di calore | η _r | x | x | x | x | - | - |
| 15 | Improving Control System (ICS) | Rendimento di regolazione e controllo | η _{ctr} | 3 | 0,94 | 0,97 | 0,995 | - | - |
| 16 | Lighting power density (LPD) | Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²) | PN | x | x | x | x | - | - |
| 17 | Lighting control systems (LCS) | Fattore di dipendenza dall'occupazione | F _O | x | x | x | x | - | - |
| | | Fattore di dipendenza dal daylight | F _D | x | x | x | x | - | - |
| | | Fattore di illuminamento costante | F _C | x | x | x | x | - | - |

Tabella 2.17 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio uso ufficio, nuovo.

| Tipologia: Edificio uso ufficio | | | | | | | | | |
|---------------------------------|---|---|------------------|---|-------------------|--------------|-------|-----|---|
| Epoca: NUOVO | | | | | | | | | |
| n. | EEM | Parameter id. | Symbol | N | Level of EEM | | | | |
| | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | External wall thermal insulation (EIFS-EW): exterior insulation finishing system (cappotto) | Trasmittanza termica (W/m^2K) | U_p | 5 | VEDI Tabella 2.20 | | | | |
| 2 | External wall thermal insulation (CWI-EW): Cavity wall insulation (insufflazione) | | | x | x | x | x | x | |
| 3 | Roof thermal insulation (INS-R) | Trasmittanza termica (W/m^2K) | U_r | 5 | VEDI Tabella 2.20 | | | | |
| 4 | Floor thermal insulation (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m^2K) | U_f | 5 | | | | | |
| 5 | Window thermal insulation (INS-W) | Trasmittanza termica (W/m^2K) | U_w | 5 | | | | | |
| 6 | Solar shading systems (SHAD) | Fattore di trasmissione solare | t_{sh} | 2 | VEDI Tabella 2.4 | | | | |
| 7 | High efficiency chiller (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3 | 2,7 | 3,0 | 3,5 | - | - |
| 8 | Efficiency Heat Generator System (GHS) | Rendimento di generazione | η_{gn} | x | x | x | x | x | x |
| 9 | High efficiency systems for DHW (HES-DHW) | Rendimento del sistema al 100% del carico | $\eta_{gn,Pn,W}$ | x | x | x | x | x | x |
| 10 | Efficiency Heat Generator System for heating and hot water | Rendimento di generazione | η_{gn} | 5 | 0,88 | Tabella 2.21 | 1,05 | - | - |
| 11 | Heat pump for heating, cooling and hot water | Coefficiente di prestazione | COP | 3 | 2,6 | 3,0 | 3,5 | - | - |
| | | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3 | 2,5 | 2,8 | 3,2 | - | - |
| 12 | Thermal solar systems (SOL) | m^2 di collettori solari | m^2 | 3 | 6 | 6 | 6 | - | - |
| 13 | PV system (PV) | Potenza di picco installata | kWp | 4 | 6 | 12 | 18 | 20 | - |
| 14 | Energy recovery ventilation system (ERVS) | Rendimento del recuperatore di calore | η_r | 3 | 0,6 | 0,7 | 0,9 | - | - |
| 15 | Improving Control System (ICS) | Rendimento di regolazione e controllo | η_{ctr} | 3 | 0,94 | 0,97 | 0,995 | - | - |
| 16 | Lighting power density (LPD) | Densità della potenza di illuminazione installata (W/m^2) | PN | 4 | 13 | 13 | 4,7 | 4,6 | - |
| 17 | Lighting control systems (LCS) | Fattore di dipendenza dall'occupazione | F_o | 4 | 1 | 0,9 | 1 | 0,8 | - |
| | | Fattore di dipendenza dal daylight | F_D | 4 | 1 | 0,9 | 1 | 0,9 | - |
| | | Fattore di illuminamento costante | F_c | 4 | 1 | 0,9 | 1 | 0,9 | - |

Tabella 2.18 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio uso ufficio, epoca 1946-1976.

| Tipologia: Edificio uso ufficio | | | | | | | | | |
|---------------------------------|---|---|----------------------|---|-------------------|--------------|-------|-----|---|
| Epoca: 1946-76 | | | | | | | | | |
| n. | EEM | Parameter id. | Symbol | N | Level of EEM | | | | |
| | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | External wall thermal insulation (EIFS-EW): exterior insulation finishing system (cappotto) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 5 | VEDI Tabella 2.20 | | | | |
| 2 | External wall thermal insulation (CWI-EW): Cavity wall insulation (insufflazione) | | | | | | | | |
| 3 | Roof thermal insulation (INS-R) | | | | | | | | |
| 4 | Floor thermal insulation (INS-F) | | | | | | | | |
| 5 | Window thermal insulation (INS-W) | | | | | | | | |
| 6 | Solar shading systems (SHAD) | Fattore di trasmissione solare | τ _{sh} | 2 | VEDI Tabella 2.4 | | | | |
| 7 | High efficiency chiller (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3 | 3,5 | 4,0 | 5,0 | - | - |
| 8 | Efficiency Heat Generator System (GHS) | Rendimento di generazione | η _{gn} | x | x | x | x | x | x |
| 9 | High efficiency systems for DHW (HES-DHW) | Rendimento del sistema al 100% del carico | η _{gn,Pn,W} | x | x | x | x | x | x |
| 10 | Efficiency Heat Generator System for heating and hot water | Rendimento di generazione | η _{gn} | 5 | 0,88 | Tabella 2.21 | 1,03 | - | - |
| 11 | Heat pump for heating, cooling and hot water | Coefficiente di prestazione | COP | 3 | 2,3 | 2,7 | 3,1 | - | - |
| | | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3 | 2,1 | 2,5 | 2,9 | - | - |
| 12 | Thermal solar systems (SOL) | m ² di collettori solari | m ² | 3 | 2 | 2 | 2 | - | - |
| 13 | PV system (PV) | Potenza di picco installata | kWp | 4 | 3,0 | 5,0 | 8,0 | 10 | - |
| 14 | Energy recovery ventilation system (ERVS) | Rendimento del recuperatore di calore | η _r | 3 | 0,6 | 0,7 | 0,9 | - | - |
| 15 | Improving Control System (ICS) | Rendimento di regolazione e controllo | η _{ctr} | 3 | 0,94 | 0,97 | 0,995 | - | - |
| 16 | Lighting power density (LPD) | Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²) | PN | 4 | 13 | 13 | 4,7 | 4,6 | - |
| 17 | Lighting control systems (LCS) | Fattore di dipendenza dall'occupazione | F _O | 4 | 1 | 0,9 | 1 | 0,8 | - |
| | | Fattore di dipendenza dal daylight | F _D | 4 | 1 | 0,9 | 1 | 0,9 | - |
| | | Fattore di illuminamento costante | F _C | 4 | 1 | 0,9 | 1 | 0,9 | - |

Tabella 2.19 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio uso ufficio, epoca 1977-1990.

| Tipologia: Edificio uso ufficio | | | | | | | | | |
|--|---|---|----------------------|---|-------------------|--------------|-------|-----|---|
| Epoca: 1977-1990 | | | | | | | | | |
| n. | EEM | Parameter id. | Symbol | N | Level of EEM | | | | |
| | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | External wall thermal insulation (EIFS-EW): exterior insulation finishing system (cappotto) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 5 | VEDI Tabella 2.20 | | | | |
| 2 | External wall thermal insulation (CWI-EW): Cavity wall insulation (insufflazione) | | | | | | | | |
| 3 | Roof thermal insulation (INS-R) | | | | | | | | |
| 4 | Floor thermal insulation (INS-F) | | | | | | | | |
| 5 | Window thermal insulation (INS-W) | | | | | | | | |
| 6 | Solar shading systems (SHAD) | Fattore di trasmissione solare | t _{sh} | 2 | VEDI Tabella 2.4 | | | | |
| 7 | High efficiency chiller (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3 | 3,5 | 4,0 | 5,0 | - | - |
| 8 | Efficiency Heat Generator System (GHS) | Rendimento di generazione | η _{gn} | x | x | x | x | x | x |
| 9 | High efficiency systems for DHW (HES-DHW) | Rendimento del sistema al 100% del carico | η _{gn,Pn,W} | x | x | x | x | x | x |
| 10 | Efficiency Heat Generator System for heating and hot water | Rendimento di generazione | η _{gn} | 5 | 0,88 | Tabella 2.21 | 1,03 | - | - |
| 11 | Heat pump for heating, cooling and hot water | Coefficiente di prestazione | COP | 3 | 2,5 | 2,9 | 3,3 | - | - |
| | | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3 | 2,4 | 2,8 | 3,2 | - | - |
| 12 | Thermal solar systems (SOL) | m ² di collettori solari | m ² | 3 | 10 | 10 | 10 | - | - |
| 13 | PV system (PV) | Potenza di picco installata | kWp | 4 | 6 | 12 | 18 | 20 | |
| 14 | Energy recovery ventilation system (ERVS) | Rendimento del recuperatore di calore | η _r | 3 | 0,6 | 0,7 | 0,9 | - | - |
| 15 | Improving Control System (ICS) | Rendimento di regolazione e controllo | η _{ctr} | 3 | 0,94 | 0,97 | 0,995 | - | - |
| 16 | Lighting power density (LPD) | Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²) | PN | 4 | 13 | 13 | 4,7 | 4,6 | - |
| 17 | Lighting control systems (LCS) | Fattore di dipendenza dall'occupazione | F _O | 4 | 1 | 0,9 | 1 | 0,8 | - |
| | | Fattore di dipendenza dal daylight | F _D | 4 | 1 | 0,9 | 1 | 0,9 | - |
| | | Fattore di illuminamento costante | F _C | 4 | 1 | 0,9 | 1 | 0,9 | - |

Tabella 2.20 Parametri identificativi - Valori di trasmittanza termica

| EEM | | U[w/m ² κ] Zona climatica B | | | | | U[w/m ² κ] Zona climatica E | | | | |
|------------------------------|--------|---|------|------|------|------|---|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Pareti verticali perimetrali | INS-EW | 0,65 | 0,48 | 0,42 | 0,36 | 0,30 | 0,45 | 0,34 | 0,29 | 0,25 | 0,20 |
| Copertura | INS-R | 0,50 | 0,38 | 0,35 | 0,33 | 0,30 | 0,40 | 0,30 | 0,27 | 0,23 | 0,20 |
| Solaio piano terreno | INS-F | 0,65 | 0,49 | 0,43 | 0,36 | 0,30 | 0,45 | 0,33 | 0,29 | 0,24 | 0,20 |
| Serramenti | INS-W | 5,80 | 3,00 | 2,60 | 2,20 | 1,80 | 5,00 | 2,20 | 1,90 | 1,60 | 1,30 |

Tabella 2.21 Potenze e rendimenti dei generatori termici

| Zona climatica | Nuovi | | Epoca 1946-1990 | | | |
|-----------------------------|-------|------|-----------------|------|------|------|
| | B | E | B | | E | |
| | | | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Abitazione monofam. | | | | | | |
| Potenza (kW) | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| Rendimento % | 92,8 | 92,8 | 92,8 | 92,8 | 92,8 | 92,8 |
| Piccolo condominio | | | | | | |
| Potenza (kW) | 24 | 24 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Rendimento % | 92,8 | 92,8 | 94,0 | 94,0 | 94,0 | 94,0 |
| Grande condominio | | | | | | |
| Potenza (kW) | 70 | 70 | 300 | 200 | 300 | 200 |
| Rendimento % | 93,7 | 93,7 | 95,0 | 94,6 | 94,6 | 95,0 |
| Edificio uso ufficio | | | | | | |
| Potenza (kW) | 80 | 80 | 50 | 160 | 50 | 160 |
| Rendimento % | 93,8 | 93,8 | 93,4 | 94,4 | 93,4 | 94,4 |

2.3.2 I costi degli interventi

Per una trattazione più completa dell'argomento si rimanda alla precedente attività ENEA [38]. Si riportano di seguito i principali dati utili a chiarire il procedimento alla base della definizione dei costi, e le banche dati utilizzate.

I costi degli interventi sull'involucro

Componenti opachi_Edifici nuovi

Per la determinazione dei prezzi elementari è stato utilizzato il prezzario DEI (Tipografia del Genio Civile) dei Prezzi Informativi dell'Edilizia per le Nuove Costruzioni – edizione febbraio 2012, che elenca in sezioni distinte sia i materiali (sola fornitura) che le opere compiute (fornitura e messa in opera dei materiali).

Sono così state ricavate alcune tabelle di dettaglio (in giallo i valori non estratti in maniera diretta dalla sezione "Opere Compiute" ma ottenuti da altra sezione o fonte) riguardanti operazioni di riqualificazione energetica sui seguenti componenti edilizi:

- pareti verticali;
- strutture orizzontali - coperture finali;
- strutture orizzontali - primo solaio;
- strutture orizzontali - solaio contro terra.

Nella colonna "costi evitati" vengono evidenziate le porzioni dell'intervento che non sono strettamente connesse ad una riqualificazione energetica quali, nei casi in esame, gli intonaci esterni o interni, la cui esecuzione è compresa nel prezzo del Bollettino e potrebbe invece essere scorporata. Viceversa nell'eseguire l'intervento dall'esterno il materiale isolante andrebbe poi protetto con altra lavorazione (ad esempio tramite posa di assito in legno o di caldana di calcestruzzo per opere su tetti finali, o posa di caldana di calcestruzzo per opere su primo solaio).

La Tabella 2.22 riporta una sintesi dei costi unitari degli interventi su pareti verticali in edifici nuovi.

Tabella 2.22 Edifici nuovi – costi unitari interventi su pareti verticali

| materiale | n voce bollettino feb-12 | prezzo base (€/m2) | spessore base (cm) | prezzo al cm (€/m2) | condutt (W/mK) | costo evitato (€/m2) |
|---|--------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|----------------|----------------------|
| PARETI VERTICALI - isolamento dall'esterno | | | | | | |
| EPS/PSE | 115067 | 47,90 | 3 | 1,86 | 0,034 | 23,47 |
| XPS | 115068 | 51,12 | 3 | 2,22 | 0,034 | 23,47 |
| LR | | | | | | |
| LV | 115066 | 58,26 | 4 | 4,01 | 0,032 | 23,47 |
| LLEGNO | 115069 | 56,34 | 2,5 | 5,50 | 0,090 | 23,47 |
| SUGHERO | | | | | | |
| FIBRA LEGNO | | | | | | |
| PUR | | | | | | |
| PARETI VERTICALI - isolamento dall'interno | | | | | | |
| EPS/PSE | 115072 | 32,89 | 3 | 1,62 | 0,033 | 20,29 |
| XPS | 115073 | 33,13 | 3 | 1,70 | 0,034 | 20,29 |
| LR | | | | | | |
| LV | 115071 | 33,23 | 3 | 1,74 | 0,035 | 20,29 |
| LLEGNO | 115069 | 56,34 | 2,5 | 5,50 | 0,090 | 20,29 |
| SUGHERO | | | | | | |
| FIBRA LEGNO | | | | | | |
| PUR | 115074 | 37,79 | 3 | 2,20 | 0,028 | 20,29 |
| PARETI VERTICALI - isolamento in intercapedine, con pannelli | | | | | | |
| EPS/PSE | 115088 | 8,15 | 3 | 1,48 | 0,033 | |
| XPS | 115089 | 9,08 | 3 | 1,7 | 0,034 | |
| LR | (EN-AP01) | 11,65 | 4 | 1,59 | 0,034 | |
| LV | 115091 | 9,18 | 3 | 1,74 | 0,035 | |
| LLEGNO | | | | | | |
| SUGHERO | 115087 | 26,44 | 10 | 2,57 | 0,043 | |
| FIBRA LEGNO | | | | | | |
| PUR | 115090 | 13,73 | 3 | 3,20 | 0,028 | |
| PARETI VERTICALI - isolamento in intercapedine, con insufflaggio | | | | | | |
| argilla espansa | 115084 | 20,39 | 10 | 2,02 | | |
| vermiculite espansa | 115085 | 30,83 | 10 | 2,97 | | |
| perlite espansa | 115086 | 24,91 | 10 | 2,43 | | |
| sughero naturale | 115087 | 26,44 | 10 | 2,57 | | |

Usualmente l'intervento viene 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;
- dall'interno, con pannelli di isolante e finitura in lastre di gesso;
- in intercapedine, di pannelli di isolante prima della costruzione del secondo paramento più interno o tramite insufflaggio dopo aver eseguito entrambi i paramenti del muro perimetrale (caso meno ricorrente, dove ai costi indicati vanno aggiunti quelli legati all'esecuzione di fori nel paramento dai quali caricare il materiale isolante, nonché la loro chiusura ad insufflaggio completato);
- nella muratura stessa tramite blocchi con proprietà isolanti, casseri a perdere, inserti di materiali isolanti nel blocco (tecnica detta di isolamento distribuito, qui non prezzata).

La Tabella 2.23 riporta una sintesi dei costi unitari degli interventi sulle coperture finali in edifici nuovi.

Tabella 2.23 Edifici nuovi – costi unitari interventi su coperture finali

| materiale | n voce bollettino feb-12 | prezzo base (€/m2) | spessore base (cm) | prezzo al cm (€/m2) | condutt (W/mK) | costo evitato (€/m2) |
|---|--------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|----------------|----------------------|
| COPERTURE - tetto legno dall'esterno | | | | | | |
| EPS/PSE | 115028 | 12,46 | 4 | 2,19 | 0,034 | |
| XPS | 115032 | 22,09 | 5 | 1,49 | 0,036 | |
| LR | | | | | | |
| LV | 115026 | 10,35 | 3 | 2,16 | 0,037 | |
| LLEGNO | 115030 | 27,38 | 2,5 | 5,86 | 0,090 | |
| SUGHERO | | | | | | |
| FIBRA LEGNO | 115029 | 15,69 | 5 | 2,17 | 0,043 | |
| PUR | 115027 | 12,70 | 3 | 2,92 | 0,028 | |
| COPERTURE - tetto legno dall'interno | | | | | | |
| EPS/PSE | 115037 | 22,42 | 3 | 1,62 | 0,033 | 5,10 |
| XPS | 115036 | 22,66 | 3 | 1,7 | 0,034 | 5,10 |
| LR | | | | | | |
| LV | 115035 | 21,26 | 3 | 1,76 | 0,034 | 5,10 |
| LLEGNO | | | | | | |
| SUGHERO | | | | | | |
| FIBRA LEGNO | | | | | | |
| PUR | 115036 | 26,48 | 3 | 2,92 | 0,028 | 5,10 |
| COPERTURE (piane) - laterocemento dall'esterno | | | | | | |
| EPS/PSE | 115012 | 7,65 | 3 | 1,82 | 0,034 | |
| XPS | 115009 | 8,22 | 3 | 1,7 | 0,035 | |
| LR | (EN-AP02) | 13,13 | 4 | 2,24 | 0,034 | |
| LV | 115002 | 15,03 | 3 | 3,97 | 0,032 | |
| LLEGNO | 115006 | 27,05 | 2,5 | 5,86 | 0,090 | |
| SUGHERO | 115008 | 14,77 | 2 | 3,40 | 0,043 | |
| FIBRA LEGNO | 115005 | 10,65 | 2 | 3,80 | 0,090 | |
| PUR | 115013 | 11,25 | 3 | 2,92 | 0,028 | |
| COPERTURE (piane) - laterocemento dall'interno | | | | | | |
| EPS/PSE | 115038 | 22,42 | 3 | 1,62 | 0,033 | 5,10 |
| XPS | 115037 | 22,66 | 3 | 1,7 | 0,034 | 5,10 |
| LR | | | | | | |
| LV | 115035 | 21,26 | 3 | 1,76 | 0,034 | 5,10 |
| LLEGNO | | | | | | |
| SUGHERO | | | | | | |
| FIBRA LEGNO | | | | | | |
| PUR | 115036 | 26,48 | 3 | 2,92 | 0,028 | 5,10 |
| SOTTOTETTI (non praticabili) - dall'esterno | | | | | | |
| EPS/PSE | 115044 | 6,96 | 3 | 1,62 | 0,033 | |
| XPS | 115047 | 7,2 | 3 | 1,7 | 0,034 | |
| LR | | | | | | |
| LV | 115045 | 5,65 | 5 | 0,54 | 0,043 | |
| LLEGNO | 115052 | 26,09 | 2,5 | 5,65 | 0,090 | |
| SUGHERO | | | | | | |
| FIBRA LEGNO | | | | | | |
| PUR | | | | | | |

Usualmente l'intervento viene eseguito tramite fornitura e messa in opera:

- per tetti in legno o per coperture piane in laterocemento dall'esterno, di pannelli di isolante;
- per tetti in legno o per coperture piane in laterocemento dall'interno, di pannelli di isolante fissati e rifiniti con lastra in gesso.

La Tabella 2.24 riporta una sintesi dei costi unitari degli interventi sulle coperture del primo solaio in edifici nuovi.

Tabella 2.24 Edifici nuovi – costi unitari interventi su coperture del primo solaio.

| materiale | n voce bollettino feb-12 | prezzo base (€/m2) | spessore base (cm) | prezzo al cm (€/m2) | condutt (W/mK) | costo evitato (€/m2) |
|---|--------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|----------------|----------------------|
| PRIMO SOLAIO - dall'interno (sottopavimento del locale riscaldato) | | | | | | |
| EPS/PSE | 115055 | 7,05 | 3 | 1,62 | 0,033 | |
| XPS | 115054 | 7,29 | 3 | 1,7 | 0,034 | |
| LR | | | | | | |
| LV | 115056 | 8,80 | 2 | 3,32 | 0,032 | |
| LLEGNO | 115058 | 12,16 | 0,8 | 13,64 | 0,090 | |
| SUGHERO | 115059 | 13,76 | 2 | 3,39 | 0,043 | |
| FIBRA LEGNO | | | | | | |
| PUR | (EN-AP05) | 9,89 | 2 | 3,96 | 0,024 | |
| PRIMO SOLAIO - dall'esterno (locale non riscaldato) | | | | | | |
| EPS/PSE | 115064 | 41,23 | 3 | 1,62 | 0,033 | 18,79 |
| XPS | 115065 | 46,38 | 3 | 2,19 | 0,034 | 18,79 |
| LR | 115061 | 44,60 | 4 | 11,15 | 0,037 | 18,79 |
| LV | 115060 | 39,90 | 2 | 1,74 | 0,035 | 18,79 |
| LLEGNO | 115063 | 60,30 | 2,5 | 6,86 | 0,090 | 18,79 |
| SUGHERO | | | | | | |
| FIBRA LEGNO | | | | | | |
| PUR | | | | | | |

Il primo solaio isola la parte dell'edificio riscaldata da quella non riscaldata, che può essere all'aperto (pilotis) oppure al chiuso, senza presenza continua di persone ed usualmente utilizzata a cantina od autorimessa.

Gli interventi si basano tramite fornitura e messa in opera;

- dall'interno, di pannelli di isolante;
- dall'esterno, di pannelli di isolante fissati e rifiniti con intonaco sottile armato.

La Tabella 2.25 riporta una sintesi dei costi unitari degli interventi sui solai controterra in edifici nuovi.

Tabella 2.25 Edifici nuovi – costi unitari interventi sui solai contro terra.

| materiale | n voce bollettino feb-12 | prezzo base (€/m2) | spessore base (cm) | prezzo al cm (€/m2) | condutt (W/mK) | costo evitato (€/m2) |
|---|--------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|----------------|----------------------|
| SOLAI CONTROTERRA - dall'interno | | | | | | |
| EPS/PSE | 115055 | 7,05 | 3 | 1,62 | 0,033 | |
| XPS | 115054 | 7,29 | 3 | 1,7 | 0,034 | |
| LR | | | | | | |
| LV | 115056 | 8,80 | 2 | 3,32 | 0,032 | |
| LLEGNO | 115058 | 12,16 | 0,8 | 13,64 | 0,090 | |
| SUGHERO | 115059 | 13,76 | 2 | 3,39 | 0,043 | |
| FIBRA LEGNO | | | | | | |
| PUR | (EN-AP05) | 9,89 | 2 | 3,96 | 0,024 | |

Usualmente l'intervento viene eseguito tramite fornitura e messa in opera di pannelli di isolante, al di sopra del quale viene realizzata la pavimentazione.

I costi degli interventi sull'involucro

Componenti opachi_Edifici esistenti

Per la determinazione dei prezzi elementari è stato utilizzato il prezzario DEI (Tipografia del Genio Civile) dei Prezzi Informativi dell'Edilizia per Recupero, Ristrutturazione e Manutenzione – edizione ottobre 2011, che elenca in sezioni distinte sia i materiali (sola fornitura) che le opere compiute (fornitura e messa in opera dei materiali).

Sono così state ricavate alcune tabelle di dettaglio (in giallo i valori non estratti in maniera diretta dalla sezione "Opere Compiute" ma ottenuti da altra sezione o fonte) riguardanti operazioni di riqualificazione energetica sui seguenti componenti edilizi:

- pareti verticali;
- strutture orizzontali - coperture finali
- strutture orizzontali - primo solaio;
- strutture orizzontali - solaio controterra.

La Tabella 2.26 riporta una sintesi dei costi unitari degli interventi su pareti verticali in edifici esistenti.

Tabella 2.26 Edifici esistenti – costi unitari interventi su pareti verticali.

| materiale | n voce bollettino ott-11 | prezzo base (€/m ²) | spessore base (cm) | prezzo al cm (€/m ²) | condutt (W/mK) | costo evitato (€/m ²) |
|---|--------------------------|---------------------------------|--------------------|----------------------------------|----------------|-----------------------------------|
| PARETI VERTICALI - isolamento dall'esterno | | | | | | |
| EPS/PSE | B15069 | 59,81 | 3 | 2,21 | 0,034 | 27,9 |
| XPS | B15070 | 60,18 | 4 | 2,66 | 0,034 | 27,9 |
| LR | | | | | | |
| LV | B15068 | 68,38 | 4 | 4,71 | 0,032 | 27,9 |
| LLEGNO | | | | | | |
| SUGHERO | | | | | | |
| FIBRA LEGNO | | | | | | |
| PUR | | | | | | |
| PARETI VERTICALI - isolamento dall'interno | | | | | | |
| EPS/PSE | B15072 | 38,95 | 3 | 1,94 | 0,033 | 24,02 |
| XPS | B15073 | 39,24 | 3 | 2,03 | 0,034 | 24,02 |
| LR | | | | | | |
| LV | B15071 | 39,29 | 3 | 2,05 | 0,035 | 24,02 |
| LLEGNO | | | | | | |
| SUGHERO | | | | | | |
| FIBRA LEGNO | | | | | | |
| PUR | B15074 | 43,74 | 3 | 3,47 | 0,028 | 24,02 |
| PARETI VERTICALI - isolamento in intercapedine | | | | | | |
| EPS/PSE | B15086 | 10,07 | 3 | 1,94 | 0,033 | |
| XPS | B15087 | 10,68 | 3 | 2,03 | 0,034 | |
| LR | (EE-AP01) | 11,65 | 4 | 1,59 | 0,034 | |
| LV | B15089 | 10,74 | 3 | 2,05 | 0,035 | |
| LLEGNO | | | | | | |
| SUGHERO | B15085 | 39,47 | 10 | 2,95 | 0,043 | |
| FIBRA LEGNO | | | | | | |
| PUR | B15088 | 15,18 | 3 | 8,25 | 0,028 | |
| FIBRE POLIESTERE | B15090 | 25,26 | 3 | 2,90 | 0,038 | |

Usualmente l'intervento viene 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;
- dall'interno, con pannelli di isolante e finitura in lastre di gesso;
- in intercapedine, tramite posa di pannelli di isolante prima della costruzione del secondo paramento più interno quando questo non esista e vada fatto, oppure, nel caso siano già presenti i due paramenti e vi sia una camera d'aria che li separa, tramite insufflaggio di materiali isolante in grani (i cui costi non compaiono in questo bollettino, ma possono essere utilizzati quelli del bollettino relativo agli edifici nuovi).

La Tabella 2.27 riporta una sintesi dei costi unitari degli interventi sulle coperture finali in edifici esistenti.

Tabella 2.27 Edifici esistenti – costi unitari interventi su coperture finali.

| materiale | n voce bollettino ott-11 | prezzo base (€/m2) | spessore base (cm) | prezzo al cm (€/m2) | condutt (W/mK) | costo evitato (€/m2) |
|---|--------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|----------------|----------------------|
| COPERTURE - tetto legno dall'esterno | | | | | | |
| EPS/PSE | | | | | | |
| XPS | B15030 | 14,91 | 3 | 2,61 | 0,034 | |
| LR | | | | | | |
| LV | B15028 | 12,32 | 3 | 2,53 | 0,037 | |
| LLEGNO | B15032 | 27,64 | 2,5 | 5,86 | 0,090 | |
| SUGHERO | | | | | | |
| FIBRA LEGNO | B15031 | 20,15 | 5 | 2,98 | 0,043 | |
| PUR | B15029 | 14,28 | 3 | 3,17 | 0,028 | |
| COPERTURE - tetto legno dall'interno | | | | | | |
| EPS/PSE | B15040 | 27,75 | 3 | 1,94 | 0,033 | 5,52 |
| XPS | B15039 | 28,04 | 3 | 2,03 | 0,034 | 5,52 |
| LR | | | | | | |
| LV | B15037 | 26,31 | 3 | 2,07 | 0,034 | 5,52 |
| LLEGNO | | | | | | |
| SUGHERO | | | | | | |
| FIBRA LEGNO | | | | | | |
| PUR | B15038 | 31,63 | 3 | 3,17 | 0,028 | 5,52 |
| COPERTURE (piane) - laterocemento dall'esterno | | | | | | |
| EPS/PSE | B15012 | 9,99 | 3 | 2,16 | 0,034 | |
| XPS | B15009 | 9,6 | 3 | 2,03 | 0,034 | |
| LR | (EE-AP02) | 13,13 | 4 | 2,24 | 0,034 | |
| LV | B15002 | 17,47 | 3 | 4,66 | 0,032 | |
| LLEGNO | B15006 | 27,53 | 2,5 | 6,08 | 0,090 | |
| SUGHERO | B15008 | 16,22 | 2 | 3,68 | 0,043 | |
| FIBRA LEGNO | B15005 | 12,98 | 2 | 3,8 | 0,043 | |
| PUR | B15013 | 13,19 | 3 | 3,17 | 0,028 | |
| COPERTURE (piane) - laterocemento dall'interno | | | | | | |
| EPS/PSE | B15018 | 25,8 | 3 | 1,94 | 0,033 | 5,52 |
| XPS | B15019 | 30,32 | 4 | 2,61 | 0,034 | 5,52 |
| LR | B15020 | 29,78 | 4 | 2,52 | 0,034 | 5,52 |
| LV | B15022 | 33,96 | 3 | 4,66 | 0,032 | 5,52 |
| LLEGNO | | | | | | |
| SUGHERO | | | | | | |
| FIBRA LEGNO | | | | | | |
| PUR | B15017 | 26,99 | 3 | 2,29 | 0,028 | 5,52 |
| SOTTOTETTI (non praticabili) - dall'esterno | | | | | | |
| EPS/PSE | B15046 | 8,65 | 3 | 1,93 | 0,033 | |
| XPS | B15049 | 8,93 | 3 | 2,03 | 0,034 | |
| LR | | | | | | |
| LV | B15047 | 6,54 | 5 | 0,65 | 0,043 | |
| LLEGNO | B15054 | 26,87 | 2,5 | 6,04 | 0,090 | |
| SUGHERO | | | | | | |
| FIBRA LEGNO | B15053 | 20,01 | 5 | 2,80 | 0,043 | |
| PUR | | | | | | |

Usualmente l'intervento viene eseguito tramite fornitura e messa in opera;

- per tetti in legno o per coperture piane in laterocemento dall'esterno, di pannelli di isolante;
- per tetti in legno o per coperture piane in laterocemento dall'interno, di pannelli di isolante fissati e rifiniti con lastra in gesso.

La Tabella 2.28 riporta una sintesi dei costi unitari degli interventi sul primo solaio in edifici esistenti.

Tabella 2.28 Edifici esistenti – costi unitari interventi sul primo solaio.

| materiale | n voce bollettino ott-11 | prezzo base (€/m2) | spessore base (cm) | prezzo al cm (€/m2) | condutt (W/mK) | costo evitato (€/m2) |
|---|--------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|----------------|----------------------|
| PRIMO SOLAIO - dall'interno (sottopavimento del locale riscaldato) | | | | | | |
| EPS/PSE | B15057 | 8,77 | 3 | 1,94 | 0,033 | |
| XPS | B15056 | 9,06 | 3 | 2,03 | 0,034 | |
| LR | | | | | | |
| LV | B15058 | 10,73 | 2 | 4,24 | 0,032 | |
| LLEGNO | B15060 | 13,00 | 0,8 | 13,64 | 0,090 | |
| SUGHERO | B15061 | 15,56 | 2 | 3,68 | 0,043 | |
| FIBRA LEGNO | | | | | | |
| PUR | (EE-AP05) | 9,89 | 2 | 3,96 | 0,024 | |
| PRIMO SOLAIO - dall'esterno (locale non riscaldato) | | | | | | |
| EPS/PSE | B15066 | 51,3 | 3 | 1,94 | 0,033 | 14,95 |
| XPS | B15067 | 53,54 | 4 | 2,61 | 0,034 | 14,95 |
| LR | B15063 | 51,05 | 4 | 11,15 | 0,037 | 14,95 |
| LV | B15062 | 45,45 | 2 | 2,05 | 0,035 | 14,95 |
| LLEGNO | B15065 | 65,29 | 2,5 | 5,53 | 0,090 | 14,95 |
| SUGHERO | | | | | | |
| FIBRA LEGNO | | | | | | |
| PUR | | | | | | |

Il primo solaio isola la parte dell'edificio riscaldata da quella non riscaldata, che può essere all'aperto (pilotis) oppure al chiuso, senza presenza continua di persone ed usualmente utilizzata a cantina od autorimessa.

Gli interventi si basano tramite fornitura e messa in opera;

- dall'interno, di pannelli di isolante;
- dall'esterno, di pannelli di isolante fissati e rifiniti con intonaco sottile armato.

La Tabella 2.29 riporta una sintesi dei costi unitari degli interventi sui solai controterra in edifici esistenti.

Tabella 2.29 Edifici esistenti – costi unitari interventi sui solai contro terra.

| materiale | n voce bollettino ott-11 | prezzo base (€/m2) | spessore base (cm) | prezzo al cm (€/m2) | condutt (W/mK) | costo evitato (€/m2) |
|---|--------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|----------------|----------------------|
| SOLAI CONTROTERRA - dall'interno | | | | | | |
| EPS/PSE | B15057 | 8,77 | 3 | 1,94 | 0,033 | |
| XPS | B15056 | 9,06 | 3 | 2,03 | 0,034 | |
| LR | | | | | | |
| LV | B15058 | 10,73 | 2 | 4,24 | 0,032 | |
| LLEGNO | B15060 | 13,00 | 0,8 | 13,64 | 0,090 | |
| SUGHERO | B15061 | 15,56 | 2 | 3,68 | 0,043 | |
| FIBRA LEGNO | | | | | | |
| PUR | (EE-AP05) | 9,89 | 2 | 3,96 | 0,024 | |

Usualmente l'intervento viene eseguito tramite fornitura e messa in opera di pannelli di isolante, sia nel caso di interventi dall'interno che nel caso di interventi dall'esterno.

I costi degli interventi sull'involucro

Componenti trasparenti

Per quel che concerne gli elementi trasparenti, tale settore ha avuto una forte evoluzione in questi anni poiché si sono affacciati nuovi materiali per i telai e sono nati diverse tipologie di vetrate.

Una tale variabilità non è parimenti riscontrabile attraverso i prezziari, che puntano invece su una sola tipologia di serramento e poi evidenziato la variabilità in funzioni delle modalità di apertura del serramento stesso (ad una anta, a due ante, basculanti, scorrevoli).

Il reperimento dei prezzi è avvenuto tramite indagine diretta con produttori e distributori.

Nella Tabella 2.30 sono riportati i costi riferiti alle finestre.

Tabella 2.30 Costi unitari di elementi trasparenti (finestre).

| ELEMENTI TRASPARENTI | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|-------------------|------|--------|----------|----------------|-------------|----------|------|------------|---------------------------|---------------------------|
| NUOVE INSTALLAZIONI | | | | | | | | | | | | |
| TIPOLOGIE E COSTI PER ZONE CLIMATICHE E LIVELLI DI PRESTAZIONE | | | | | | | | | | | | |
| Località | Livello | TELAIO | | | VETRO | | | | | SERRAMENTO | Costo (€/m ²) | Costo (€/m ²) |
| | | telaio | Uf | strati | intercap | trattamento | spessori | fatt sol | Ug | Uw | senza IVA | parametrizzato |
| Milano | 1 | legno duro s=50mm | 2,40 | 1 | --- | nessuno | 4 | 1 | 5,70 | 5,00 | 195 | 215 |
| Milano | 2 | legno duro s=70mm | 2,10 | 2 | aria | basso emissivo | 4-16-4 | 0,6 | 1,60 | 2,10 | 306 | 363 |
| Milano | 3 | legno duro s=70mm | 2,10 | 2 | aria | basso emissivo | 4-16-4 | 0,6 | 1,45 | 1,90 | 311 | 371 |
| Milano | 4 | legno duro s=70mm | 2,10 | 2 | argon | basso emissivo | 4-16-4 | 0,6 | 1,20 | 1,58 | 317 | 382 |
| Milano | 5 | pvc | 1,20 | 3 | aria | basso emissivo | 4-12-4-12-4 | 0,45 | 0,80 | 1,20 | 359 | 435 |

Anche per gli elementi trasparenti si apre il campo della variabilità nel momento in cui si passa dalla finestra alla porta-finestra oppure dal condominio (fornitura importante) al singolo appartamento (fornitura minima). Detta variabilità può essere così sintetizzata:

- Porte-finestre in condominio +10% rispetto ai costi di tabella
- Finestre in appartamenti = +20% rispetto ai costi di tabella
- Porte-finestre in appartamenti =+35% rispetto ai costi di tabella.

I costi degli interventi sull'involucro

Schermature solari

Altro settore in cui tipologie e materiali originano prodotti molto frastagliati e quello delle schermature solari. Una estrema sintesi basata su 2 livelli di efficienza energetica, può essere identificata con:

- livello 1: a lamelle fisse in lamiera zincata o alluminio anodizzato = 40 €/m²
- livello 2: a lamelle mobili in alluminio preverniciato a fuoco = 105 €/m².

(fonte: elaborazione RSE da prezziario DEI per nuove costruzioni, con IVA)

Nel caso di schermature a pale (lamelle di grandi dimensioni), per gli stessi livelli di efficienza, i costi risultano circa 2,5 volte quelli dei sistemi a lamelle fisse, cioè rispettivamente 100 €/m² e 262 €/m².

La scelta tra lamelle e pale è esclusivamente legata a motivi architettonici.

Ulteriori alternative sono le versioni in PVC, più costose ma senza prestazione energetica maggiore.

I costi degli interventi sull'impianto

Edifici residenziali

I costi globali da associare alle diverse soluzioni impiantistiche adottate per la climatizzazione degli edifici esaminati (HVAC), e quelli per la produzione energetica da fonti rinnovabili (PV e SOL), non sono di facile valutazione, in quanto influenzati da molteplici parametri.

L'ampia gamma di modelli e tecnologie presenti sul mercato, nonché le diverse offerte commerciali proposte dalle aziende produttrici, rendono infatti il parametro costi altamente variabile. E' possibile inoltre, che impianti simili in termini di rendimento energetico, abbiano costi sensibilmente diversi, in

quanto differenti sotto altri aspetti, quali: tecnologie impiegate, materiali di rivestimento, classe acustica, dispositivi di controllo, marchio commerciale, o altri componenti.

E' importante inoltre considerare, che al prezzo totale di un impianto, concorrono anche le diverse "opere accessorie" connesse all'installazione e variabili in funzione dell'edificio in esame, tra cui: adeguamento della centrale termica, verifiche di conformità alle norme di sicurezza e antincendio, adeguamento dei sistemi di evacuazione fumi, spese di allaccio alla rete gas nazionale, opere civili ed idrauliche, ecc.

Ai fini della metodologia di calcolo è stato quindi necessario ipotizzare delle configurazioni "standard" che permettessero di individuare delle tipologie impiantistiche comuni negli edifici tipo considerati, prescindendo da eventuali costi aggiuntivi legati a situazioni specifiche e non direttamente influenti sulle prestazioni energetiche. Le opere civili ed idrauliche precedentemente descritte, obbligatorie per la corretta realizzazione dell'impianto termico, sono state considerate quindi già parte integrante degli edifici in esame, e non considerate ai fini della determinazione dei costi globali.

I pacchetti impiantistici ipotizzati sono stati scelti tra quelli maggiormente diffusi in ambito residenziale, e corrispondenti a livelli crescenti di efficienza energetica. I costi associati alle varie tipologie d'impianto sono stati valutati facendo riferimento ai listini dei maggiori produttori nonché a studi di mercato effettuati da associazioni di categoria.

Per ciascun impianto, il costo globale è stato determinato a partire dai costi dei principali componenti, considerando: generatore, sistema di regolazione, terminali e ausiliari elettrici/idraulici.

Le diverse tipologie di generatori sono state individuate considerando il fabbisogno termico richiesto dai diversi edifici in esame, nuovi ed esistenti. A queste sono state successivamente associate tipologie di terminali e di regolazione compatibili con le tecnologie considerate.

Il costo del generatore include anche quello dell'IVA (21%), dell'installazione, e anche del sistema di regolazione che ad esso è associato. I livelli di regolazione sono così associati: 15.1-Caldia tradizionale /regolazione in centrale o caldaia, 15.2-Caldia a tre stelle/regolazione per zona e 15.3-Caldia a condensazione e alla Pompa di calore/regolazione per singolo ambiente

Il costo degli ausiliari elettrici e dei dispositivi di controllo idraulico è stato stimato ipotizzando un'incidenza variabile tra il 5% ed il 15% in funzione della tecnologia di generazione termica ipotizzata e del sistema di distribuzione richiesto dal tipo di edificio in esame.

Per gli impianti fotovoltaici, di cui si è ipotizzata l'installazione in copertura degli edifici, si è fatto riferimento al prezzo di mercato in funzione della potenza, valutato in 3000 €/kWp, comprensivo anche degli altri componenti principali del sistema, quali inverter e quadri di controllo. Analogamente, i costi relativi ai collettori solari termici, destinati alla produzione di ACS, sono stati valutati in funzione dell'area del collettore, con un prezzo di mercato di 900-1000 €/ m².

Per gli impianti di ventilazione meccanica ipotizzati solo sui nuovi edifici, i costi totali sono stati dedotti a partire dal costo medio per unità abitativa, compreso tra i 3500 e i 5000 €.

Dalla Tabella 2.31 alla Tabella 2.39, sono elencati i costi globali degli impianti per i diversi edifici residenziali presi in esame, differenziati per tipologie ed epoche di costruzione.

Tabella 2.31 Costi globali degli impianti, edificio monofamiliare nuovo.

| Tipologia: EDIFICIO MONOFAMILIARE | | | | | |
|---|--------------------------------------|-----------------------|---|-------------|------------------|
| Epoca: NUOVO | | | | | |
| EEM | Tipologia | Pn (kW) | Impianto e componenti principali | LEEM | Costo (€) |
| High efficiency chiller | Multisplit aria-aria | 6 | <i>Multisplit e dispositivi controllo</i> | 7.1 | 2600 |
| | Multisplit aria-aria | 6 | <i>Multisplit e dispositivi controllo</i> | 7.2 | 3200 |
| | Multisplit aria-aria | 6 | <i>Multisplit e dispositivi controllo</i> | 7.3 | 3600 |
| Heat generator systems | Pompa di calore aria-acqua | 7 | <i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 8.4 | 10000 |
| | Pompa di calore aria-acqua | 7 | <i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Pannelli rad.</i> | 8.5 | 12000 |
| Efficiency System for DHW | Caldaia trad. | 24 | <i>Cald. murale</i> | 9.1 | 800 |
| | Caldaia 3 stelle | 24 | <i>Cald. murale</i> | 9.2 | 1000 |
| | Caldaia condens. | 24 | <i>Cald. murale</i> | 9.3 | 1600 |
| Efficiency Heat Generator System for heating and hot water | Caldaia trad. | 24 | <i>Cald. murale +Reg 15.1+ Radiatori</i> | 10.1 | 2600 |
| | Caldaia 3 stelle | 24 | <i>Cald. murale +Reg 15.2+ Radiatori</i> | 10.2 | 2800 |
| | Caldaia condens. | 24 | <i>Cald. murale +Reg 15.3+ Pannelli rad.</i> | 10.3 | 5000 |
| Heat pump for heating, cooling and hot water | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 12 | <i>Pompa di calore +Reg15.3+ Fan-coil</i> | 11.1 | 8800 |
| | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 12 | <i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 11.2 | 11000 |
| | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 12 | <i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 11.3 | 13200 |
| Thermal solar systems | Solare termico | 2 m ² | <i>Collettori +circuito+accumulo</i> | 12.1 | 2000 |
| | Solare termico | 4 m ² | <i>Collettori +circuito+accumulo</i> | 12.2 | 4000 |
| | Solari termico | 5 m ² | <i>Collettori +circuito+accumulo</i> | 12.3 | 5000 |
| PV system | Fotovoltaico | 1 | <i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i> | 13.1 | 3000 |
| | Fotovoltaico | 3 | <i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i> | 13.2 | 9000 |
| | Fotovoltaico | 4 | <i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i> | 13.3 | 12000 |
| | Fotovoltaico | 5 | <i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i> | 13.4 | 15000 |
| Energy recovery ventilation system | Recuperatori calore | 100 m ³ /h | <i>Scambiatore e canalizzazioni</i> | 14.1 | 3500 |
| | Recuperatori calore | 100 m ³ /h | <i>Scambiatore e canalizzazioni</i> | 14.2 | 4000 |
| | Recuperatori calore | 100 m ³ /h | <i>Scambiatore e canalizzazioni</i> | 14.3 | 5000 |

Tabella 2.32 Costi globali degli impianti, edificio monofamiliare epoca 1946-1976.

| Tipologia: EDIFICIO MONOFAMILIARE | | | | | |
|---|--------------------------------------|------------------|---|-------------|------------------|
| Epoca: 1946-1976 | | | | | |
| EEM | Tipologia | Pn (kW) | Impianto e componenti principali | LEEM | Costo (€) |
| High efficiency chiller | Multisplit aria-aria | 9 | <i>Multisplit e dispositivi controllo</i> | 7.1 | 4200 |
| | Multisplit aria-aria | 9 | <i>Multisplit e dispositivi controllo</i> | 7.2 | 4800 |
| | Multisplit aria-aria | 9 | <i>Multisplit e dispositivi controllo</i> | 7.3 | 5200 |
| Heat generator systems | Pompa di calore aria-acqua | 20 | <i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 8.4 | 12200 |
| | Pompa di calore aria-acqua | 20 | <i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 8.5 | 13200 |
| Efficiency System for DHW | Caldaia trad. | 24 | <i>Cald. murale</i> | 9.1 | 800 |
| | Caldaia 3 stelle | 24 | <i>Cald. murale</i> | 9.2 | 1000 |
| | Caldaia condens. | 24 | <i>Cald. murale</i> | 9.3 | 1600 |
| Efficiency Heat Generator System for heating and hot water | Caldaia trad. | 24 | <i>Cald. murale +Reg 15.1+ Radiatori</i> | 10.1 | 2600 |
| | Caldaia 3 stelle | 24 | <i>Cald. murale +Reg 15.2+ Radiatori</i> | 10.2 | 2800 |
| | Caldaia condens. | 24 | <i>Cald. murale +Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 10.3 | 4000 |
| Heat pump for heating, cooling and hot water | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 20 | <i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 11.1 | 12200 |
| | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 20 | <i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 11.2 | 13200 |
| | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 20 | <i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 11.3 | 18800 |
| Thermal solar systems | Solare termico | 2 m ² | <i>Collettori +circuito+accumulo</i> | 12.1 | 2000 |
| | Solare termico | 4 m ² | <i>Collettori +circuito+accumulo</i> | 12.2 | 4000 |
| | Solari termico | 5 m ² | <i>Collettori +circuito+accumulo</i> | 12.3 | 5000 |
| PV system | Fotovoltaico | 1 | <i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i> | 13.1 | 3000 |
| | Fotovoltaico | 3 | <i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i> | 13.2 | 9000 |
| | Fotovoltaico | 4 | <i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i> | 13.3 | 12000 |
| | Fotovoltaico | 5 | <i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i> | 13.4 | 15000 |

Tabella 2.33 Costi globali degli impianti, edificio monofamiliare epoca 1977-1990.

| Tipologia: EDIFICIO MONOFAMILIARE | | | | | |
|--|--------------------------------------|------------------|--------------------------------------|------|-----------|
| Epoca: 1977-1990 | | | | | |
| EEM | Tipologia | Pn (kW) | Impianto e componenti principali | LEEM | Costo (€) |
| High efficiency chiller | Multisplit aria-aria | 9 | Multisplit e dispositivi controllo | 7.1 | 4200 |
| | Multisplit aria-aria | 9 | Multisplit e dispositivi controllo | 7.2 | 4800 |
| | Multisplit aria-aria | 9 | Multisplit e dispositivi controllo | 7.3 | 5200 |
| Heat generator systems | Pompa di calore aria-acqua | 20 | Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil | 8.4 | 12200 |
| | Pompa di calore aria-acqua | 20 | Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil | 8.5 | 13200 |
| Efficiency System for DHW | Caldaia trad. | 24 | Cald. murale | 9.1 | 800 |
| | Caldaia 3 stelle | 24 | Cald. murale | 9.2 | 1000 |
| | Caldaia condens. | 24 | Cald. murale | 9.3 | 1600 |
| Efficiency Heat Generator System for heating and hot water | Caldaia trad. | 24 | Cald. murale +Reg 15.1+ Radiatori | 10.1 | 2600 |
| | Caldaia 3 stelle | 24 | Cald. murale +Reg 15.2+ Radiatori | 10.2 | 2800 |
| | Caldaia condens. | 24 | Cald. murale +Reg 15.3+ Fan-coil | 10.3 | 4000 |
| Heat pump for heating, cooling and hot water | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 20 | Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil | 11.1 | 12200 |
| | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 20 | Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil | 11.2 | 13200 |
| | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 20 | Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil | 11.3 | 18800 |
| Thermal solar systems | Solare termico | 2 m ² | Collettori +circuito+accumulo | 12.1 | 2000 |
| | Solare termico | 4 m ² | Collettori +circuito+accumulo | 12.2 | 4000 |
| | Solari termico | 5 m ² | Collettori +circuito+accumulo | 12.3 | 5000 |
| PV system | Fotovoltaico | 1 | Pannelli+ inverter +quadri controllo | 13.1 | 3000 |
| | Fotovoltaico | 3 | Pannelli+ inverter +quadri controllo | 13.2 | 9000 |
| | Fotovoltaico | 4 | Pannelli+ inverter +quadri controllo | 13.3 | 12000 |
| | Fotovoltaico | 5 | Pannelli+ inverter +quadri controllo | 13.4 | 15000 |

Tabella 2.34 Costi globali degli impianti, edificio piccolo condominio, nuovo.

| Tipologia: EDIFICIO PICCOLO CONDOMINIO | | | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|------|-----------|
| Epoca: NUOVO | | | | | |
| EEM | Tipologia | Pn (kW) | Impianto e componenti principali | LEEM | Costo (€) |
| High efficiency chiller | Multisplit aria-aria | 6 | Multisplit e dispositivi controllo | 7.1 | 15800 |
| | Multisplit aria-aria | 6 | Multisplit e dispositivi controllo | 7.2 | 19000 |
| | Multisplit aria-aria | 6 | Multisplit e dispositivi controllo | 7.3 | 22000 |
| Heat generator systems | Caldaia trad. | 24 | Cald. +Reg 15.1+ Radiatori | 8.1 | 10800 |
| | Caldaia 3 stelle | 24 | Cald. +Reg 15.2+ Radiatori | 8.2 | 11000 |
| | Caldaia condens. | 24 | Cald. condens. +Reg 15.2+ Pannelli rad. | 8.3 | 21600 |
| | Pompa di calore aria-acqua | 25 | Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil | 8.4 | 22000 |
| | Pompa di calore aria-acqua | 25 | Pompa di calore +Reg 15.3+ Pannelli rad. | 8.5 | 29800 |
| Efficiency System for DHW | Caldaia trad. | 24 | Cald. murale | 9.1 | 4800 |
| | Caldaia 3 stelle | 24 | Cald. murale | 9.2 | 6000 |
| | Caldaia condens. | 24 | Cald. murale | 9.3 | 9600 |
| Efficiency Heat Generator System for heating and hot water | Caldaia trad. | 24 | Cald. murale +Reg 15.1+ Radiatori | 10.1 | 15200 |
| | Caldaia 3 stelle | 24 | Cald. murale +Reg 15.2+ Radiatori | 10.2 | 16600 |
| | Caldaia condens. | 24 | Cald murale condens +Reg 15.3+ Pannelli rad. | 10.3 | 30400 |
| Heat pump for heating, cooling and hot water | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 25 | Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil | 11.1 | 19800 |
| | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 25 | Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil | 11.2 | 22000 |
| | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 25 | Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil | 11.3 | 24200 |
| Thermal solar systems | Solare termico | 7 | Collettori +circuito+accumulo | 12.1 | 7000 |
| | Solare termico | 12 | Collettori +circuito+accumulo | 12.2 | 12000 |
| | Solari termico | 17 | Collettori +circuito+accumulo | 12.3 | 17000 |
| PV system | Fotovoltaico | 2,5 | Pannelli+ inverter +quadri controllo | 13.1 | 7600 |
| | Fotovoltaico | 5 | Pannelli+ inverter +quadri controllo | 13.2 | 15000 |
| | Fotovoltaico | 7,5 | Pannelli+ inverter +quadri controllo | 13.3 | 22600 |
| | Fotovoltaico | 10 | Pannelli+ inverter +quadri controllo | 13.4 | 30000 |
| Energy recovery ventilation | Recuperatori calore | 80 m3/h | Scambiatore e canalizzazioni | 14.1 | 21000 |
| | Recuperatori calore | 80 m3/h | Scambiatore e canalizzazioni | 14.2 | 24000 |
| | Recuperatori calore | 80 m3/h | Scambiatore e canalizzazioni | 14.3 | 30000 |

| | | | | | |
|--------|--|--|--|--|--|
| system | | | | | |
|--------|--|--|--|--|--|

Tabella 2.35 Costi globali degli impianti, edificio piccolo condominio, epoca 1946-1976.

| Tipologia: EDIFICIO PICCOLO CONDOMINIO | | | | | |
|---|--------------------------------------|----------------|---|-------------|------------------|
| Epoca: 1946-1976 | | | | | |
| EEM | Tipologia | Pn (kW) | Impianto e componenti principali | LEEM | Costo (€) |
| High efficiency chiller | Multisplit aria-aria | 9 | <i>Multisplit e dispositivi controllo</i> | 7.1 | 50400 |
| | Multisplit aria-aria | 9 | <i>Multisplit e dispositivi controllo</i> | 7.2 | 56800 |
| | Multisplit aria-aria | 9 | <i>Multisplit e dispositivi controllo</i> | 7.3 | 63000 |
| Heat generator systems | Caldaia trad. | 100 | <i>Cald. +Reg 15.1+ Radiatori</i> | 8.1 | 23200 |
| | Caldaia 3 stelle | 100 | <i>Cald. +Reg 15.2+ Radiatori</i> | 8.2 | 24200 |
| | Caldaia condens. | 100 | <i>Cald. condens. +Reg 15.2+ Fan-coil</i> | 8.3 | 40800 |
| | Pompa di calore aria-acqua | 100 | <i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 8.4 | 51800 |
| | Pompa di calore aria-acqua | 100 | <i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 8.5 | 54000 |
| Efficiency System for DHW | Caldaia trad. | 24 | <i>Cald. murale</i> | 9.1 | 9600 |
| | Caldaia 3 stelle | 24 | <i>Cald. murale</i> | 9.2 | 12000 |
| | Caldaia condens. | 24 | <i>Cald. murale</i> | 9.3 | 19200 |
| Efficiency Heat Generator System for heating and hot water | Caldaia trad. | 24 | <i>Cald.murale +Reg 1+ Radiatori</i> | 10.1 | 30400 |
| | Caldaia 3 stelle | 24 | <i>Cald.murale +Reg 2+ Radiatori</i> | 10.2 | 33000 |
| | Caldaia condens. | 24 | <i>Cald.murale +Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 10.3 | 47600 |
| Heat pump for heating, cooling and hot water | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 100 | <i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 11.1 | 51800 |
| | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 100 | <i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 11.2 | 54000 |
| | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 100 | <i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 11.3 | 56200 |
| Thermal solar systems | Solare termico | 14 | <i>Collettori +circuito+accumulo</i> | 12.1 | 14000 |
| | Solare termico | 24 | <i>Collettori +circuito+accumulo</i> | 12.2 | 24000 |
| | Solari termico | 34 | <i>Collettori +circuito+accumulo</i> | 12.3 | 34000 |
| PV system | Fotovoltaico | 2 | <i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i> | 13.1 | 6000 |
| | Fotovoltaico | 4 | <i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i> | 13.2 | 12000 |
| | Fotovoltaico | 6 | <i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i> | 13.3 | 18000 |
| | Fotovoltaico | 8 | <i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i> | 13.4 | 24000 |

Tabella 2.36 Costi globali degli impianti, edificio piccolo condominio, epoca 1977-1990.

| Tipologia: EDIFICIO PICCOLO CONDOMINIO | | | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--------------------------------------|------|-----------|
| Epoca: 1977-1990 | | | | | |
| EEM | Tipologia | Pn (kW) | Impianto e componenti principali | LEEM | Costo (€) |
| High efficiency chiller | Multisplit aria-aria | 9 | Multisplit e dispositivi controllo | 7.1 | 50400 |
| | Multisplit aria-aria | 9 | Multisplit e dispositivi controllo | 7.2 | 56800 |
| | Multisplit aria-aria | 9 | Multisplit e dispositivi controllo | 7.3 | 6300 |
| Heat generator systems | Caldaia trad. | 100 | Cald. +Reg 15.1+ Radiatori | 8.1 | 23200 |
| | Caldaia 3 stelle | 100 | Cald. +Reg 15.2+ Radiatori | 8.2 | 24200 |
| | Caldaia condens. | 100 | Cald. condens. +Reg 15.2+ Fan-coil | 8.3 | 40800 |
| | Pompa di calore aria-acqua | 100 | Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil | 8.4 | 51800 |
| | Pompa di calore aria-acqua | 100 | Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil | 8.5 | 54000 |
| Efficiency System for DHW | Caldaia trad. | 24 | Cald. murale | 9.1 | 9600 |
| | Caldaia 3 stelle | 24 | Cald. murale | 9.2 | 12000 |
| | Caldaia condens. | 24 | Cald. murale | 9.3 | 19200 |
| Efficiency Heat Generator System for heating and hot water | Caldaia trad. | 24 | Cald.murale +Reg 1+ Radiatori | 10.1 | 30400 |
| | Caldaia 3 stelle | 24 | Cald.murale +Reg 2+ Radiatori | 10.2 | 33000 |
| | Caldaia condens. | 24 | Cald.murale +Reg 15.3+ Fan-coil | 10.3 | 47600 |
| Heat pump for heating, cooling and hot water | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 100 | Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil | 11.1 | 51800 |
| | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 100 | Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil | 11.2 | 54000 |
| | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 100 | Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil | 11.3 | 59400 |
| Thermal solar systems | Solare termico | 14 | Collettori +circuito+accumulo | 12.1 | 14400 |
| | Solare termico | 24 | Collettori +circuito+accumulo | 12.2 | 24000 |
| | Solari termico | 34 | Collettori +circuito+accumulo | 12.3 | 34000 |
| PV system | Fotovoltaico | 2,5 | Pannelli+ inverter +quadri controllo | 13.1 | 7500 |
| | Fotovoltaico | 5 | Pannelli+ inverter +quadri controllo | 13.2 | 15000 |
| | Fotovoltaico | 7,6 | Pannelli+ inverter +quadri controllo | 13.3 | 22800 |
| | Fotovoltaico | 10 | Pannelli+ inverter +quadri controllo | 13.4 | 30000 |

Tabella 2.37 Costi globali degli impianti, edificio grande condominio, nuovo.

| Tipologia: EDIFICIO GRANDE CONDOMINIO | | | | | |
|---|--------------------------------------|----------------------|--|-------------|------------------|
| Epoca: NUOVO | | | | | |
| EEM | Tipologia | Pn (kW) | Impianto e componenti principali | LEEM | Costo (€) |
| High efficiency chiller | Multisplit aria-aria | 6 | <i>Multisplit e dispositivi controllo</i> | 7.1 | 63000 |
| | Multisplit aria-aria | 6 | <i>Multisplit e dispositivi controllo</i> | 7.2 | 75.600 |
| | Multisplit aria-aria | 6 | <i>Multisplit e dispositivi controllo</i> | 7.3 | 88.200 |
| Heat generator systems | Caldaia trad. | 70 | <i>Gruppo termico +Reg 15.1+ Radiatori</i> | 8.1 | 46.000 |
| | Caldaia 3 stelle | 70 | <i>Gruppo termico +Reg 15.2+ Radiatori</i> | 8.2 | 47.200 |
| | Caldaia condens. | 70 | <i>Gruppo termico cond. +Reg 15.3+ Pannelli rad.</i> | 8.3 | 92.000 |
| | Pompa di calore aria-acqua | 70 | <i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 8.4 | 79.400 |
| | Pompa di calore aria-acqua | 70 | <i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Pannelli rad.</i> | 8.5 | 116.200 |
| Efficiency System for DHW | Caldaia trad. | 24 | <i>Cald. murale</i> | 9.1 | 19.200 |
| | Caldaia 3 stelle | 24 | <i>Cald. murale</i> | 9.2 | 24.000 |
| | Caldaia condens. | 24 | <i>Cald. murale</i> | 9.3 | 38.400 |
| Efficiency Heat Generator System for heating and hot water | Caldaia trad. | 24 | <i>Cald. murale +Reg 1+ Radiatori</i> | 10.1 | 63.400 |
| | Caldaia 3 stelle | 24 | <i>Cald. murale +Reg 2+ Radiatori</i> | 10.2 | 69.000 |
| | Caldaia condens. | 24 | <i>Cald. murale +Reg 15.3+ Pannelli rad.</i> | 10.3 | 127.000 |
| Heat pump for heating, cooling and hot water | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 100 | <i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 11.1 | 84600 |
| | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 100 | <i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 11.2 | 89800 |
| | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 100 | <i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 11.3 | 94800 |
| Thermal solar systems | Solare termico | 29 | <i>Collettori +circuito+accumulo</i> | 12.1 | 26000 |
| | Solare termico | 48 | <i>Collettori +circuito+accumulo</i> | 12.2 | 43200 |
| | Solari termico | 67 | <i>Collettori +circuito+accumulo</i> | 12.3 | 60400 |
| PV system | Fotovoltaico | 4 | <i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i> | 13.1 | 12000 |
| | Fotovoltaico | 8 | <i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i> | 13.2 | 24000 |
| | Fotovoltaico | 11 | <i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i> | 13.3 | 33000 |
| | Fotovoltaico | 15 | <i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i> | 13.4 | 45000 |
| Energy recovery ventilation system | Recuperatori calore | 75 m ³ /h | <i>Scambiatore e canalizzazioni</i> | 14.1 | 60000 |
| | Recuperatori calore | 75 m ³ /h | <i>Scambiatore e canalizzazioni</i> | 14.2 | 84000 |
| | Recuperatori calore | 75 m ³ /h | <i>Scambiatore e canalizzazioni</i> | 14.3 | 96000 |

Tabella 2.38 Costi globali degli impianti, edificio grande condominio, epoca 1946-1976.

| Tipologia: EDIFICIO GRANDE CONDOMINIO | | | | | |
|---|--------------------------------------|----------------|---|-------------|------------------|
| Epoca: 1946-1976 | | | | | |
| EEM | Tipologia | Pn (kW) | Impianto e componenti principali | LEEM | Costo (€) |
| High efficiency chiller | Multisplit aria-aria | 9 | <i>Multisplit e dispositivi controllo</i> | 7.1 | 100.800 |
| | Multisplit aria-aria | 9 | <i>Multisplit e dispositivi controllo</i> | 7.2 | 113.400 |
| | Multisplit aria-aria | 9 | <i>Multisplit e dispositivi controllo</i> | 7.3 | 126.000 |
| Heat generator systems | Caldaia trad. | 200 | <i>Gruppo termico +Reg 15.1+ Radiatori</i> | 8.1 | 47.200 |
| | Caldaia 3 stelle | 200 | <i>Gruppo termico +Reg 15.2+ Radiatori</i> | 8.2 | 49.400 |
| | Caldaia condens. | 200 | <i>Gruppo termico cond. +Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 8.3 | 78.200 |
| | Pompa di calore aria-acqua | 200 | <i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 8.4 | 105.800 |
| | Pompa di calore aria-acqua | 200 | <i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 8.5 | 110.400 |
| Efficiency System for DHW | Caldaia trad. | 24 | <i>Cald. murale</i> | 9.1 | 19.200 |
| | Caldaia 3 stelle | 24 | <i>Cald. murale</i> | 9.2 | 24.000 |
| | Caldaia condens. | 24 | <i>Cald. murale</i> | 9.3 | 38.400 |
| Efficiency Heat Generator System for heating and hot water | Caldaia trad. | 24 | <i>Cald. murale +Reg 1+ Radiatori</i> | 10.1 | 63.400 |
| | Caldaia 3 stelle | 24 | <i>Cald. murale +Reg2 + Radiatori</i> | 10.2 | 69.000 |
| | Caldaia condens. | 24 | <i>Cald. murale +Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 10.3 | 99400 |
| Heat pump for heating, cooling and hot water | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 200 | <i>Pompa di calore +Reg15.3 + Fan-coil</i> | 11.1 | 101.200 |
| | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 200 | <i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 11.2 | 105.800 |
| | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 200 | <i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 11.3 | 110.400 |
| Thermal solar systems | Solare termico | 29 | <i>Collettori +circuito+accumulo</i> | 12.1 | 26000 |
| | Solare termico | 48 | <i>Collettori +circuito+accumulo</i> | 12.2 | 43200 |
| | Solari termico | 67 | <i>Collettori +circuito+accumulo</i> | 12.3 | 60400 |
| PV system | Fotovoltaico | 3 | <i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i> | 13.1 | 9000 |
| | Fotovoltaico | 6 | <i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i> | 13.2 | 18000 |
| | Fotovoltaico | 8 | <i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i> | 13.3 | 24000 |
| | Fotovoltaico | 11 | <i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i> | 13.4 | 33000 |

Tabella 2.39 Costi globali degli impianti, edificio grande condominio, epoca 1977-1990.

| Tipologia: EDIFICIO GRANDE CONDOMINIO | | | | | |
|--|--------------------------------------|---------|--|------|-----------|
| Epoca: 1976-1990 | | | | | |
| EEM | Tipologia | Pn (kW) | Impianto e componenti principali | LEEM | Costo (€) |
| High efficiency chiller | Multisplit aria-aria | 9 | Multisplit e dispositivi controllo | 7.1 | 201.600 |
| | Multisplit aria-aria | 9 | Multisplit e dispositivi controllo | 7.2 | 226.800 |
| | Multisplit aria-aria | 9 | Multisplit e dispositivi controllo | 7.3 | 252.000 |
| Heat generator systems | Caldaia trad. | 300 | Gruppo termico +Reg 15.1+ Radiatori | 8.1 | 89.800 |
| | Caldaia 3 stelle | 300 | Gruppo termico +Reg 15.2+ Radiatori | 8.2 | 92.000 |
| | Caldaia condens. | 300 | Gruppo termico cond. +Reg 15.3+ Fan-coil | 8.3 | 40.400 |
| | Pompa di calore aria-acqua | 300 | Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil | 8.4 | 170.200 |
| | Pompa di calore aria-acqua | 300 | Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil | 8.5 | 73.600 |
| Efficiency System for DHW | Caldaia trad. | 24 | Cald. murale | 9.1 | 38400 |
| | Caldaia 3 stelle | 24 | Cald. murale | 9.2 | 48000 |
| | Caldaia condens. | 24 | Cald. murale | 9.3 | 76800 |
| Efficiency Heat Generator System for heating and hot water | Caldaia trad. | 24 | Cald. murale +Reg 1+ Radiatori | 10.1 | 127000 |
| | Caldaia 3 stelle | 24 | Cald. murale +Reg2 + Radiatori | 10.2 | 138000 |
| | Caldaia condens. | 300 | Cald. murale +Reg 15.3+ Fan-coil | 10.3 | 198800 |
| Heat pump for heating, cooling and hot water | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 300 | Pompa di calore +Reg15.3 + Fan-coil | 11.1 | 170200 |
| | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 300 | Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil | 11.2 | 173600 |
| | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 300 | Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil | 11.3 | 179400 |
| Thermal solar systems | Solare termico | 58 | Collettori +circuito+accumulo | 12.1 | 51840 |
| | Solare termico | 96 | Collettori +circuito+accumulo | 12.2 | 86400 |
| | Solari termico | 134 | Collettori +circuito+accumulo | 12.3 | 121000 |
| PV system | Fotovoltaico | 4 | Pannelli+ inverter +quadri controllo | 13.1 | 12000 |
| | Fotovoltaico | 9 | Pannelli+ inverter +quadri controllo | 13.2 | 27000 |
| | Fotovoltaico | 13 | Pannelli+ inverter +quadri controllo | 13.3 | 39000 |
| | Fotovoltaico | 17 | Pannelli+ inverter +quadri controllo | 13.4 | 51000 |

Edifici uso ufficio

In analogia a quanto fatto per gli edifici residenziali, anche i costi relativi agli impianti per gli edifici ad uso ufficio, sono stati valutati ipotizzando le configurazioni impiantistiche, per la climatizzazione (HVAC) e per la produzione energetica da fonti rinnovabili (PV e SOL), più diffuse e compatibili con le tipologie edilizie prese in esame. I costi globali da associare alle diverse soluzioni impiantistiche

Anche in questo caso si è fatto riferimento alla valutazione dei costi relativi ai componenti essenziali dell'impianto, (*generazione, regolazione, emissione, ausiliari elettrici/idraulici*) prescindendo da eventuali costi aggiuntivi legati a situazioni specifiche o all'adeguamento strutturale/edile dell'edificio.

Le diverse tipologie di generatori sono state individuate considerando il fabbisogno termico richiesto dai diversi edifici in esame, nuovi ed esistenti. A queste sono state successivamente associate tipologie di terminali e di regolazione compatibili con le tecnologie considerate.

Il costo del generatore include anche quello dell'IVA vigente (21%), dell'installazione e del sistema di regolazione che ad esso è associato.

Il costo degli ausiliari elettrici e dei dispositivi di controllo idraulico è stato stimato ipotizzando un'incidenza variabile tra il 5% ed il 20% in funzione della tecnologia di generazione termica ipotizzata e del sistema di distribuzione richiesto dal tipo di edificio in esame.

Per la potenza installata dell'impianto PV si è fatto riferimento alla superficie disponibile in copertura variabile tra il 10% e il 40% del lastricato solare; il costo di riferimento è stato 3000 €/kWp comprensivo di inverter e dispositivi di controllo.

La superficie relativa ai collettori solari termici è stata invece calcolata ipotizzando un fabbisogno idrico giornaliero valutato secondo la UNI TS 11300-2 ed un costo compreso tra 800-1000 €/m².

Gli impianti di ventilazione meccanica, di cui si prevede l'installazione nei soli locali ad uso ufficio, sono stati valutati prevedendo una portata di ricambio oraria calcolata secondo la UNI 10339 [21] ed un costo compreso tra i 40-60 €/m².

Le diverse tipologie edilizie prese in esame, sono state sintetizzate in tre diversi modelli di riferimento suddivisi per epoca:

- Uffici esistenti (epoca di costruzione: 1946-1976)
- Uffici esistenti (epoca di costruzione: 1976-1991)
- Uffici nuovi (epoca di costruzione: oggi)

Dalla Tabella 2.40 alla Tabella 2.42, sono elencati i costi globali degli impianti per i diversi edifici ad uso ufficio relativi alla climatizzazione (HVAC) e alla produzione energetica da fonti rinnovabili.

Tabella 2.40 Costi globali degli impianti, edificio uso ufficio, nuovo.

| Tipologia: EDIFICIO USO UFFICIO | | | | | |
|---|--------------------------------------|------------------------|---|-------------|------------------|
| Epoca: NUOVO | | | | | |
| EEM | Tipologia | Pn (kW) | Impianto e componenti principali | LEEM | Costo (€) |
| High efficiency chiller | Chiller | 150 | Gruppo Frigo+Reg+Fancoil | 7.1 | 68800 |
| | Chiller | 150 | Gruppo Frigo+Reg+Fancoil | 7.2 | 74300 |
| | Chiller | 150 | Gruppo Frigo+Reg+Fancoil | 7.3 | 82000 |
| Efficiency Heat Generator System for heating and hot water | Caldaia trad. | 80 | <i>Caldaia centralizzata+Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 10.1 | 46800 |
| | Caldaia 3 stelle | 80 | <i>Caldaia centralizzata+Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 10.2 | 47900 |
| | Caldaia condens. | 80 | <i>Caldaia centralizzata +Reg 15.3+ Fan-coil.</i> | 10.3 | 51200 |
| Heat pump for heating, cooling and hot water | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 150 | <i>Pompa di calore +Reg15.3+ Fan-coil</i> | 11.1 | 81000 |
| | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 150 | <i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 11.2 | 87000 |
| | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 150 | <i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 11.3 | 93000 |
| Thermal solar systems | Solare termico | 6 m ² | <i>Collettori +circuito+accumulo</i> | 12.1 | 5000 |
| | Solare termico | 6 m ² | <i>Collettori +circuito+accumulo</i> | 12.2 | 5400 |
| | Solari termico | 6 m ² | <i>Collettori +circuito+accumulo</i> | 12.3 | 6000 |
| PV system | Fotovoltaico | 6 | <i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i> | 13.1 | 18000 |
| | Fotovoltaico | 12 | <i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i> | 13.2 | 36000 |
| | Fotovoltaico | 18 | <i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i> | 13.3 | 54000 |
| | Fotovoltaico | 20 | <i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i> | 13.4 | 60000 |
| Energy recovery ventilation system | Recuperatori calore | 1500 m ³ /h | <i>Scambiatore e canalizzazioni</i> | 14.1 | 44800 |
| | Recuperatori calore | 1500 m ³ /h | <i>Scambiatore e canalizzazioni</i> | 14.2 | 56000 |
| | Recuperatori calore | 1500 m ³ /h | <i>Scambiatore e canalizzazioni</i> | 14.3 | 67200 |

Tabella 2.41 Costi globali degli impianti, edificio uso ufficio, epoca 1946-1976.

| Tipologia: EDIFICIO AD USO UFFICIO | | | | | |
|--|--------------------------------------|-----------------------|---|------|-----------|
| Epoca: 1946-1976 | | | | | |
| EEM | Tipologia | Pn (kW) | Impianto e componenti principali | LEEM | Costo (€) |
| High efficiency chiller | split aria-aria | 2*12 | <i>Multisplit e dispositivi controllo</i> | 7.1 | 10100 |
| | split aria-aria | 2*12 | <i>Multisplit e dispositivi controllo</i> | 7.2 | 12600 |
| | split aria-aria | 2*12 | <i>Multisplit e dispositivi controllo</i> | 7.3 | 15100 |
| Efficiency Heat Generator System for heating and hot water | Caldaia trad. | 50 | <i>Caldaia +Reg 15.1+ Radiatori</i> | 10.1 | 13800 |
| | Caldaia 3 stelle | 50 | <i>Caldaia +Reg 15.2+ Radiatori</i> | 10.2 | 14300 |
| | Caldaia condens. | 50 | <i>Caldaia +Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 10.3 | 20900 |
| Heat pump for heating, cooling and hot water | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 50 | <i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 11.1 | 31600 |
| | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 50 | <i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 11.2 | 35100 |
| | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 50 | <i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil</i> | 11.3 | 37400 |
| Thermal solar systems | Solare termico | 2 m ² | <i>Collettori +circuito+accumulo</i> | 12.1 | 1600 |
| | Solare termico | 2 m ² | <i>Collettori +circuito+accumulo</i> | 12.2 | 1800 |
| | Solari termico | 2 m ² | <i>Collettori +circuito+accumulo</i> | 12.3 | 2000 |
| PV system | Fotovoltaico | 3 | <i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i> | 13.1 | 9000 |
| | Fotovoltaico | 5 | <i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i> | 13.2 | 15000 |
| | Fotovoltaico | 8 | <i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i> | 13.3 | 24000 |
| | Fotovoltaico | 10 | <i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i> | 13.4 | 30000 |
| Energy recovery ventilation system | Recuperatori calore | 350 m ³ /h | <i>Scambiatore e canalizzazioni</i> | 14.1 | 9600 |
| | Recuperatori calore | 350 m ³ /h | <i>Scambiatore e canalizzazioni</i> | 14.2 | 12000 |
| | Recuperatori calore | 350 m ³ /h | <i>Scambiatore e canalizzazioni</i> | 14.3 | 14400 |

Tabella 2.42 Costi globali degli impianti, edificio uso ufficio, epoca 1977-1990.

| Tipologia: EDIFICIO USO UFFICIO | | | | | |
|--|--------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|------|-----------|
| Epoca: 1977-90 | | | | | |
| EEM | Tipologia | Pn (kW) | Impianto e componenti principali | LEEM | Costo (€) |
| High efficiency chiller | split aria-aria | 2*70 | Multisplit e dispositivi controllo | 7.1 | 58800 |
| | split aria-aria | 2*70 | Multisplit e dispositivi controllo | 7.2 | 73500 |
| | split aria-aria | 2*70 | Multisplit e dispositivi controllo | 7.3 | 88200 |
| Efficiency Heat Generator System for heating and hot water | Caldaia trad. | 160 | Caldaia +Reg 15.1+ Radiatori | 10.1 | 39100 |
| | Caldaia 3 stelle | 160 | Caldaia +Reg 15.2+ Radiatori | 10.2 | 39600 |
| | Caldaia condens. | 160 | Caldaia condens+Reg 15.3+ Fan-coil | 10.3 | 63800 |
| Heat pump for heating, cooling and hot water | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 230 | Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil | 11.1 | 114400 |
| | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 230 | Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil | 11.2 | 121300 |
| | Pompa di calore aria-acqua (interne) | 230 | Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil | 11.3 | 125900 |
| Thermal solar systems | Solare termico | 10 | Collettori +circuito+accumulo | 12.1 | 8000 |
| | Solare termico | 10 | Collettori +circuito+accumulo | 12.2 | 9000 |
| | Solari termico | 10 | Collettori +circuito+accumulo | 12.3 | 10000 |
| PV system | Fotovoltaico | 6 | Pannelli+ inverter +quadri controllo | 13.1 | 18000 |
| | Fotovoltaico | 12 | Pannelli+ inverter +quadri controllo | 13.2 | 36000 |
| | Fotovoltaico | 18 | Pannelli+ inverter +quadri controllo | 13.3 | 54000 |
| | Fotovoltaico | 20 | Pannelli+ inverter +quadri controllo | 13.4 | 60000 |
| Energy recovery ventilation system | Recuperatori calore | 2000 m ³ /h | Scambiatore e canalizzazioni | 14.1 | 56000 |
| | Recuperatori calore | 2000 m ³ /h | Scambiatore e canalizzazioni | 14.2 | 70000 |
| | Recuperatori calore | 2000 m ³ /h | Scambiatore e canalizzazioni | 14.3 | 84000 |

Ai fini della *cost-optimal methodology* per gli edifici ad uso ufficio è inoltre necessario considerare i consumi (e quindi anche opere di riqualificazione energetica) per illuminazione. Le 4 soluzioni che saranno testate sono le seguenti:

- Soluzione (1) T5 senza regolazione
- Soluzione (2) T5 con regolazione base
- Soluzione (3) LED Standard senza regolazione

- Soluzione (4) LED PLUS con regolazione avanzata

In Tabella 2.43 sono riportati le soluzioni impiantistiche adottate e i relativi costi; in Tabella 2.44 sono invece riassunte le caratteristiche funzionali dei sistemi di controllo ipotizzati.

Tabella 2.43 Soluzioni impiantistiche adottate e i relativi costi per l'impianto di illuminazione negli edifici ad uso ufficio.

| LEEM | P_N (W/m ²) | F_D | F_O | F_C | Investimento (€/m ²) | Manutenzione % su investimento |
|------|------------------------------|-------|-------|-------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 13,0 | 1 | 1 | 1 | 25,00 | 2,5 |
| 2 | 13,0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 29,80 | 1,3 |
| 3 | 4,7 | 1 | 1 | 1 | 36,14 | 2,0 |
| 4 | 4,6 | 0,9 | 0,8 | 0,9 | 45,24 | 0,6 |

Tabella 2.44 Caratteristiche funzionali dei sistemi di controllo ipotizzati per l'impianto di illuminazione negli edifici ad uso ufficio.

| Tipo di controllo | | | | |
|--|--|-------|-------|-------|
| | | F_C | F_D | F_O |
| Manuale/Assente | | 1 | 1 | 1 |
| Accensione e spegnimento automatico | il sistema di comando attiva automaticamente uno o più apparecchi di illuminazione ogni qualvolta rileva una presenza nell'area illuminata, e li disattiva automaticamente non più di 15 min dopo l'ultima presenza rilevata nell'area illuminata | - | - | 0,9 |
| Accensione manuale, regolazione e spegnimento automatico | 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 attivati automaticamente in uno stato a potenza ridotta (non più del 20% del normale "stato attivo") dal sistema di controllo automatico non più di 15 min dopo l'ultima presenza rilevata nell'area illuminata. Inoltre, non più tardi di 15 min dopo il rilevamento dell'ultima presenza nel locale nel suo insieme, gli apparecchi di illuminazione sono automaticamente e completamente disattivati. | - | - | 0,9 |
| Accensione manuale e spegnimento automatico | 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 min dopo l'ultima presenza rilevata nell'area illuminata | - | - | 0,8 |
| Automatico | Fotocellule con rilevamento della luce diurna | - | 0,9 | - |
| Automatico | Sistema di illuminazione regolabile | 0,9 | - | |

I costi legati all'energia

Energia elettrica

Ai fini della *cost-optimal methodology* non si rilevano tutti i consumi elettrici di un edificio, ma esclusivamente quelli collegati ai servizi di riscaldamento, raffrescamento, produzione di acqua calda sanitaria (ACS), ventilazione e, limitatamente agli edifici adibiti ad ufficio, illuminazione. Un esempio, non esaustivo, di utilizzi dell'energia elettrica che rilevano ai fini del presente lavoro è fornito in Tabella 2.45.

Tabella 2.45 Esempi di utilizzi dell'energia elettrica che rilevano ai fini della cost-optimal methodology.

| Uso | Servizio |
|---|---|
| Pompa di calore elettrica | Riscaldamento, raffrescamento e/o produzione di ACS |
| Climatizzatore | Raffrescamento |
| Scaldacqua elettrico | Produzione ACS |
| Pompe di circolazione del fluido termovettore | Riscaldamento e/o raffrescamento |
| Ventilatori | Ventilazione |
| Lampade | Illuminazione (solo per il terziario) |
| Ausiliari di caldaia | Riscaldamento e/o produzione di ACS |
| Sistemi di controllo | Riscaldamento, raffrescamento e/o ventilazione |

Nei prossimi paragrafi saranno presentate le principali tariffe che si applicano ad edifici residenziali e ad edifici ad uso ufficio, facendo riferimento alle condizioni del servizio di maggior tutela definite dall'Autorità per l'energia elettrica e il gas (nel seguito AEEG). Si darà, poi, evidenza delle imposte che gravano sull'energia elettrica e si commenterà la possibilità di installare un secondo contatore dedicato ai consumi di una pompa di calore. Molte delle informazione riportate nel prossimo paragrafo sono tratte dal sito dell'AEEG [4].

La liberalizzazione del mercato elettrico è stata avviata in Italia con il decreto legislativo 16 marzo 1999, n. 79, noto come decreto Bersani. Tale decreto ha segnato l'inizio del processo di liberalizzazione delle attività di produzione, importazione, esportazione, acquisto e vendita di energia elettrica. Dal 1° luglio 2007, i clienti possono liberamente scegliere da quale venditore e a quali condizioni acquistare energia elettrica. Chi esercita questo diritto, entra nel cosiddetto "mercato libero". Ovviamente, rimane la possibilità di continuare a fruire delle condizioni economiche del "servizio di maggior tutela" stabilite dall'AEEG. Queste condizioni si applicano esclusivamente ai clienti domestici e alle le piccole e medie imprese (PMI)¹ che non hanno stipulato contratti nel mercato libero. A settembre 2012, risultava che il 79% dei clienti domestici e il 71% delle PMI si avvalevano delle condizioni tariffarie del servizio di maggior tutela [5]. In virtù di queste percentuali, nel presente lavoro, si è deciso di quantificare il costo dell'energia elettrica sotto le condizioni del servizio di maggior tutela sia per gli edifici residenziali che per quelli adibiti ad ufficio.

Il costo sostenuto dal cliente finale per l'energia elettrica consumata è dovuto alle voci illustrate nella Tabella 2.46, raggruppate in servizi di vendita, servizi di rete e oneri generali.

¹ Ai fini della tariffazione elettrica, per PMI si intendono le imprese alimentate in bassa tensione con meno di 50 addetti ed un fatturato annuo non superiore a 10 milioni di euro.

Tabella 2.46 Voci di costo della bolletta elettrica.

| | |
|---------------------------|--|
| Servizi di vendita | Energia e dispacciamento (PED), commercializzazione vendita (PCV), componenti di perequazione (PPE) e di dispacciamento (DISPbt) |
| Servizi di rete | Distribuzione, trasporto e misura (τ_1 , τ_2 , τ_3) |
| Oneri generali | Componenti A (A2, A3, A4, A5, As), UC (UC3, UC4, UC6, UC7) e MCT |

I servizi di vendita sono, generalmente, la principale voce di costo della bolletta dell'utente domestico residente e comprende tutti i servizi e le attività svolte dal fornitore per acquistare e rivendere l'energia elettrica ai clienti. In questa voce rientra il prezzo dell'energia, ovvero il costo per l'acquisto dell'energia elettrica, comprensivo delle perdite sulle reti di trasmissione e di distribuzione, il prezzo di commercializzazione e vendita e il prezzo del dispacciamento². I servizi di rete, invece, sono le attività di trasporto dell'energia elettrica sulle reti di trasmissione nazionali, di distribuzione locale e comprendono la gestione del contatore³. Infine, gli oneri generali sono fissati per legge e vengono pagati da tutti i clienti finali del servizio elettrico. Essi comprendono numerose voci, tra le principali elenchiamo la promozione della produzione di energia da fonti rinnovabili e assimilate (A3), la promozione dell'efficienza energetica (UC7), lo smantellamento delle centrali nucleari e misure di compensazione territoriale (A2 e MCT), la copertura degli oneri derivanti dall'adozione di misure di tutela tariffaria per i clienti del settore elettrico in stato di disagio economico e/o fisico (As) e il finanziamento delle attività di ricerca e sviluppo (A5).

Le voci precedenti possono essere riaggregate in tre macro-categorie che tengono conto della modalità con cui sono calcolati gli importi fatturati: quota fissa, quota potenza e quota energia. La quota fissa è un importo da pagare indipendentemente dai consumi; essa copre i costi fissi di gestione commerciale dei clienti (commercializzazione vendita) e la parte fissa della "componente di dispacciamento"⁴ e dei servizi di rete. La quota potenza, invece, dipende dalla potenza impegnata, ossia dal livello di potenza indicato nei contratti. Tale potenza è scelta dal cliente in funzione degli apparecchi elettrici utilizzati e, per la maggior parte dei clienti domestici, corrisponde a 3 kW; ovviamente, nel caso in cui siano presenti impianti di climatizzazione che utilizzano l'elettricità come vettore energetico, è probabile che sia necessaria una potenza maggiore. Infine, la componente energia dipende dall'energia elettrica consumata e comprende i costi di acquisto dell'energia e di dispacciamento (parte variabile) sostenuti dal fornitore⁵, una quota dovuta al trasporto sulla rete di tale energia e parte degli oneri generali.

Mostriamo nella Tabella 2.47 (tariffa D2), nella Tabella 2.48 (tariffa D3) e nella Tabella 2.49 (tariffa BTA con potenza impegnata superiore ai 16,5 kW) il dettaglio delle condizioni tariffarie per le differenti tipologie di utenze che possono rilevare ai fini del presente lavoro. In particolare le tariffe D2 e D3 saranno utilizzate per edifici monofamiliari e per la parte di consumi autonomi di edifici multifamiliari mentre la tariffa BTA sarà utilizzata per i consumi condominiali e per gli edifici adibiti ad ufficio. Ricordiamo che l'AEEG aggiorna trimestralmente queste tariffe; le tabelle mostrate fanno riferimento al primo trimestre del 2013.

² Il dispacciamento è il servizio che garantisce in ogni istante l'equilibrio tra la domanda e l'offerta di energia elettrica.

³ La differenza fra servizi di vendita e servizi di rete è fondamentale nel mercato libero, in quanto la concorrenza tra i diversi operatori avviene unicamente sui servizi di vendita mentre la tariffa riconosciuta per i servizi di rete è definita dall'AEEG.

⁴ La componente dispacciamento si compone di una parte che viene accreditata al cliente indipendentemente dai suoi consumi (parte fissa, con segno negativo) e di una parte che viene addebitata al cliente in proporzione al consumo annuo (parte variabile, solo per i clienti residenti con potenza fino a 3 kW).

⁵ All'interno della quota energia è contenuta anche la componente di perequazione, la quale garantisce l'equilibrio tra i costi effettivi di acquisto e dispacciamento dell'energia elettrica destinata al servizio di maggior tutela e quanto pagato dai clienti di quel servizio.

Tabella 2.47 Condizioni tariffarie per abitazione di residenza anagrafica con potenza impegnata fino a 3 kW (tariffa D2).

| | Servizi di vendita | | | Servizi di rete | Oneri generali |
|----------------------------------|--------------------|-----------|-------------|-----------------|----------------|
| | Monorario | Biorario | | | |
| Quota energia (€/kWh) | fascia unica | fascia F1 | fascia F2-3 | fascia unica | fascia unica |
| kWh/anno: da 0 a 1800 | 0,09660 | 0,10307 | 0,09334 | 0,00478 | 0,030550 |
| da 1801 a 2640 | 0,10061 | 0,10708 | 0,09735 | 0,04129 | 0,044580 |
| da 2641 a 4440 | 0,10494 | 0,11141 | 0,10168 | 0,08061 | 0,063460 |
| da 4441 | 0,10957 | 0,11604 | 0,10631 | 0,12274 | 0,063460 |
| Quota fissa (€/anno) | 15,48500 | | | 6,12000 | |
| Quota potenza (€/kW/anno) | | | | 5,50320 | 0,16970 |

Tabella 2.48 Condizioni tariffarie per abitazione di residenza anagrafica con potenza impegnata superiore a 3 kW o abitazione diversa dalla residenza anagrafica (tariffa D3).

| | Servizi di vendita | | | Servizi di rete | Oneri generali |
|----------------------------------|--------------------|-----------|-------------|-----------------|----------------|
| | Monorario | Biorario | | | |
| Quota energia (€/kWh) | fascia unica | fascia F1 | fascia F2-3 | fascia unica | fascia unica |
| kWh/anno: da 0 a 1800 | | | | 0,02437 | |
| da 1801 a 2640 | | | | 0,04129 | |
| da 2641 a 4440 | 0,09607 | 0,10254 | 0,09281 | 0,08061 | 0,063460 |
| da 4441 | | | | 0,12274 | |
| Quota fissa (€/anno) | 21,70570 | | | 21,78730 | |
| Quota potenza (€/kW/anno) | | | | 15,17300 | 0,16970 |

Tabella 2.49 Condizioni tariffarie per utenze non domestiche con potenza disponibile superiore a 16,5 kW (tariffa BTA).

| | Servizi di vendita | | | Servizi di rete | Oneri generali |
|----------------------------------|--------------------|-----------|-----------|-----------------|----------------|
| | fascia F1 | fascia F2 | fascia F3 | | |
| Quota energia (€/kWh) | fascia F1 | fascia F2 | fascia F3 | fascia unica | fascia unica |
| gennaio 2013 | 0,10628 | 0,10158 | 0,08319 | | |
| febbraio 2013 | 0,10426 | 0,10098 | 0,08358 | 0,00671 | 0,058770 |
| marzo 2013 | 0,09876 | 0,10781 | 0,08498 | | |
| Quota fissa (€/anno) | 65,08650 | | | 26,84730 | 126,42670 |
| Quota potenza (€/kW/anno) | | | | 31,78830 | |

Nel caso di tariffa D2, e limitatamente ai servizi di rete per la tariffa D3, è evidente la progressività, ovvero il principio secondo il cui all'aumentare del consumo di energia si ha un costo specifico (€/kWh) maggiore. Si

nota, infatti, un costo specifico differente a seconda dello scaglione di consumo. Tale effetto tende a scoraggiare un consumo elevato di energia elettrica.

Ai fini della *cost-optimal methodology*, la progressività delle tariffe D2 e D3 fa sì che, nel caso di edifici residenziali, per poter stimare correttamente il costo dovuto ai consumi di energia elettrica dei servizi, sia necessario calcolare il costo dei consumi elettrici complessivi dell'utenza e a questo montante sottrarre il costo che sarebbe stato sostenuto per i soli "usi obbligati" (illuminazione ed elettrodomestici). Nel presente lavoro gli usi obbligati saranno stimati pari a 2700 kWh all'anno, su indicazione dell'AEEG che così definisce il consumo di una famiglia tipo. A tale consumo, con le tariffe attualmente in vigore, corrisponde un costo al netto delle imposte pari a 447,68 €.

Nelle precedenti tabelle si può osservare la presenza di alcune colonne che individuano una fascia. Questo avviene perché l'energia elettrica ha un prezzo diverso a seconda del momento in cui la si utilizza: durante il giorno (fascia F1), quando la domanda di elettricità è maggiore, costa generalmente di più; la sera, la notte (fascia F2) e durante i giorni festivi (fascia F3), ha invece un prezzo più basso. Si parla di prezzo monorario quando è lo stesso in tutte le ore del giorno, di biorario quando varia sulla base di due differenti fasce orarie e multiorario quando varia per ognuna delle tre fasce orarie. Ai fini della *cost-optimal methodology*, per semplicità, si è scelto di utilizzare il prezzo monorario; nel caso della tariffa BTA il prezzo monorario è stato ottenuto come una media pesata sul numero di ore di ciascuna fascia, ed, inoltre, si è provveduto a mediare il prezzo sui tre mesi disponibili.

Sull'energia elettrica si pagano due imposte, l'imposta erariale di consumo (accisa) e l'imposta sul valore aggiunto (IVA). In passato si pagavano anche le addizionali comunali e provinciali che sono state recentemente soppresse.

L'accisa è applicata alla quantità di energia consumata e ammonta a 0,0227 €/kWh per usi domestici e assimilati (tra i quali figurano anche i servizi condominiali di edifici residenziali), 0,0121 €/kWh per l'illuminazione pubblica, 0,0121 €/kWh per altri usi se i consumi sono inferiori a 1,2 GWh/mese e 0 €/kWh per altri usi se i consumi sono superiori a 1,2 GWh/mese. Inoltre, per i clienti domestici è previsto un sistema di agevolazione per la fornitura nell'abitazione di residenza anagrafica che ne riduce l'importo in caso di bassi consumi. In particolare, nel caso di forniture con potenza impegnata compresa tra 1,5 kW e 3 kW, se si consuma fino a 220 kWh/mese non si paga l'accisa sui primi 150 kWh. Se si consuma di più, i kWh esenti vengono gradualmente ridotti. Questo meccanismo può essere espresso in forma più semplice, ma sostanzialmente uguale, nella maniera descritta in Tabella 2.50.

Tabella 2.50 Accisa per forniture di abitazioni di residenza anagrafica con potenza impegnata compresa tra 1,5 kW e 3 kW.

| Scaglione di consumo | Accisa [€/kWh] |
|-------------------------------|----------------|
| Fino a 150 kWh/mese | 0 |
| Da 150 kWh/mese a 220kWh/mese | 0,0227 |
| Da 220 kWh/mese a 370kWh/mese | 0,0454 |
| Oltre 370kWh/mese | 0,0227 |

L'IVA è applicata sul costo complessivo del servizio. Attualmente le aliquote previste sono: 10% per usi domestici e assimilati, 21% per illuminazione pubblica, 10% per alcuni usi particolari (ad esempio le imprese estrattive, agricole e manifatturiere), 21% per gli altri usi.

Nei paragrafi precedenti si è accennato alla progressività della tariffe per utenze domestiche. Tale meccanismo, utile a calmierare i consumi attraverso un segnale di prezzo, ha, però, l'inconveniente di

disincentivare misure di efficienza energetica che prevedono un uso efficiente dell'energia elettrica in sostituzione di consumi energetici di altro tipo (fuel swichting). In particolare, nel caso di pompe di calore installate in luogo di caldaie alimentate a gas naturale o a gasolio, la progressività della tariffa è una barriera alla diffusione giacché i risparmi di energia primaria non si traducono in risparmi economici. Per ovviare a questa criticità è stata introdotta la possibilità di installare un secondo contatore dedicato alla pompa di calore⁶. Questa soluzione prevede che i consumi dei cosiddetti "usi obbligati" siano contabilizzati con un primo contatore a cui si applica la tariffa D2, mentre i consumi della pompa di calore siano misurati dal secondo contatore a tariffa BTA, la quale è caratterizzata da un prezzo dell'energia indipendente dai consumi ma con variazioni in funzione della potenza impegnata (Tabella 2.51). Tuttavia, c'è da tenere in conto anche il costo da sostenere per avere accesso a questa seconda fornitura (a tal proposito si veda la Tabella 2.52), oltre, nel caso di ristrutturazioni, ad eventuali adeguamenti impiantistici necessari per installare il secondo contatore (stimati pari a 450 €).

Tabella 2.51 Tariffa BTA per utenze con potenza disponibile fino a 16,5 kW. I servizi di vendita, i servizi di rete e gli oneri generali sono stati sommati e mediati sui primi tre mesi del 2013. Il prezzo è stato ricondotto in forma monoraria attraverso una media pe

| | Potenza impegnata | | | |
|------------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------|
| | $P \leq 1,5 \text{ kW}$ | $1,5 < P \leq 3 \text{ kW}$ | $3 < P \leq 6 \text{ kW}$ | $P > 6 \text{ kW}$ |
| Quota energia (€/kWh) | 0,149497 | 0,163267 | 0,163267 | 0,163267 |
| Quota fissa (€/anno) | 93,3695 | 218,3605 | 218,3605 | 218,8655 |
| Quota potenza (€/kW) | 31,7883 | 30,1064 | 33,4703 | 33,4703 |

Tabella 2.52 Costi per nuova fornitura.

| | |
|-----------------------------------|------------|
| Quota distanza⁷ | 183,62 € |
| Quota potenza⁸ | 69,04 €/kW |
| Quota fissa | 27,52 € |

In generale non è scontata la convenienza, dell'utilizzo delle soluzioni con diverse applicazioni tariffarie e, pertanto, nell'applicazione della *cost-optimal methodology*, si è deciso di calcolare volta per volta quale tra le due soluzioni, caso con secondo contatore (tariffa D2 per gli usi obbligati e tariffa BTA per la pompa di calore) e caso di tariffa D3, risulti preferibile, tenendo in conto sia l'eventuale risparmio in termini di costi annui sia il costo iniziale per l'installazione del secondo contatore. Tale valutazione è effettuata in maniera semplificata attraverso la determinazione del costo annuo equivalente (CAE) calcolato come:

$$CAE = CA_{elet} + CI_{elet} \cdot \frac{r}{1 - (1+r)^{-\tau}} \quad (1)$$

Dove:

CA_{elet} è il costo annuo per i consumi di energia elettrica;

CI_{elet} è l'investimento iniziale per una nuova fornitura di energia elettrica (secondo contatore);

⁶ È possibile installare un secondo contatore anche per altri consumi efficienti quali ad esempio la ricarica di veicoli elettrici.

⁷ La quota distanza è costituita da una quota fissa più una quota dipendente dalla distanza dalla cabina di riferimento. Se tale distanza è inferiore a 200m si paga solo la quota fissa. Nel presente lavoro si fa l'assunzione di ricadere sempre nel caso di distanza inferiore a 200m.

⁸ La quota potenza si paga in funzione della potenza disponibile che corrisponde al 110% della potenza impegnata.

r è il tasso di attualizzazione;
 τ è il periodo di calcolo.

Il riferimento per questo tipo di valutazione è la norma UNI EN 15459 [9].

Per la presente attività l'energia autoprodotta in situ è stata considerata come se fosse interamente destinata all'autoconsumo. Se l'energia autoprodotta dovesse essere superiore al fabbisogno di energia elettrica per i servizi, la quota in eccesso verrebbe trascurata. Tale valutazione sarà fatta su base mensile, in formule:

$$E_{el,del} = \sum_{m=1}^{12} \text{Max}(E_{el,need,m} - E_{el,prod,m}; 0) \quad (2)$$

Dove:

$E_{el,del}$ è l'energia elettrica prelevata dalla rete elettrica nazionale;

$E_{el,need,m}$ è il fabbisogno di energia elettrica dell'edificio per i servizi di riscaldamento, raffrescamento, produzione di acqua calda sanitaria, ventilazione e (limitatamente per gli edifici del terziario) illuminazione nel mese m-esimo, calcolato senza tener conto dell'energia autoprodotta;

$E_{el,prod,m}$ è l'energia elettrica autoprodotta nel mese m-esimo;

m è il mese considerato.

Gas naturale

Analogamente a quanto fatto per l'energia elettrica si è deciso di valutare i costi per la fornitura di gas naturale secondo le condizioni del servizio di tutela. In questo caso, però, l'AEEG distingue le tariffe in funzione dell'area geografica. In particolare l'Italia è suddivisa in sei ambiti:

1. Ambito nord occidentale: Valle d'Aosta, Piemonte e Liguria.
2. Ambito nord orientale: Lombardia, Trentino Alto-Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia ed Emilia-Romagna.
3. Ambito centrale: Toscana, Umbria e Marche.
4. Ambito centro-sud orientale: Abruzzo, Molise, Puglia e Basilicata.
5. Ambito centro-sud occidentale: Lazio e Campania.
6. Ambito meridionale: Calabria e Sicilia.

Essendo gli edifici di riferimento localizzati a Milano e a Palermo, di seguito riportiamo esclusivamente il dettaglio delle tariffe per l'ambito nord orientale (Lombardia) nella Tabella 2.53 e per l'ambito meridionale (Sicilia) nella Tabella 2.54. Le tariffe sono strutturate in servizi di vendita e servizi di rete, a loro volta costituiti da una quota energia, dipendente dal consumo energetico, e da una quota fissa, da pagare indipendentemente dai consumi. I servizi di vendita rappresentano la parte preponderante del costo sostenuto dai clienti finali e coprono i costi relativi all'acquisto, alla commercializzazione all'ingrosso e alla vendita al dettaglio della materia prima. I servizi di rete, invece, sono dovuti al trasporto, allo stoccaggio, alla distribuzione locale e alla gestione del contatore del gas naturale. A questi si aggiungono gli oneri aggiuntivi che servono per coprire i costi riferiti al contenimento dei consumi di gas, allo sviluppo degli stoccaggi e al servizio di rigassificazione. Quest'ultima voce, generalmente compresa nei servizi di rete, ha un peso percentuale molto ridotto in bolletta.

Tabella 2.53 Condizioni tariffarie del servizio di tutela in ambito nord orientale.

| | Clienti domestici | | Clienti non domestici | |
|---|---------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------|
| | <i>Servizi di vendita</i> | <i>Servizi di rete</i> | <i>Servizi di vendita</i> | <i>Servizi di rete</i> |
| Quota energia (€/Sm³) | | | | |
| Sm ³ /anno: da 0 a 120 | | 0.065905 | | 0.06704 |
| da 121 a 480 | | 0.16967 | | 0.170805 |
| da 481 a 1.560 | | 0.148164 | | 0.149299 |
| da 1.561 a 5.000 | 0.419624 | 0.143764 | 0.419624 | 0.144899 |
| da 5.001 a 80.000 | | 0.123176 | | 0.124311 |
| da 80.001 a 200.000 | | 0.093038 | | 0.094173 |
| da 200.001 a 1 mln | | 0.077796 | | 0.078931 |
| oltre 1 mln | | 0.069217 | | 0.070352 |
| Quota fissa (€/anno) | 40.34 | 31.93 | 55.4 | 31.93 |

Tabella 2.54 Condizioni tariffarie del servizio di tutela in ambito meridionale.

| | Clienti domestici | | Clienti non domestici | |
|---|---------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------|
| | <i>Servizi di vendita</i> | <i>Servizi di rete</i> | <i>Servizi di vendita</i> | <i>Servizi di rete</i> |
| Quota energia (€/Sm³) | | | | |
| Sm ³ /anno: da 0 a 120 | | 0.060191 | | 0.061326 |
| da 121 a 480 | | 0.307045 | | 0.308180 |
| da 481 a 1.560 | | 0.273416 | | 0.274551 |
| da 1.561 a 5.000 | 0.419624 | 0.269016 | 0.419624 | 0.270151 |
| da 5.001 a 80.000 | | 0.215365 | | 0.216500 |
| da 80.001 a 200.000 | | 0.136918 | | 0.138053 |
| da 200.001 a 1 mln | | 0.097798 | | 0.098933 |
| oltre 1 mln | | 0.070667 | | 0.071802 |
| Quota fissa (€/anno) | 40.34 | 48.16 | 55.40 | 48.16 |

La quota energia è espressa in funzione dei Sm³. Il “metro cubo standard” rappresenta la quantità di gas a condizioni standard di temperatura e di pressione, cioè 15°C e 1013,25 millibar. Il contatore installato presso i clienti misura il gas in metri cubi. Tale valore viene convertito in metri cubi standard moltiplicando i metri cubi misurati per un coefficiente di conversione definito per ogni località e riportato in bolletta. Per poter convertire, invece, i chilowattora in metri cubi standard è necessario conoscere il potere calorifico del gas consumato. Per il presente lavoro si assume il potere calorifico del metano pari a 8250 kcal/Sm³ utilizzato dall’AEEG ai fini del meccanismo dei certificati bianchi.

Poiché il gas naturale è il principale combustibile utilizzato anche per la cottura dei cibi, nel caso di edifici monofamiliari, ai consumi per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria è stato aggiunto un consumo di 80 Sm³/anno. Soltanto alla fine, al costo così ottenuto, è stato sottratto l'importo dovuto all'uso cottura. Questo passaggio è necessario per far ricadere i consumi nel giusto scaglione, in quanto è implicita l'assunzione che i consumi per cottura ricadono integralmente nel primo scaglione.

Sul gas naturale si pagano tre differenti tipologie di imposte: l'imposta sul consumo (accisa), l'addizionale regionale e l'imposta sul valore aggiunto (IVA).

L'accisa si paga in maniera proporzionale al consumo ed è differente per usi civili e per usi industriali. Ai fini della *cost-optimal methodology* rilevano, ovviamente gli usi civili: in questa categoria l'accisa è differenziata in quattro scaglioni di consumo e per i territori ex-Cassa del Mezzogiorno (indicati dall'art.1 del D.P.R. 6 marzo 1978, n. 218) è prevista un'accisa ridotta.

Tabella 2.55 Accisa per usi civili [c€/Sm³].

| Consumo annuo | fino a 120 Sm ³ | da 121 a 480 Sm ³ | da 481 a 1560 Sm ³ | oltre 1560 Sm ³ |
|---|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Normale | 4,4 | 17,5 | 17,0 | 18,6 |
| Territori ex-Cassa del Mezzogiorno | 3,8 | 13,5 | 12,0 | 15,0 |

L'addizionale regionale è definita in maniera autonoma da ciascuna regione all'interno di limiti definiti per legge. Per quel concerne le località oggetto di valutazione in questo rapporto, sia la Lombardia che la Sicilia hanno posto tale imposta pari a 0.

L'IVA, infine, per gli usi civili ammonta al 10% per consumi inferiori a 480 Sm³, e al 21% per consumi superiori a tale limite.

Evoluzione del costo dei vettori energetici

Per quel che concerne l'evoluzione del costo dei vettori energetici il Regolamento suggerisce di fare riferimento alle previsioni fornite dalla Commissione [31] sviluppate con il modello PRIMES [34]. In Tabella 2.56 sono riportati tali dati per l'energia elettrica. Si nota che le previsioni si estendono fino al 2030 e che sono distinte in funzione dal settore di utilizzo. È immediato associare l'evoluzione dei prezzi dell'energia elettrica per gli edifici residenziali e per gli edifici adibiti ad ufficio, rispettivamente, alle categorie "famiglie" e "servizi". Come precedentemente descritto, il periodo di calcolo si estende fino al 2042 per edifici residenziali e al 2032 per edifici adibiti ad uffici. Questo implica la necessità di estrapolare, soprattutto per gli edifici residenziali, l'evoluzione dei prezzi ben oltre il 2030, ultimo anno presente nelle previsioni fornite dalla Commissione. Si è proceduto ad una estrapolazione lineare così come mostrato nella Figura 2.8/ Figura 2.8. Per quanto riguarda il gas naturale, il medesimo studio stima un aumento del 2,8% all'anno fino al 2030. Su indicazione delle Linee guida, questa tendenza è estrapolata fino al termine del periodo di calcolo.

Tabella 2.56 Evoluzione del prezzo, tasse incluse, dell'energia elettrica in Europa (moneta costante) [€/MWh].

| | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Medio | 96 | 104 | 110 | 127 | 140 | 146 | 144 |
| Industria | 59 | 71 | 77 | 92 | 101 | 104 | 98 |
| Servizi | 123 | 124 | 124 | 139 | 152 | 159 | 159 |
| Famiglie | 127 | 133 | 144 | 164 | 180 | 191 | 192 |

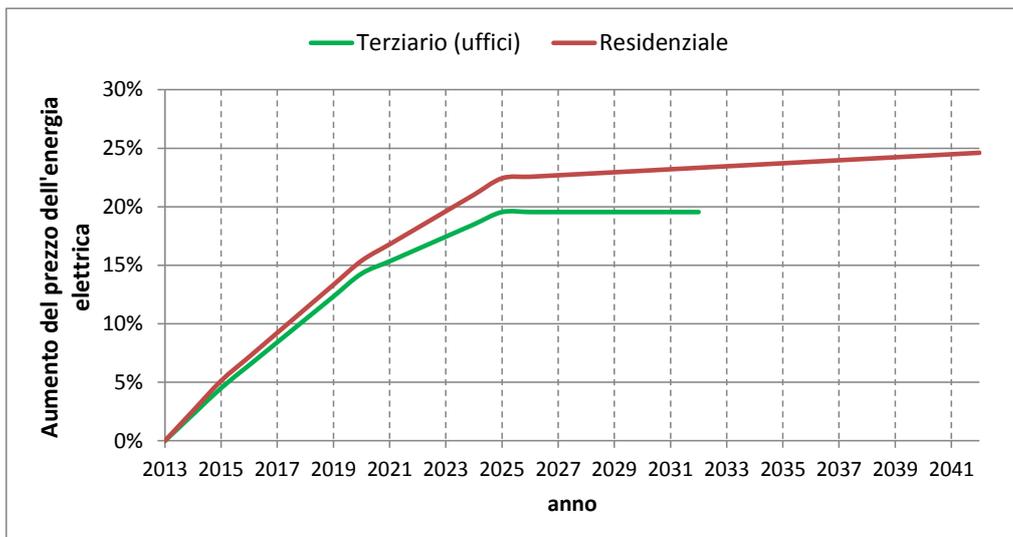


Figura 2.8 Aumento del prezzo dell'energia elettrica, a moneta costante, per edifici residenziali (periodo di calcolo che si estende al 2042) ed edifici adibiti ad ufficio (periodo di calcolo che si estende al 2032).

Emissioni di CO₂

Nella valutazione del costo globale, nella prospettiva macroeconomica, è necessario calcolare il costo delle emissioni di CO₂. Questo studio analizza lo sviluppo del sistema elettro-energetico in Italia fino al 2050. Le ipotesi principali di tale studio sono il rispetto del NREAP (piano d'azione nazionale sulle fonti energetiche rinnovabili) ad eccezione degli impianti fotovoltaici in quanto essi hanno già raggiunto l'obiettivo fissato per il 2020 e dell'abbandono della reintroduzione di impianti nucleari. I risultati sono riassunti in Figura 2.9. Per quanto riguarda il gas naturale si è utilizzato il valore di 55882 g/GJ, corrispondenti a 201 g/kWh.

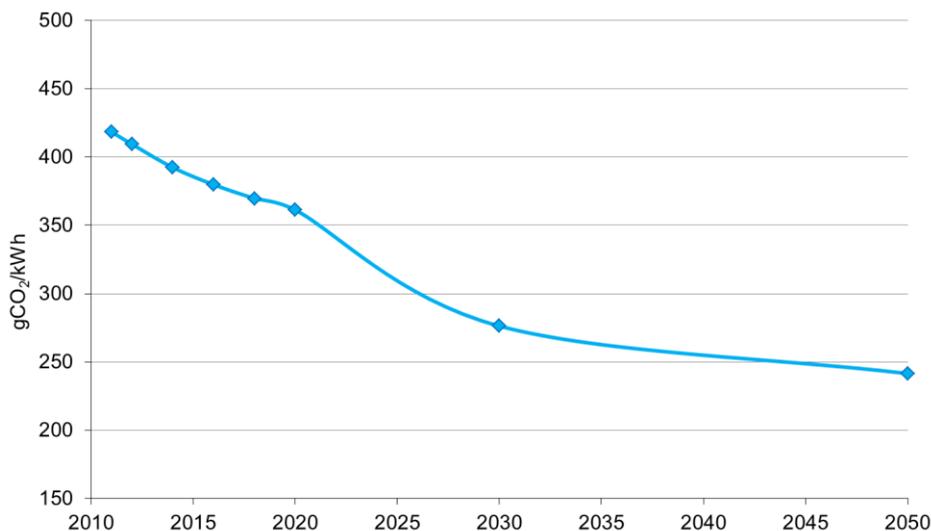


Figura 2.9 Emissioni di CO₂ per kWh di energia elettrica generato.

Il Regolamento indica il riferimento per il costo delle emissioni di CO₂ e la sua evoluzione fino al 2050. In Tabella 2.57 sono riportati tali valori.

Tabella 2.57 Prezzo per tonnellata di emissioni di CO2 [€].

| 2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | 2045 | 2050 |
|------|------|------|------|------|------|------|
| 16,5 | 20 | 36 | 50 | 52 | 51 | 50 |

2.3.3 La procedura di ottimizzazione

Una volta definito il fabbisogno energetico degli edifici di riferimento si procede, mediante un calcolo iterativo, alla definizione 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/S 11300-1, -2, -3, -4) 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.

In Figura 2.10 si riporta un quadro riassuntivo della procedura di ottimizzazione adottata.

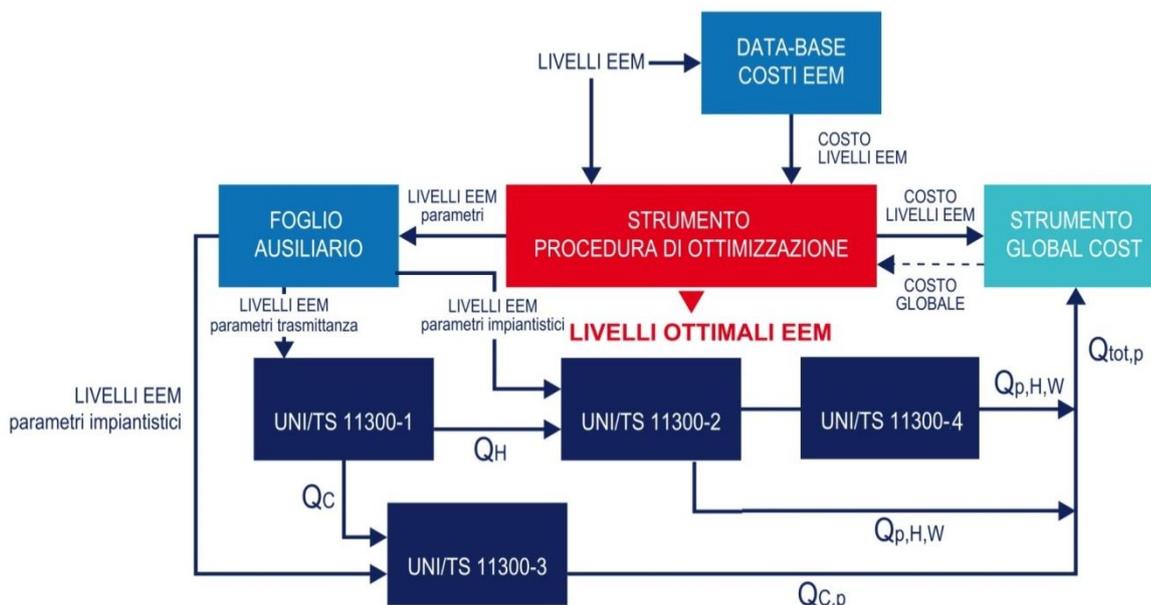


Figura 2.10 La procedura di ottimizzazione.

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 2.11 si riporta il flow-chart della procedura di ottimizzazione.

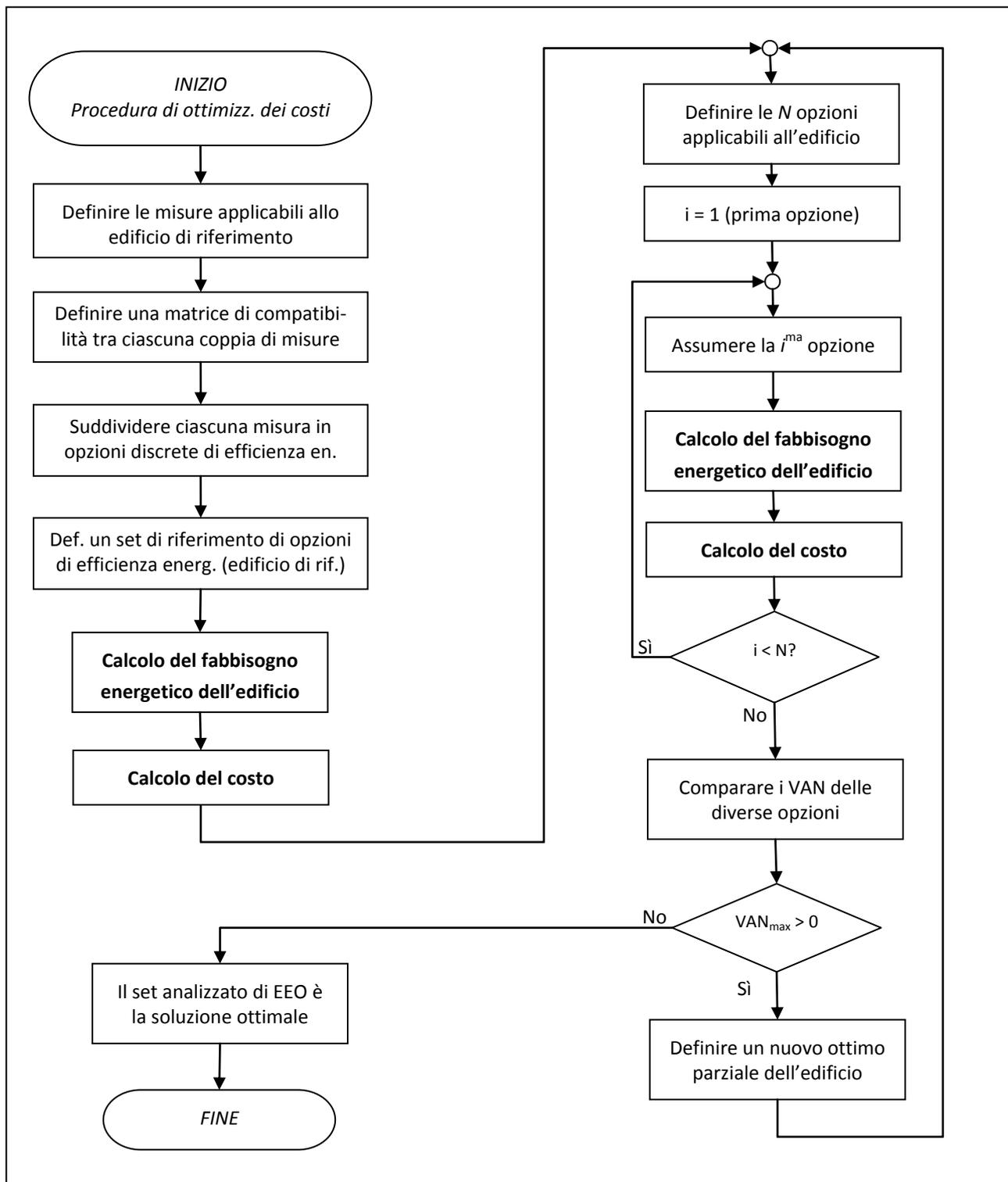


Figura 2.11 Flow-chart della procedura di ottimizzazione.

Nelle successive figure si riportano alcuni risultati ottenuti a seguito dell'applicazione della procedura di ottimizzazione al caso studio "edificio piccolo condominio esistente, 1946-1976" secondo il flow-chart descritto in Figura 2.11.

La Figura 2.12 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.

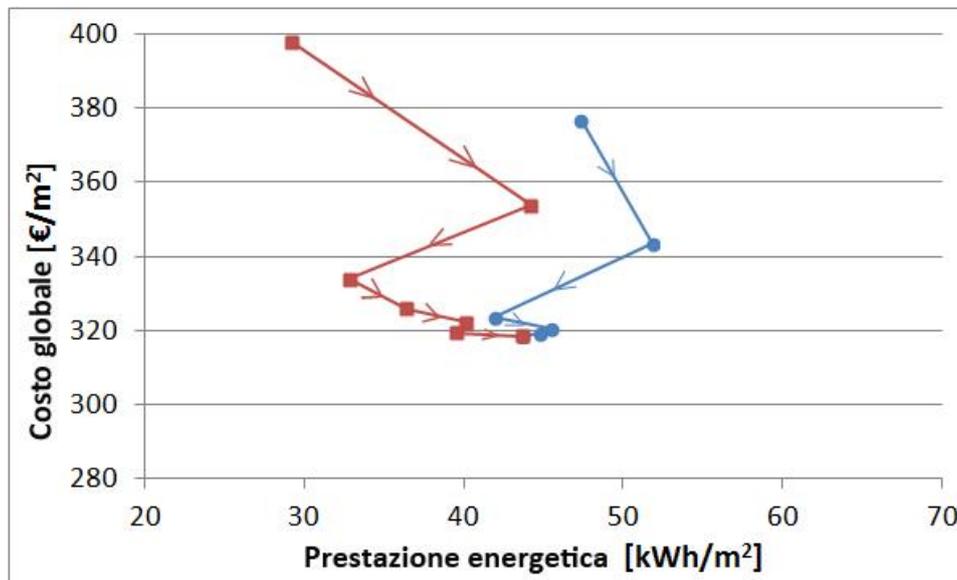


Figura 2.12 Percorso di ottimizzazione per due differenti scenari iniziali di efficienza energetica.

La Figura 2.13 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 2.12. Il sesto ottimo parziale corrisponde al livello ottimale finale.

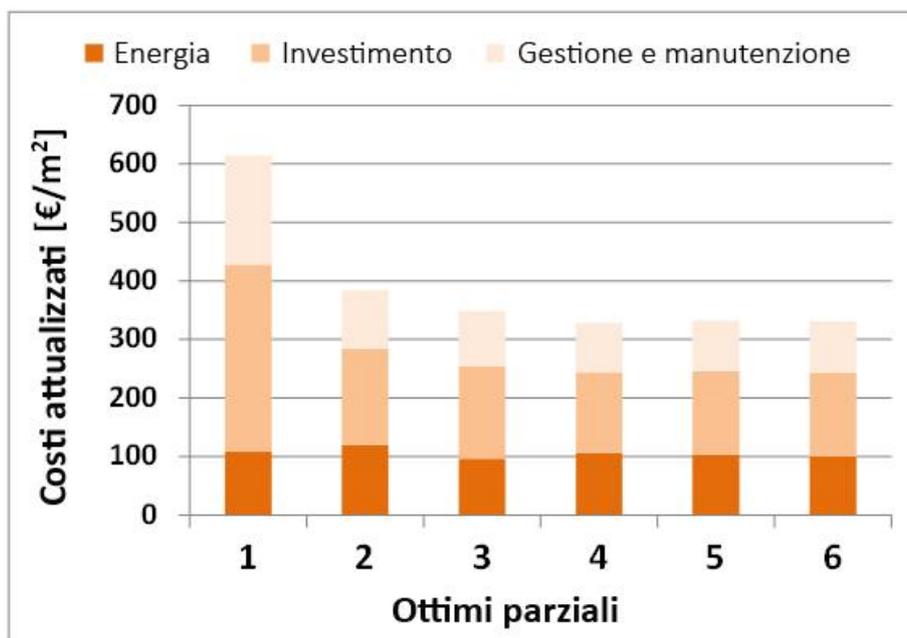


Figura 2.13 Costi attualizzati dei successivi ottimi parziali in un processo di ottimizzazione.

Applicando differenti scenari iniziali al processo di ottimizzazione, si ottiene quanto riportato in Figura 2.14: i punti più bassi corrispondono allo scenario per il quale si ottiene il minore costo globale (circa 300 €/m²),

mentre i corrispettivi valori di energia primaria costituiscono un “intervallo ottimale”, che in questo caso specifico varia tra 40 e 47 kWh/m² anno.

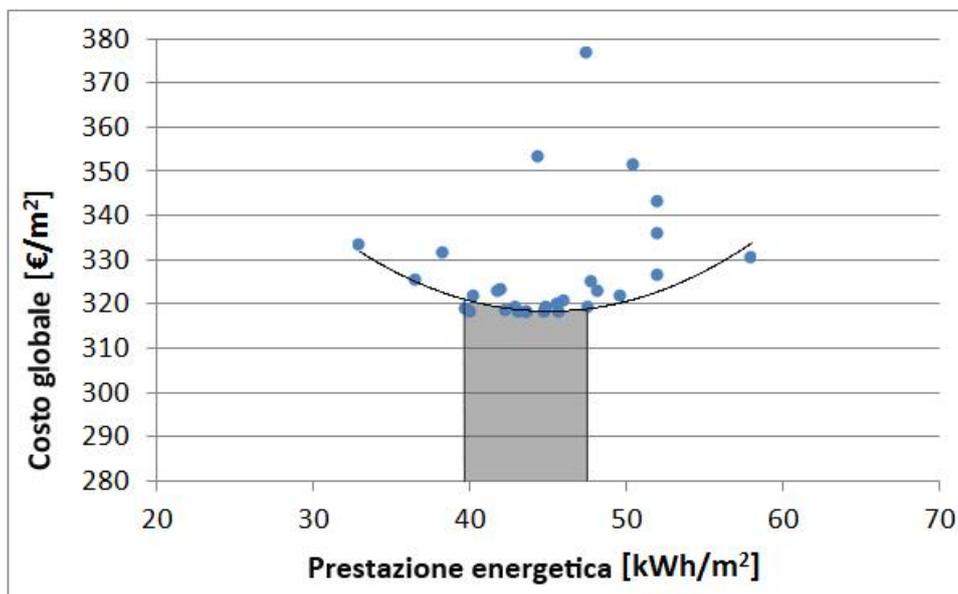


Figura 2.14 Range del livello ottimale in funzione dei costi.

2.3.4 Elaborazioni e risultati

In questo capitolo si presentano i grafici ottenuti con l’applicazione della metodologia utilizzata per le diverse tipologie edilizie considerate e con diversi scenari considerati.

Per ogni edificio analizzato i risultati della procedura di ottimizzazione sono rappresentati attraverso tre grafici e una tabella, come di seguito descritto.

- **Primo grafico. Percorsi di ottimizzazione**

Il grafico mostra il percorso di ottimizzazione tramite “ottimi parziali” per differenti scenari di partenza, ossia da un alto livello di efficienza energetica dell’edificio (livelli massimi di EEM), oppure da un basso livello di efficienza energetica dell’edificio (livelli minimi di EEM) oppure da un valore intermedio di efficienza energetica dell’edificio (livelli intermedi di EEM).

- **Secondo grafico. Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione**

Il grafico mostra i costi attualizzati (distinti per costo dell’energia, costo di investimento iniziale e costi operativi e di manutenzione) dei sei ottimi parziali ottenuti dal processo di ottimizzazione per uno scenario. L’ottimo parziale con valori di costo più bassi corrisponde al livello ottimale finale.

- **Terzo grafico. Intervallo ottimale in funzione dei costi**

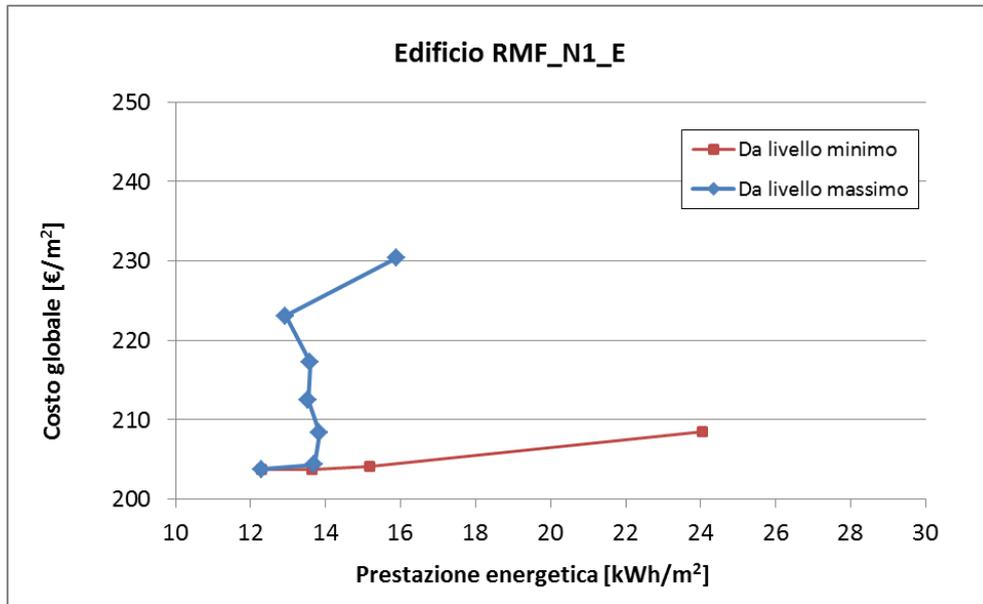
Il grafico si ricava applicando diversi scenari iniziali al processo di ottimizzazione. I punti più bassi corrispondono allo scenario per il quale si ottiene il minore costo globale, mentre i corrispettivi valori di energia primaria costituiscono un “intervallo ottimale”.

- **Tabella. Valori ottimali dei parametri di progetto**

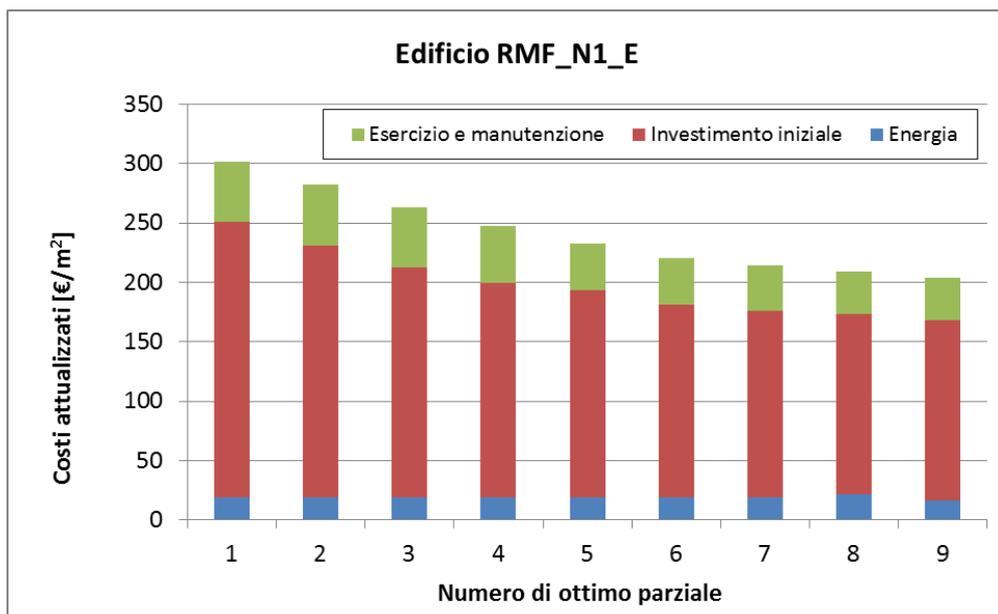
In riferimento allo scenario per il quale si ottiene il minore costo globale, la tabella mostra i valori ottimali dei parametri relativi alle misure di efficienza energetica.

EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE NUOVO – ZONA CLIMATICA E (MILANO)

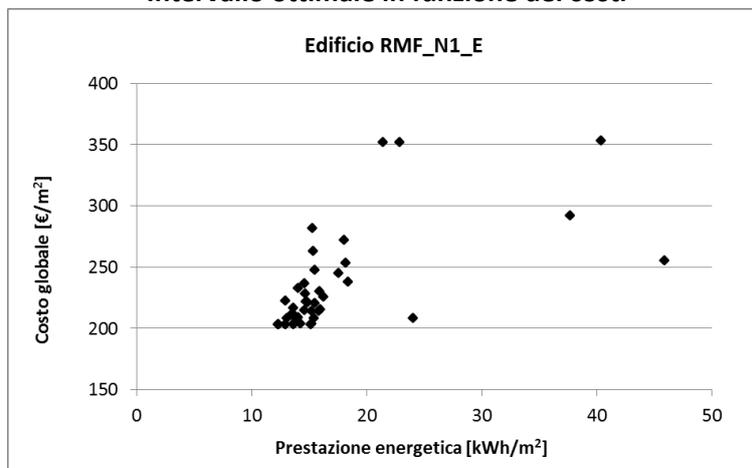
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi

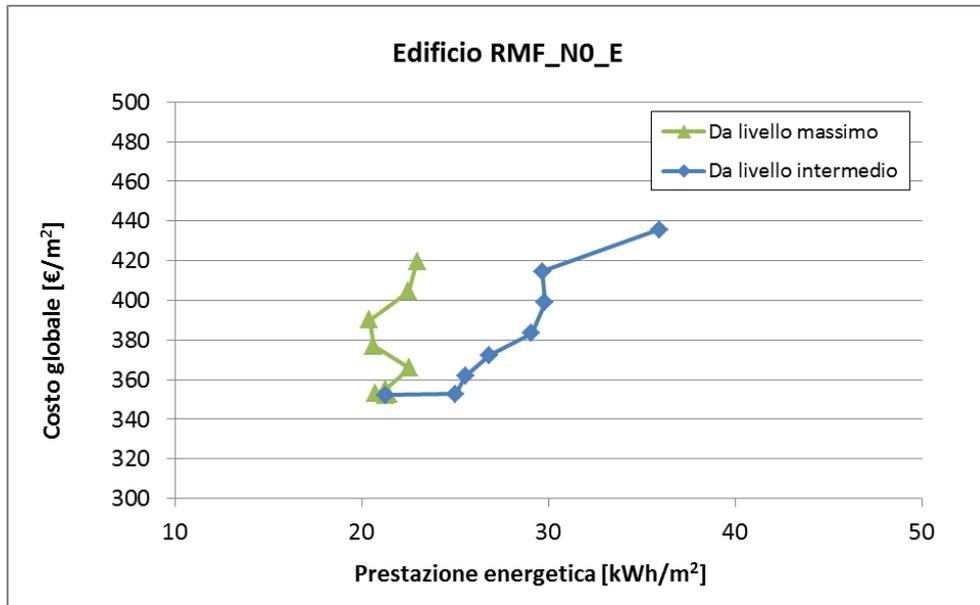


Valori ottimali dei parametri di progetto

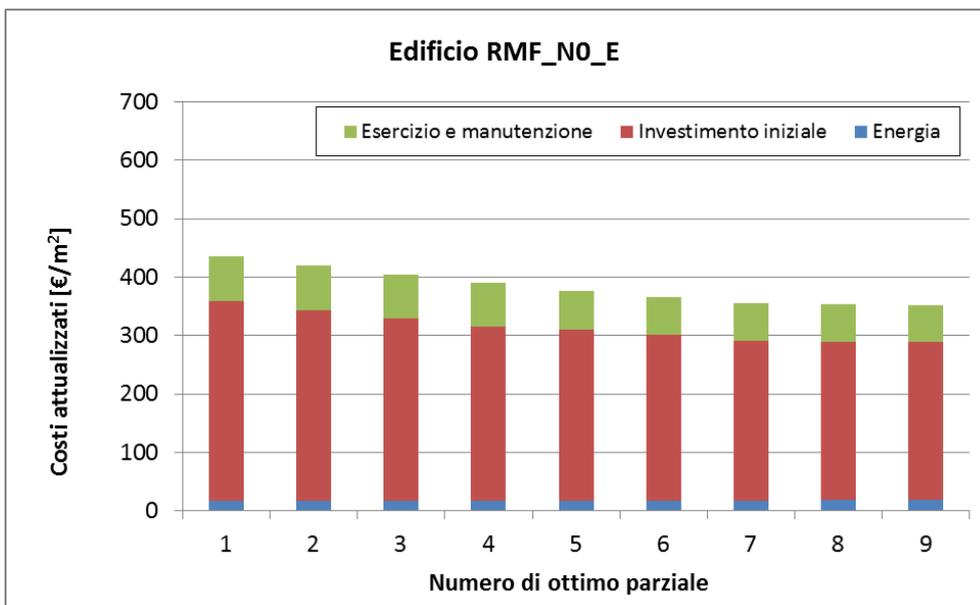
| RMF_N1_E | | | | | |
|----------|--|---|----------------------|--------------|--------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | N. EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 0,45 | 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) | U _f | 0,4 | 1 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | 0,45 | 1 |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 5 | 1 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmissione solare della schermatura | τ _s | 0,4 | fissa |
| 7 | Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 2,9 | 1 |
| 8 | Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS) | Rendimento del generatore in condizioni di progetto | η _{gn} | 1,9 | 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} | 0,88 | 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 | 4 | 2 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 4 | 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) | Rendimento di regolazione | η _{ctr} | 0,995 | 3 |

EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE NUOVO – ZONA CLIMATICA E (MILANO)

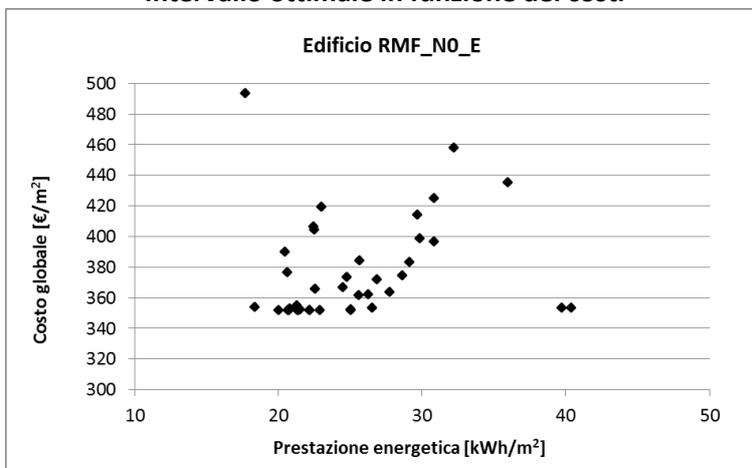
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi

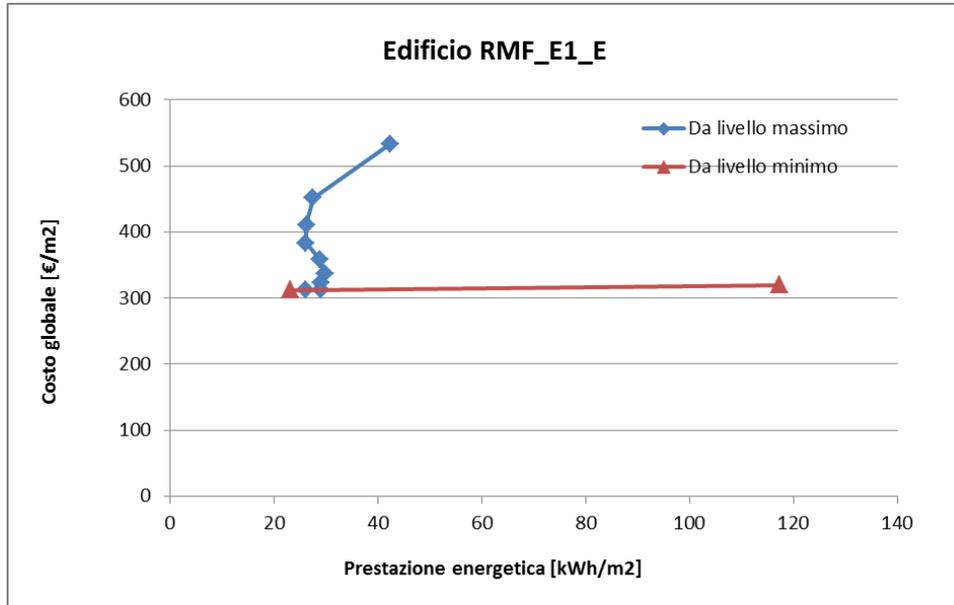


Valori ottimali dei parametri di progetto

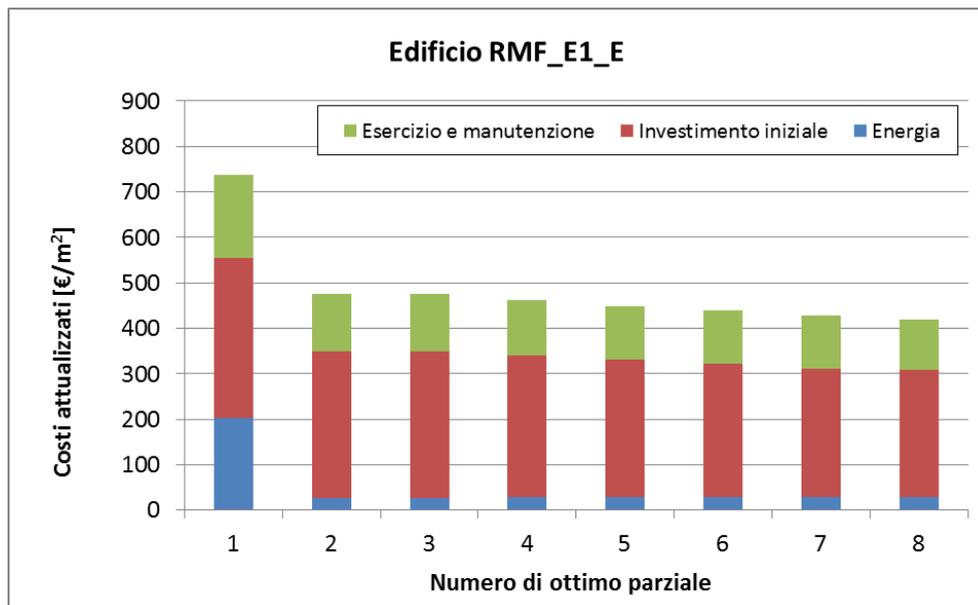
| RMF_NO_E | | | | | |
|----------|--|---|----------------------|--------------|--------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | N. EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 0,45 | 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) | U _r | 0,4 | 1 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | 0,45 | 1 |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 5 | 1 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmissione solare della schermatura | τ _s | 0,4 | fissa |
| 7 | Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 2,9 | 1 |
| 8 | Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS) | Rendimento del generatore in condizioni di progetto | η _{gn} | 1,9 | 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} | 0,88 | 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 | 2 | 1 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 4 | 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) | Rendimento di regolazione | η _{ctr} | 0,995 | 3 |

EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE (1946-1976) – ZONA CLIMATICA E (MILANO)

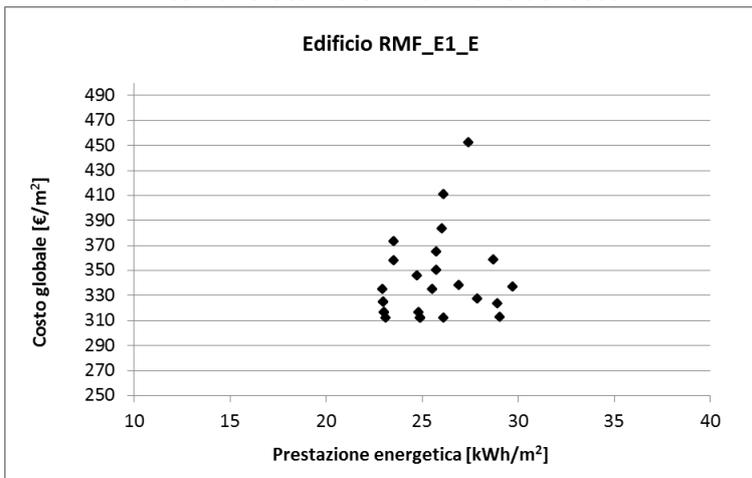
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi

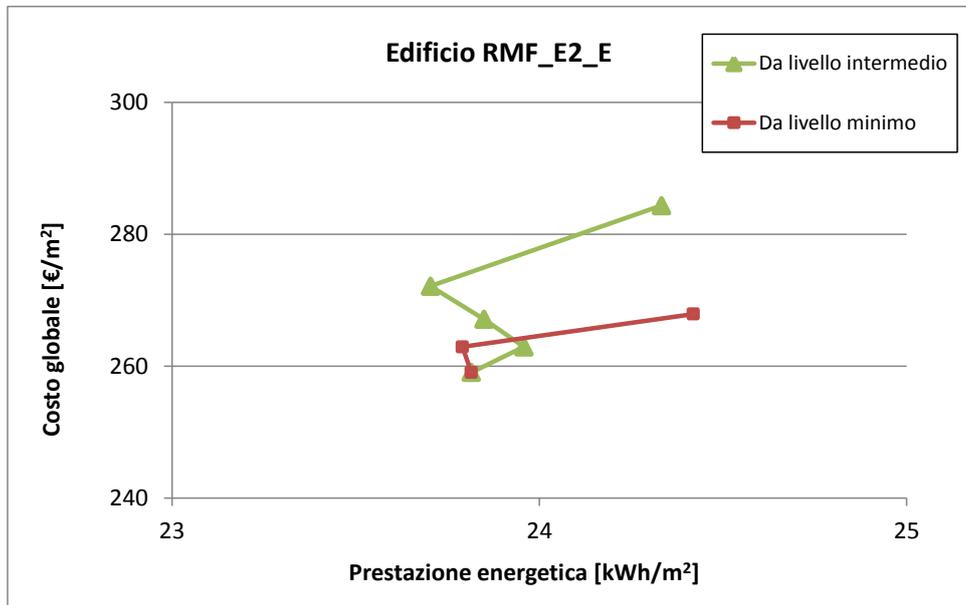


Valori ottimali dei parametri di progetto

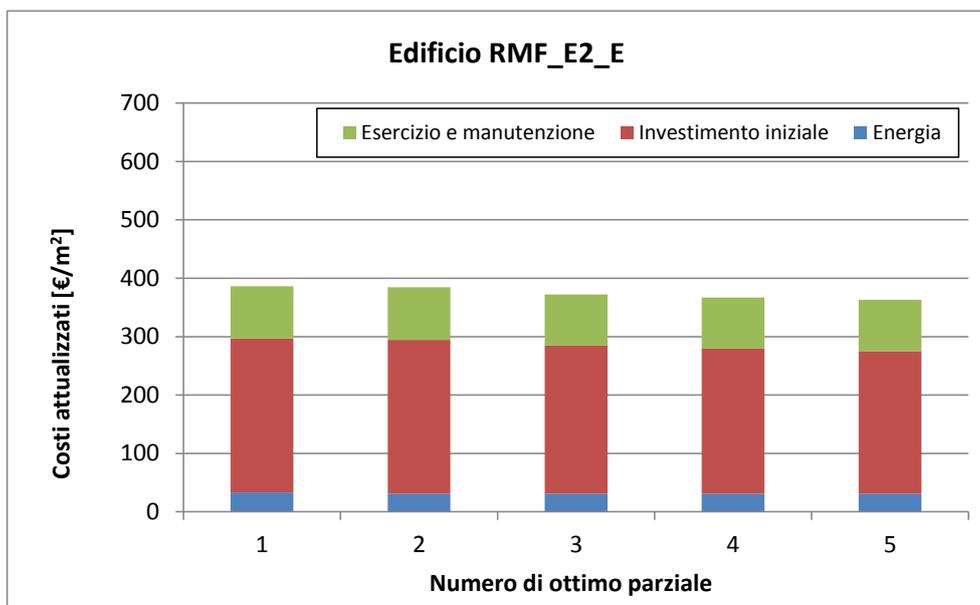
| RMF_E1_E | | | | | |
|----------|--|---|----------------------|--------------|---------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | Optimum |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 0,29 | 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) | U _r | 0,27 | 1 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | - | - |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 2,2 | 1 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmissione solare della schermatura | τ _s | 0,4 | fisse |
| 7 | Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 2,9 | 1 |
| 8 | Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS) | Rendimento del generatore in condizioni di progetto | η _{gn} | 1,9 | 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} | 0,96 | 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 | 2 | 1 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 1 | 1 |
| 14 | Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS) | Efficienza del recuperatore di calore | η _r | - | - |
| 15 | Sistema di regolazione avanzato (ICS) | Rendimento di regolazione | η _{ctr} | 0,995 | - |

EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE (1977-1990)– ZONA CLIMATICA E (MILANO)

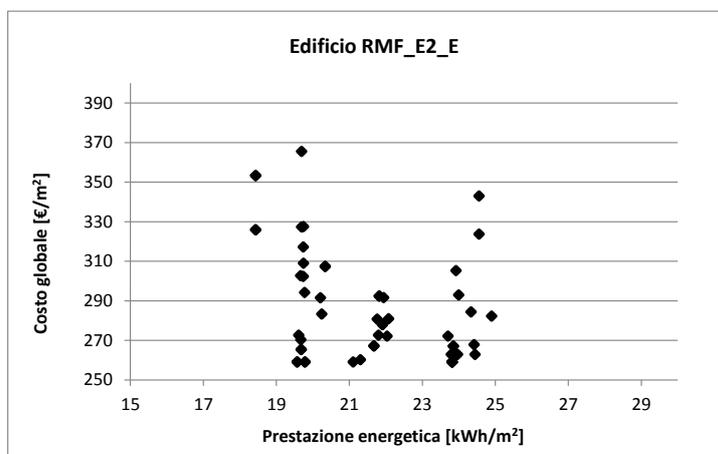
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi

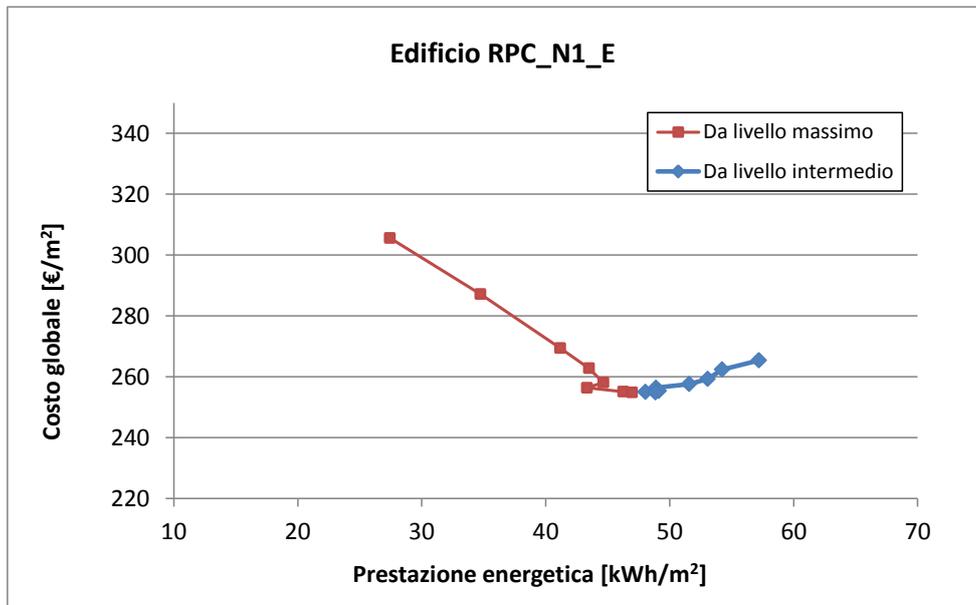


Valori ottimali dei parametri di progetto

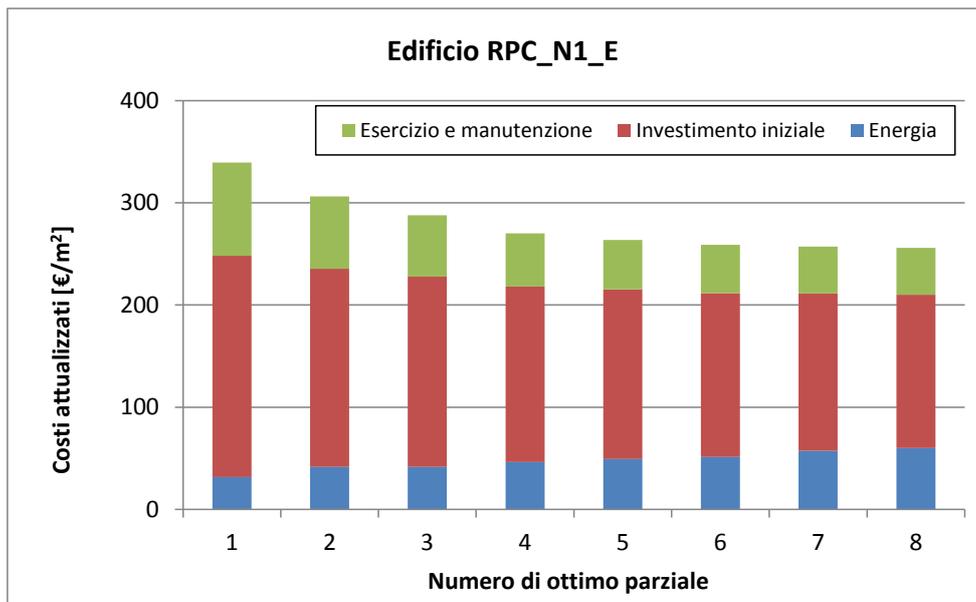
| RMF_E2_E | | | | | |
|----------|--|---|----------------------|--------------|--------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | N. EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | - | - |
| 2 | Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 0,45 | 1 |
| 3 | Isolamento termico della copertura (INS-R) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _r | 0,4 | 1 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | 0,45 | 1 |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 5 | 1 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmissione solare della schermatura | τ _s | 0,4 | fissa |
| 7 | Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3,5 | 1 |
| 8 | Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS) | Rendimento del generatore in condizioni di progetto | η _{gn} | 1,9 | 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} | 1 | 3 |
| 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 | 2 | 1 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 1 | 1 |
| 14 | Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS) | Efficienza del recuperatore di calore | η _r | - | - |
| 15 | Sistema di regolazione avanzato (ICS) | Rendimento di regolazione | η _{ctr} | 0,995 | 3 |

EDIFICIO RESIDENZIALE PICCOLO CONDOMINIO NUOVO – ZONA CLIMATICA E (MILANO)

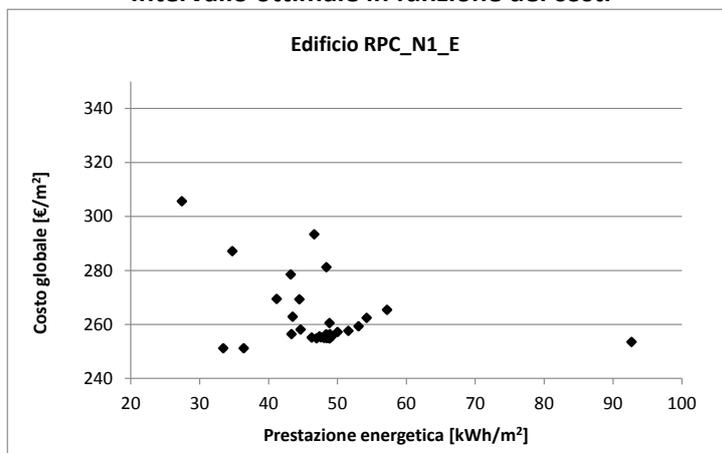
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi

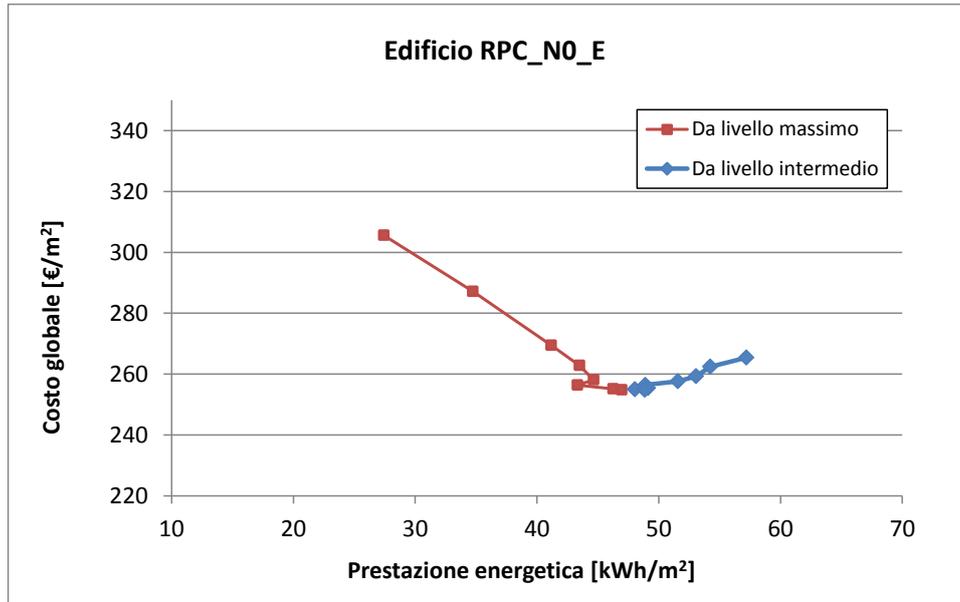


Valori ottimali dei parametri di progetto

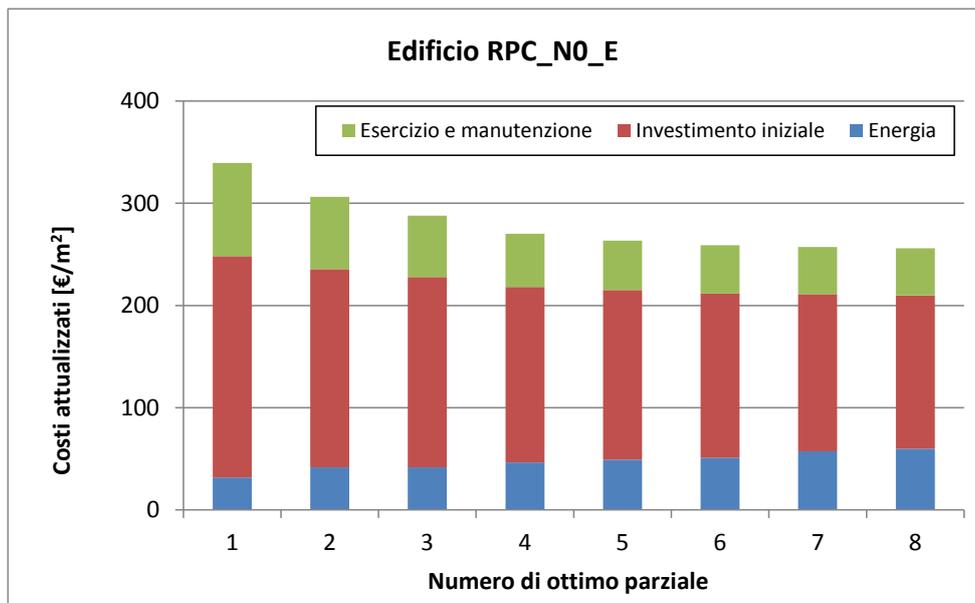
| RPC_N0_E | | | | | |
|----------|--|---|----------------------|--------------|--------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | N. EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 0,34 | 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) | U _r | 0,4 | 5 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | 0,45 | 3 |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 2,2 | 3 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmissione solare della schermatura | τ _s | 0,4 | fissa |
| 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 | η _{gn} | 0,928 | 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} | 0,88 | 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 | 17 | 3 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 2,5 | 1 |
| 14 | Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS) | Efficienza del recuperatore di calore | η _r | 0,9 | 3 |
| 15 | Sistema di regolazione avanzato (ICS) | Rendimento di regolazione | η _{ctr} | 0,97 | 2 |

EDIFICIO RESIDENZIALE PICCOLO CONDOMINIO NUOVO – ZONA CLIMATICA E (MILANO)

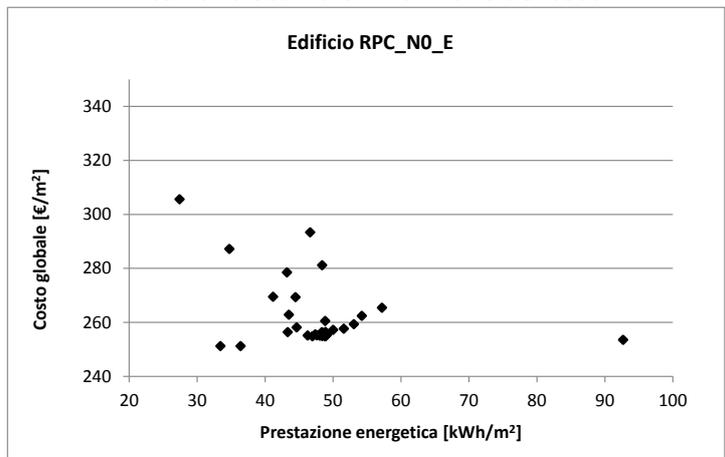
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi



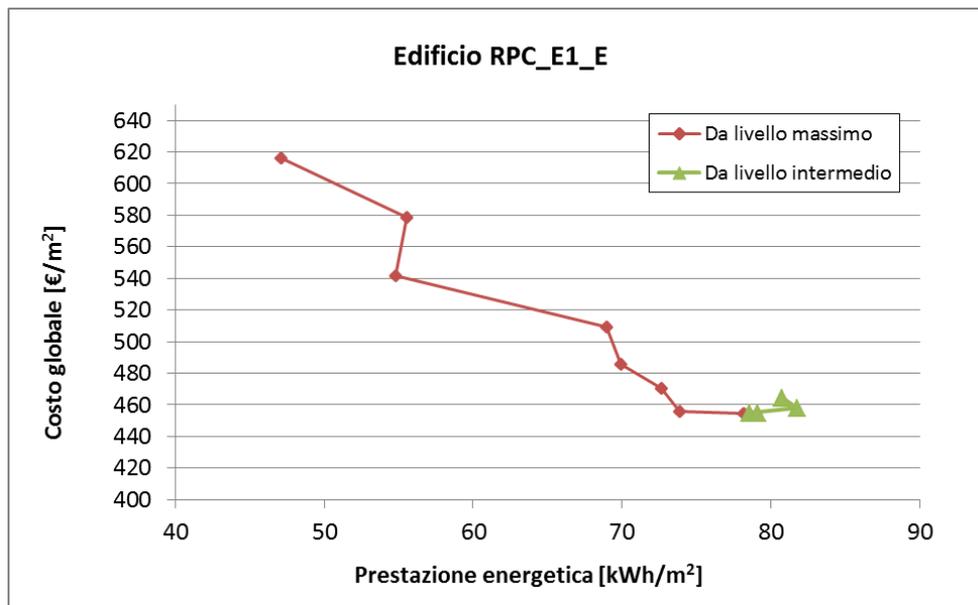
Valori ottimali dei parametri di progetto

| RPC_NO_E | | | | | |
|----------|--|---|----------------------|--------------|--------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | N. EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 0,34 | 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) | U _r | 0,4 | 5 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | 0,45 | 3 |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 2,2 | 3 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmmissione solare della schermatura | τ _s | 0,4 | fissa |
| 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 | η _{gn} | 0,928 | 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} | 0,88 | 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 | 17 | 3 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 2,5 | 1 |
| 14 | Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS) | Efficienza del recuperatore di calore | η _r | 0,9 | 3 |

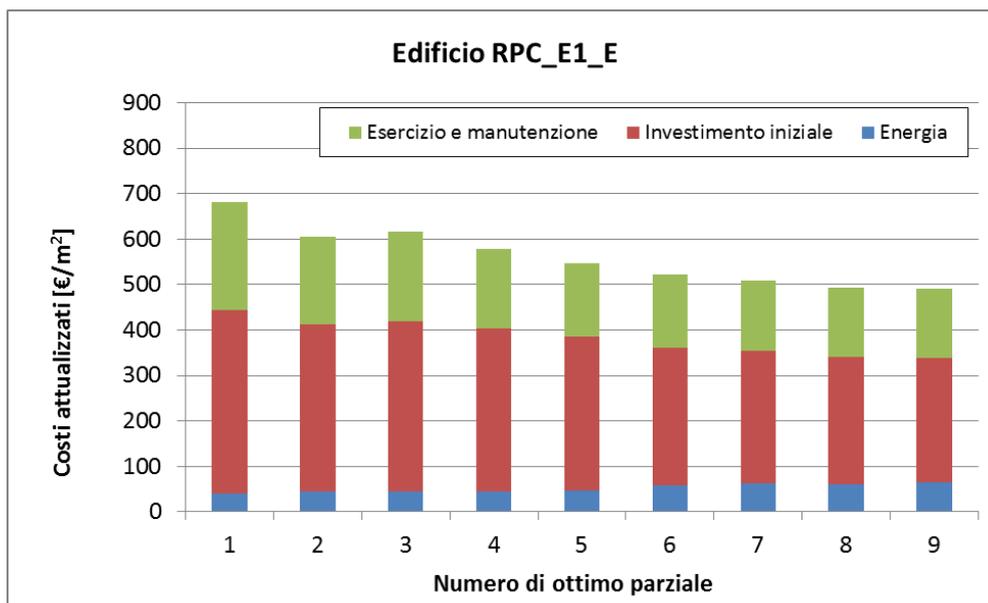
| | | | | | |
|----|---------------------------------------|---------------------------|--------------|-------------|---|
| 15 | Sistema di regolazione avanzato (ICS) | Rendimento di regolazione | η_{ctr} | 0,97 | 2 |
|----|---------------------------------------|---------------------------|--------------|-------------|---|

EDIFICIO RESIDENZIALE PICCOLO CONDOMINIO (1946-1976) – ZONA CLIMATICA E (MILANO)

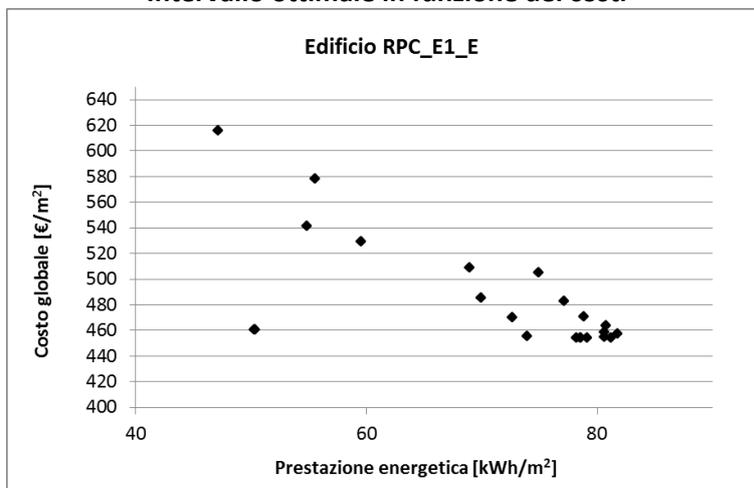
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi

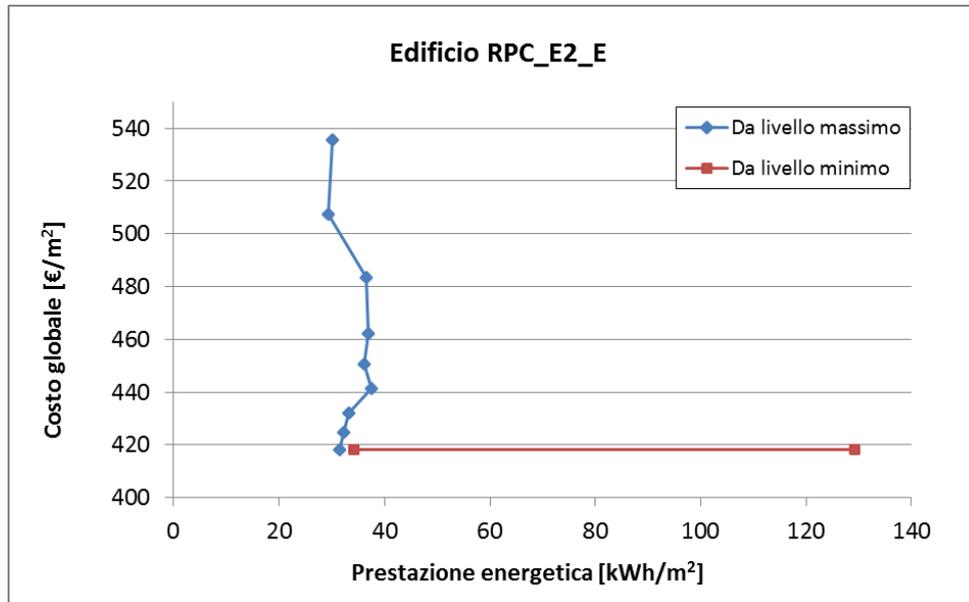


Valori ottimali dei parametri di progetto

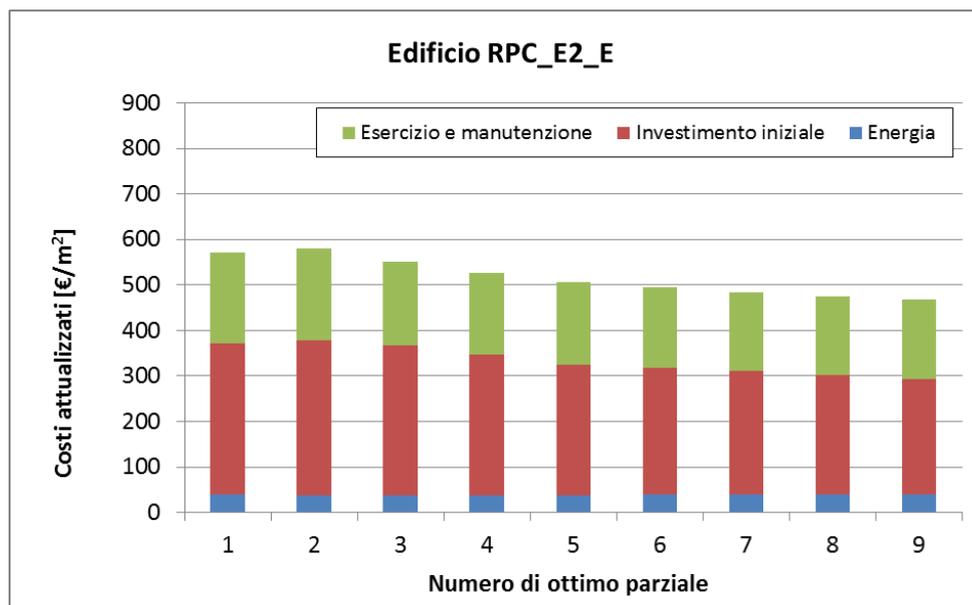
| RPC_E1_E | | | | | |
|----------|--|---|----------------------|-------------|--------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | N. EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | - | - |
| 2 | Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 0,48 | 2 |
| 3 | Isolamento termico della copertura (INS-R) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _r | 0,33 | 4 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | 0,49 | 2 |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 2,2 | 4 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmissione solare della schermatura | τ _s | 0,2 | mobili |
| 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 | η _{gn} | 0,94 | 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} | 0,88 | 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 | 2,5 | 1 |
| 14 | Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS) | Efficienza del recuperatore di calore | η _r | - | - |
| 15 | Sistema di regolazione avanzato (ICS) | Rendimento di regolazione | η _{ctr} | 0,97 | 2 |

EDIFICIO RESIDENZIALE PICCOLO CONDOMINIO (1946-1976) – ZONA CLIMATICA E (MILANO)

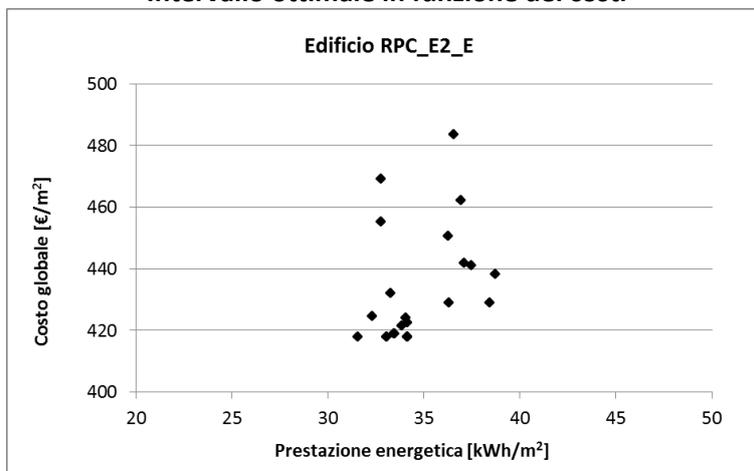
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi

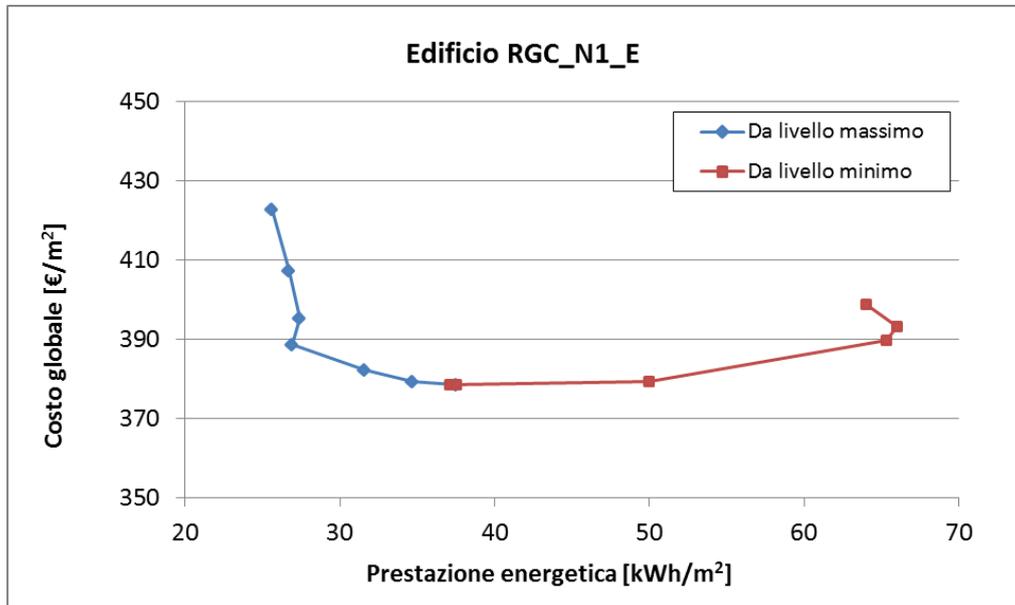


Valori ottimali dei parametri di progetto

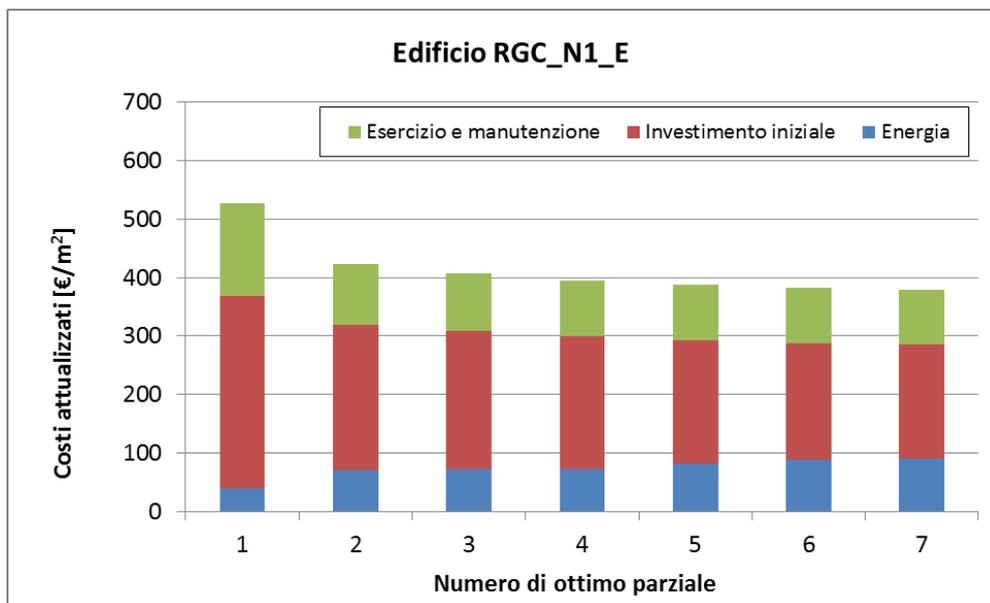
| RPC_E2_E | | | | | |
|----------|--|---|----------------------|--------------|--------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | N. EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 0,45 | 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) | U _r | 0,4 | 1 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | 0,45 | 1 |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 5 | 1 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmissione solare della schermatura | τ _s | 0,4 | fissa |
| 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 | η _{gn} | 1,9 | 5 |
| 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} | 0,88 | 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 | 2 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 2,5 | 1 |
| 14 | Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS) | Efficienza del recuperatore di calore | η _r | - | - |
| 15 | Sistema di regolazione avanzato (ICS) | Rendimento di regolazione | η _{ctr} | 0,995 | 3 |

EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO NUOVO – ZONA CLIMATICA E (MILANO)

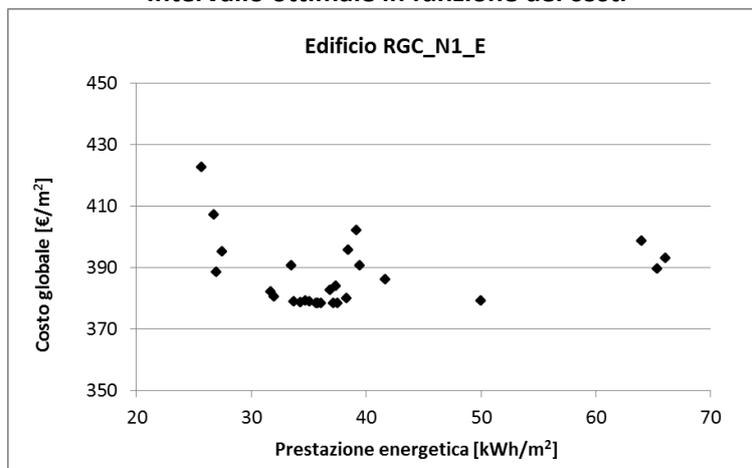
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi



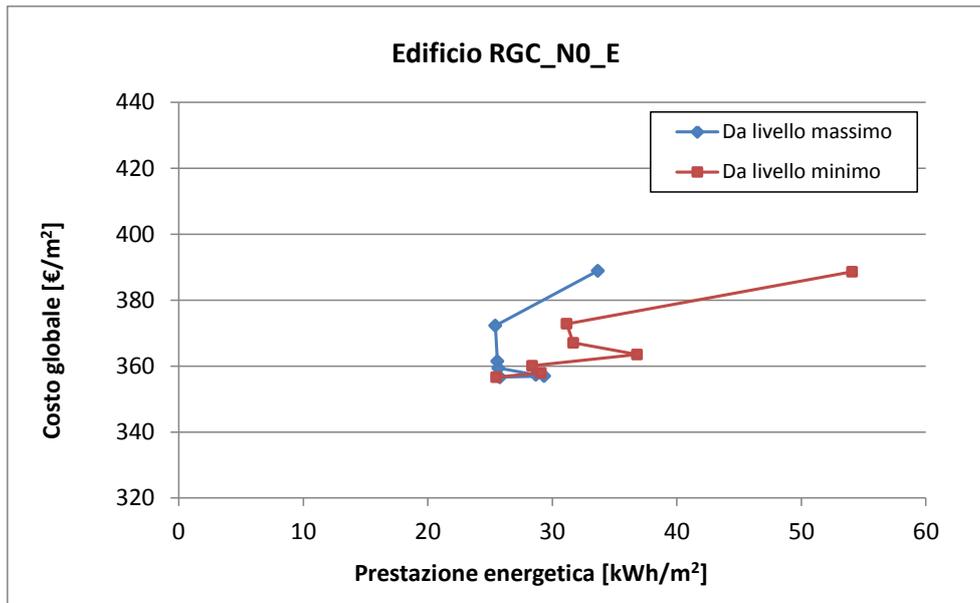
Valori ottimali dei parametri di progetto

| RGC_N1_E | | | | | |
|----------|--|---|----------------------|-------------|--------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | N. EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 0,34 | 2 |
| 2 | Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | - | - |
| 3 | Isolamento termico della copertura (INS-R) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _r | 0,3 | 2 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | 0,45 | 1 |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 1,9 | 3 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmmissione solare della schermatura | τ _s | 0,4 | fissa |
| 7 | Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | - | - |
| 8 | Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS) | Rendimento del generatore in condizioni di progetto | η _{gn} | - | - |
| 9 | Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-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 | 3,3 | 3 |
| | | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3,2 | - |
| 12 | Impianto solare termico (SOL) | Superficie dei collettori solari (m ²) | m ² | 30 | 1 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 3,7 | 1 |
| 14 | Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS) | Efficienza del recuperatore di calore | η _r | 0,7 | 2 |

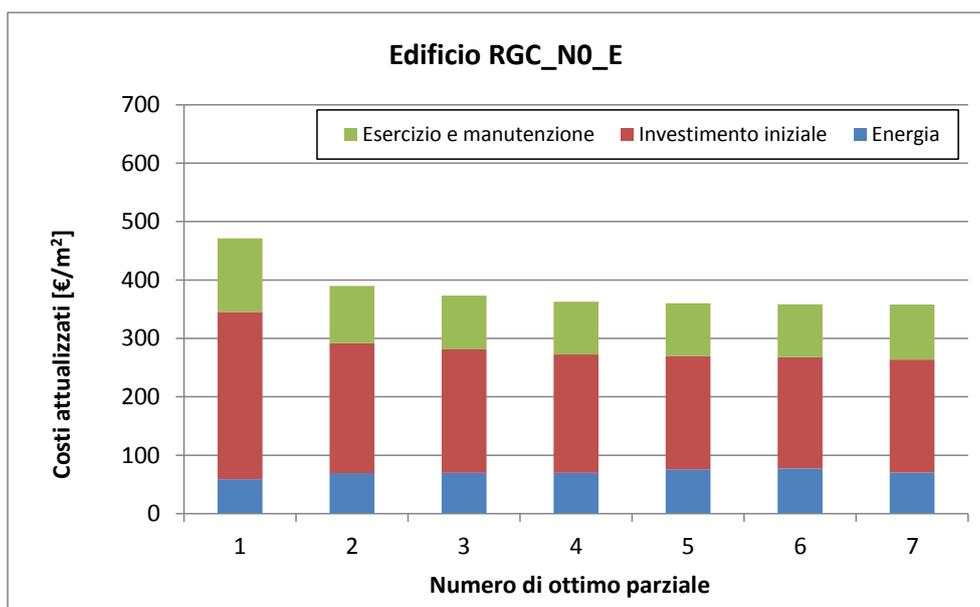
| | | | | | |
|----|---------------------------------------|---------------------------|--------------|--------------|---|
| 15 | Sistema di regolazione avanzato (ICS) | Rendimento di regolazione | η_{ctr} | 0,995 | 3 |
|----|---------------------------------------|---------------------------|--------------|--------------|---|

EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO NUOVO – ZONA CLIMATICA E (MILANO)

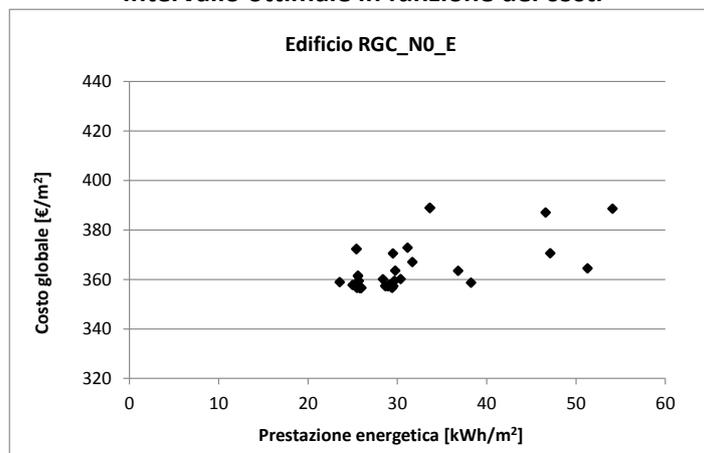
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi

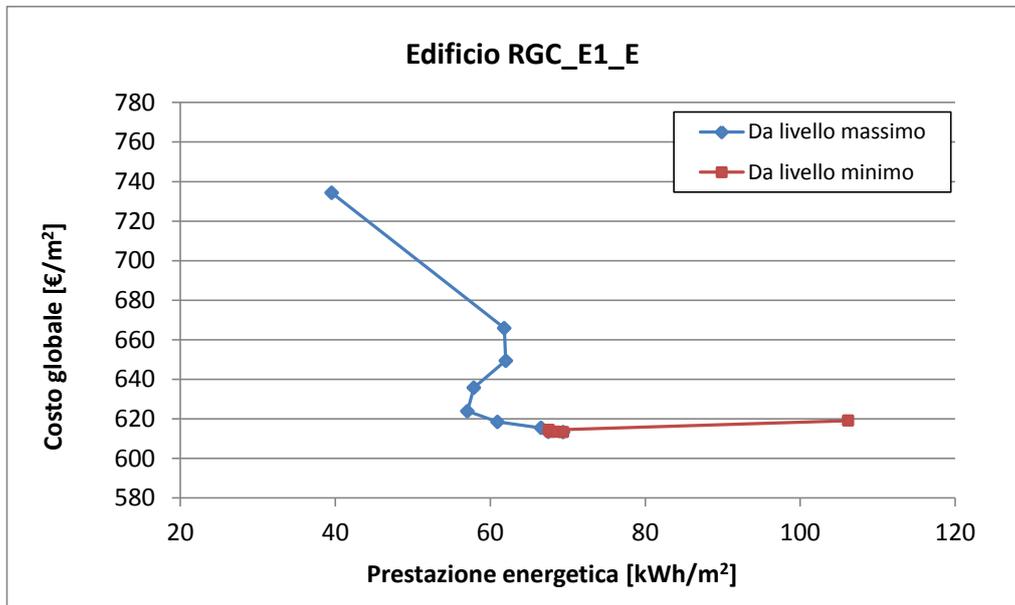


Valori ottimali dei parametri di progetto

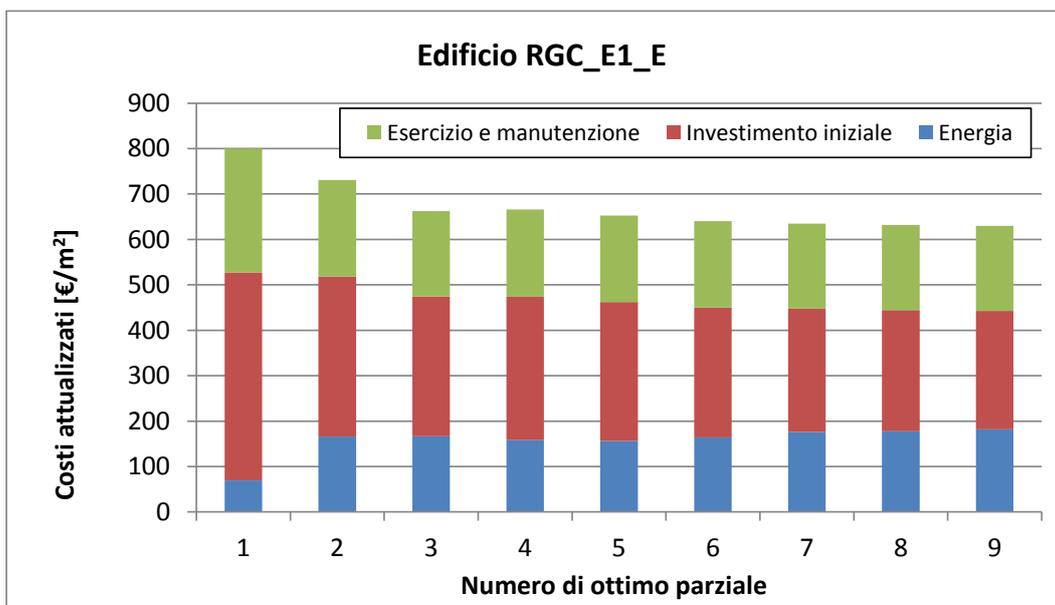
| RGC_NO_E | | | | | |
|----------|--|---|----------------------|--------------|--------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | N. EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 0,34 | 2 |
| 2 | Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | - | - |
| 3 | Isolamento termico della copertura (INS-R) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _r | 0,4 | 1 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | 0,45 | 1 |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 1,9 | 3 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmissione solare della schermatura | τ _s | 0,4 | fisse |
| 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 | 3,3 | 3 |
| | | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3,2 | 3 |
| 12 | Impianto solare termico (SOL) | Superficie dei collettori solari (m ²) | m ² | 29 | 1 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 15 | 4 |
| 14 | Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS) | Efficienza del recuperatore di calore | η _r | 0,9 | 3 |
| 15 | Sistema di regolazione avanzato (ICS) | Rendimento di regolazione | η _{ctr} | 0,995 | 3 |

EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO (1977-1990) ZONA CLIMATICA E (MILANO)

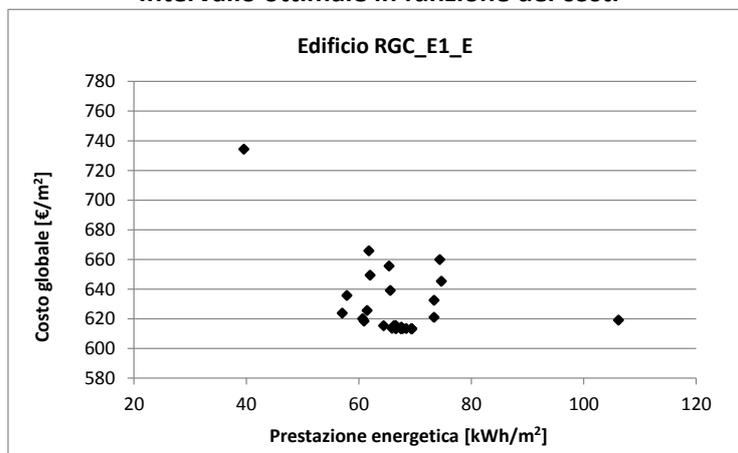
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi

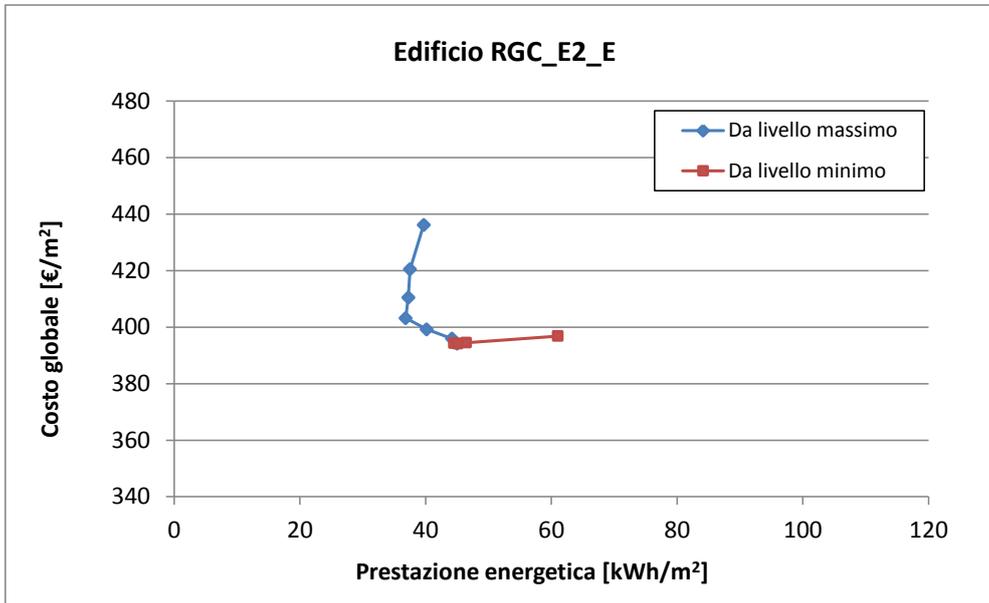


Valori ottimali dei parametri di progetto

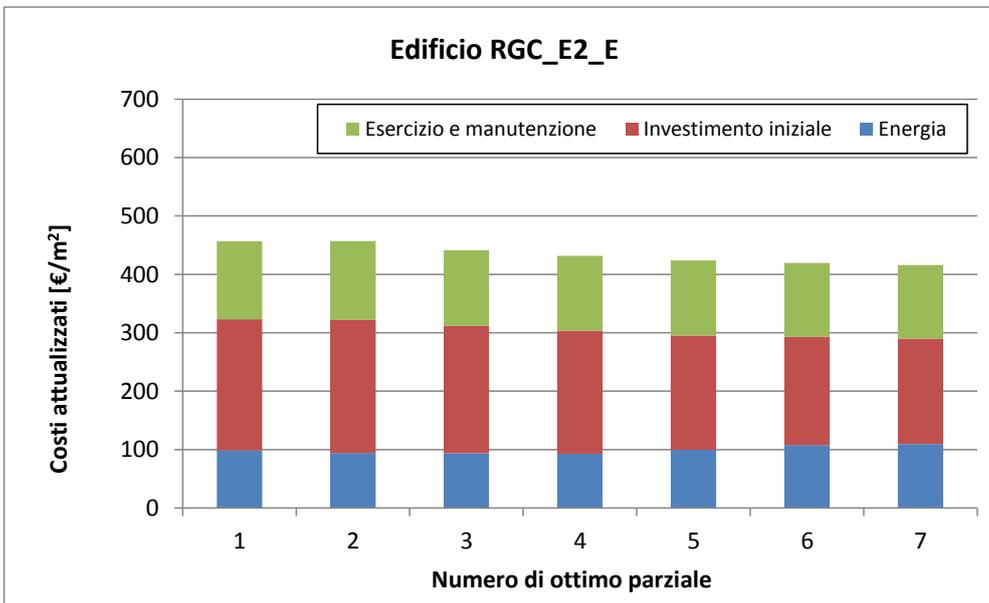
| RGC_E1_E | | | | | |
|----------|--|---|----------------------|--------------|--------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | N. EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | - | - |
| 2 | Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 0,34 | 2 |
| 3 | Isolamento termico della copertura (INS-R) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _r | 0,4 | 1 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | 0,45 | 1 |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 1,9 | 3 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmissione solare della schermatura | τ _s | 0,4 | fisse |
| 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 | 3,3 | 3 |
| | | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3,2 | 3 |
| 12 | Impianto solare termico (SOL) | Superficie dei collettori solari (m ²) | m ² | 29 | 1 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 3 | 1 |
| 14 | Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS) | Efficienza del recuperatore di calore | η _r | - | - |
| 15 | Sistema di regolazione avanzato (ICS) | Rendimento di regolazione | η _{ctr} | 0,995 | 3 |

EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO (1946-1976) – ZONA CLIMATICA E (MILANO)

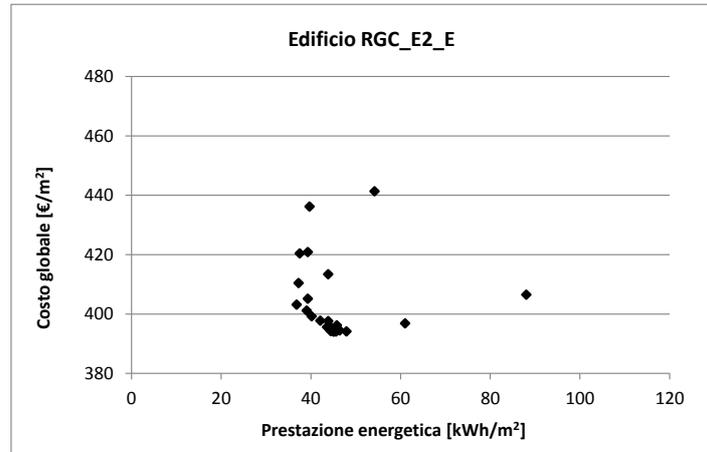
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi

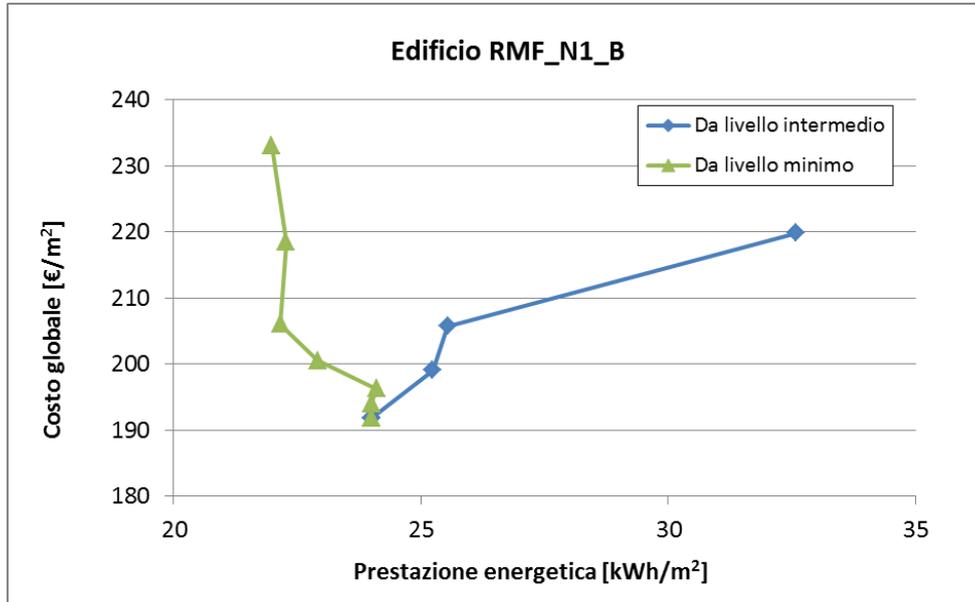


Valori ottimali dei parametri di progetto

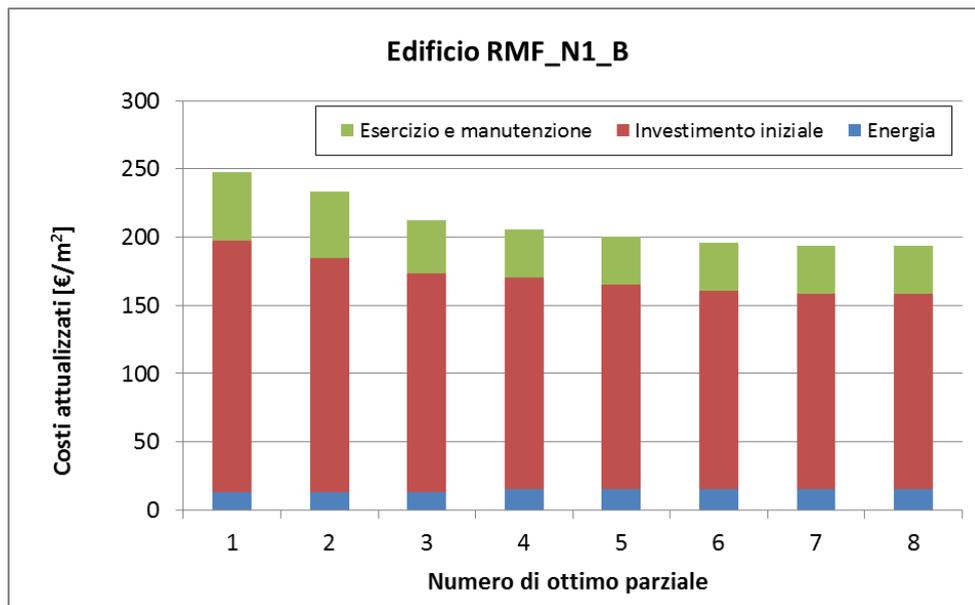
| RGC_E2_E | | | | | |
|----------|--|---|------------------|--------------|--------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | N. EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m^2K) | U_p | - | - |
| 2 | Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine | Trasmittanza termica (W/m^2K) | U_p | 0,34 | 2 |
| 3 | Isolamento termico della copertura (INS-R) | Trasmittanza termica (W/m^2K) | U_r | 0,4 | 1 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m^2K) | U_f | 0,45 | 1 |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m^2K) | U_w | 2,2 | 2 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmmissione solare della schermatura | τ_s | 0,4 | fisse |
| 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 | 3,3 | 3 |
| | | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3,2 | 3 |
| 12 | Impianto solare termico (SOL) | Superficie dei collettori solari (m^2) | m^2 | 58 | 1 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 4 | 1 |
| 14 | Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS) | Efficienza del recuperatore di calore | η_r | - | - |
| 15 | Sistema di regolazione avanzato (ICS) | Rendimento di regolazione | η_{ctr} | 0,995 | 3 |

EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE NUOVO – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)

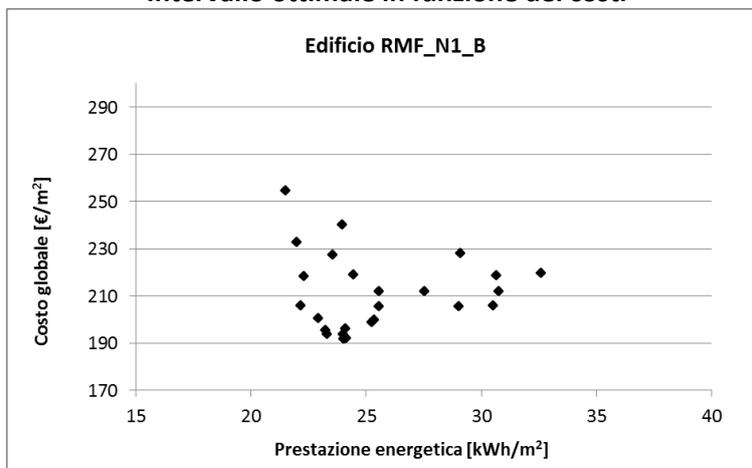
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi

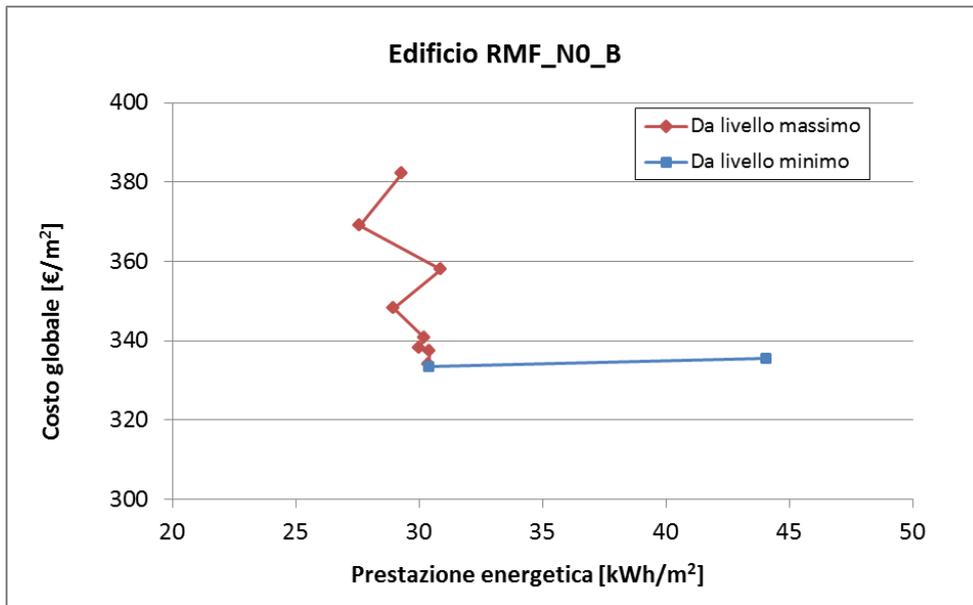


Valori ottimali dei parametri di progetto

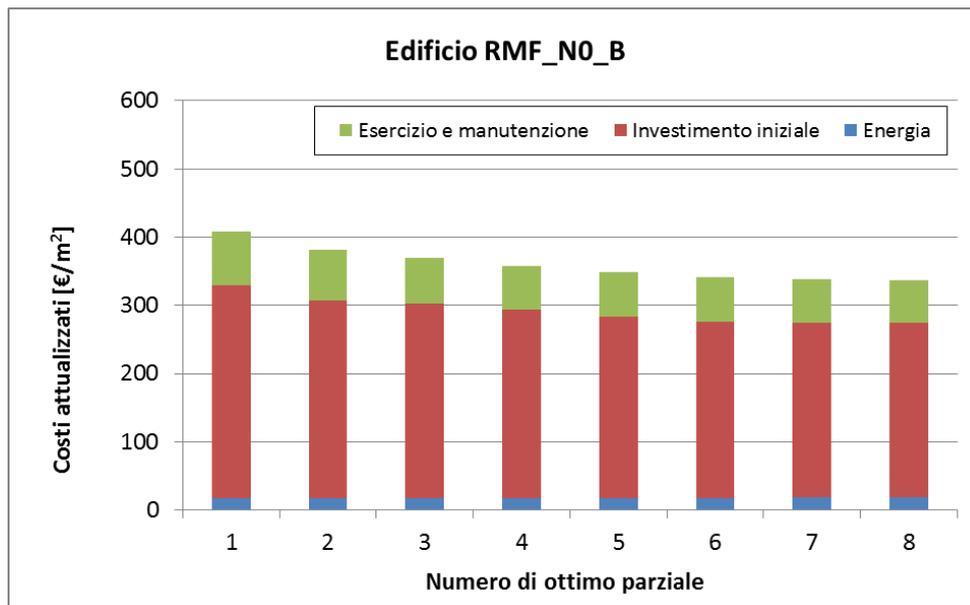
| RMF_N1_B | | | | | |
|----------|--|---|------------------|--------------|--------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | N. EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m^2K) | U_p | 0,65 | 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_f | 0,5 | 1 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m^2K) | U_f | 0,65 | 1 |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m^2K) | U_w | 5,8 | 1 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmissione solare della schermatura | τ_s | 0,2 | fissa |
| 7 | Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 2,9 | 1 |
| 8 | Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS) | Rendimento del generatore in condizioni di progetto | η_{gn} | 1,7 | 1 |
| 9 | Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-DHW) | Rendimento del generatore in condizioni di progetto | $\eta_{gn,Pn,W}$ | 0,88 | 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 | 4 | 2 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 5 | 4 |
| 14 | Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS) | Efficienza del recuperatore di calore | η_r | 0,7 | 2 |
| 15 | Sistema di regolazione avanzato (ICS) | Rendimento di regolazione | η_{ctr} | 0,995 | 3 |

EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE NUOVO – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)

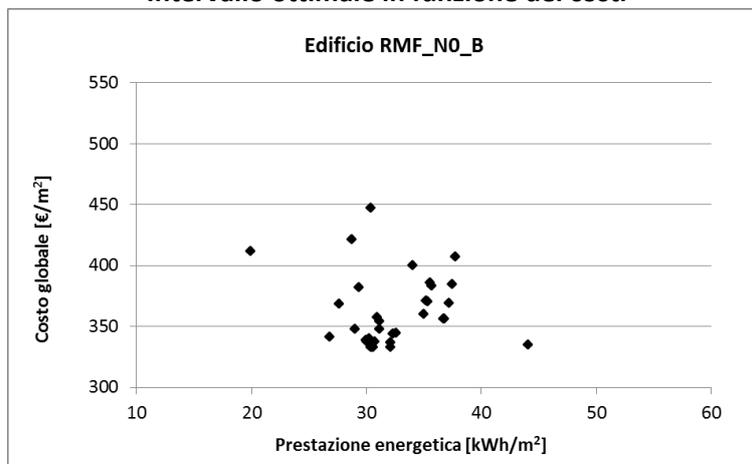
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi

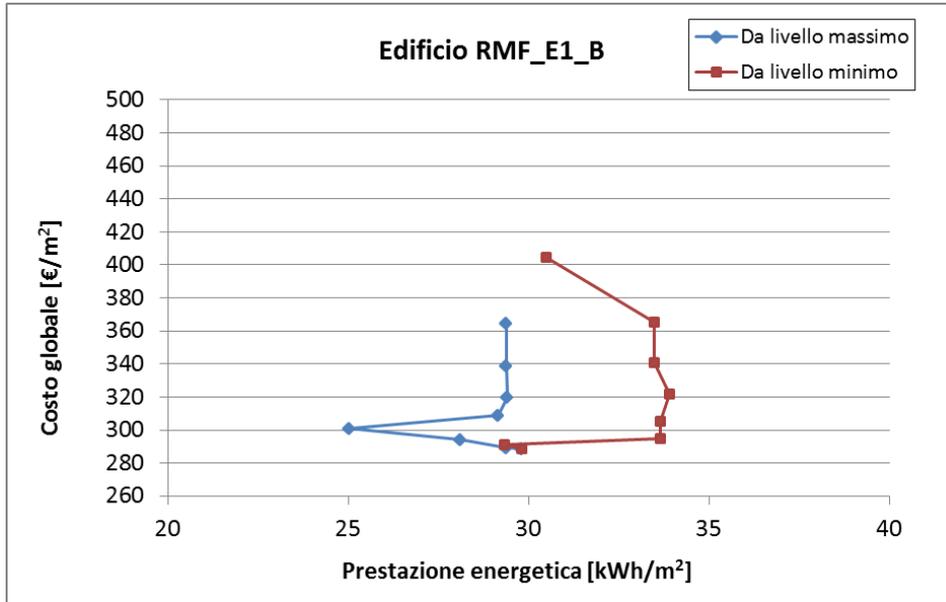


Valori ottimali dei parametri di progetto

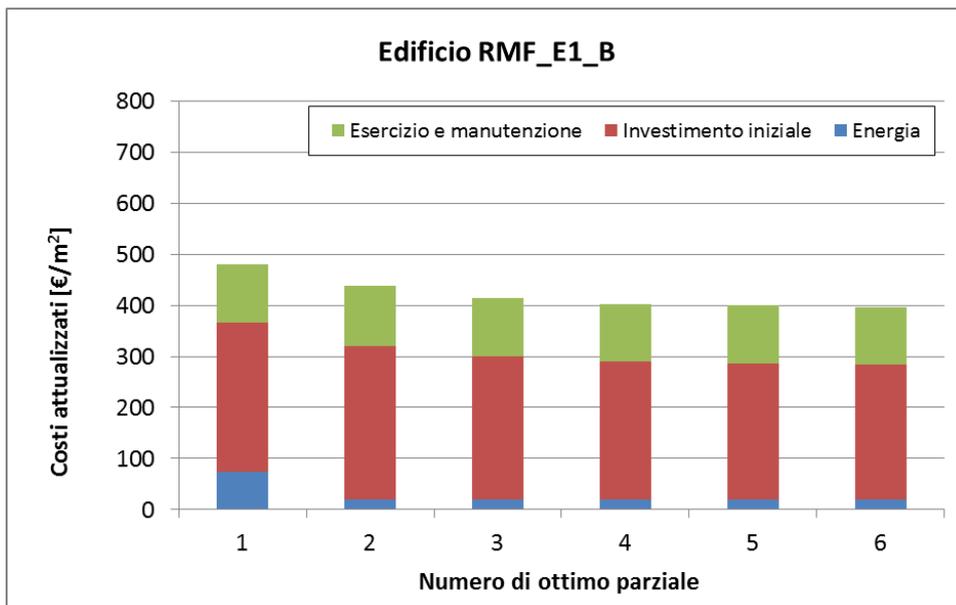
| RMF_NO_B | | | | | |
|----------|--|---|----------------------|--------------|--------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | N. EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 0,65 | 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) | U _r | 0,5 | 1 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | 0,65 | 1 |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 5,8 | 1 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmissione solare della schermatura | τ _s | 0,2 | fissa |
| 7 | Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 2,9 | 1 |
| 8 | Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS) | Rendimento del generatore in condizioni di progetto | η _{gn} | 1,7 | 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} | 0,88 | 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 | 4 | 2 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 5 | 4 |
| 14 | Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS) | Efficienza del recuperatore di calore | η _r | 0,7 | 2 |
| 15 | Sistema di regolazione avanzato (ICS) | Rendimento di regolazione | η _{ctr} | 0,995 | 3 |

EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE (1946-1976) – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)

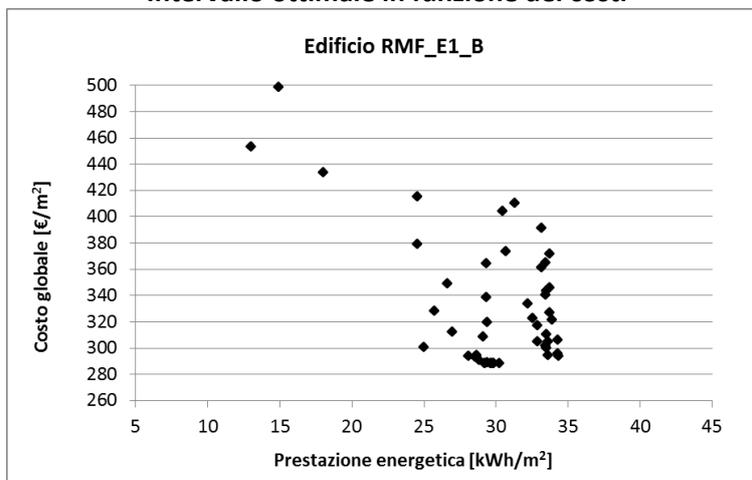
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi

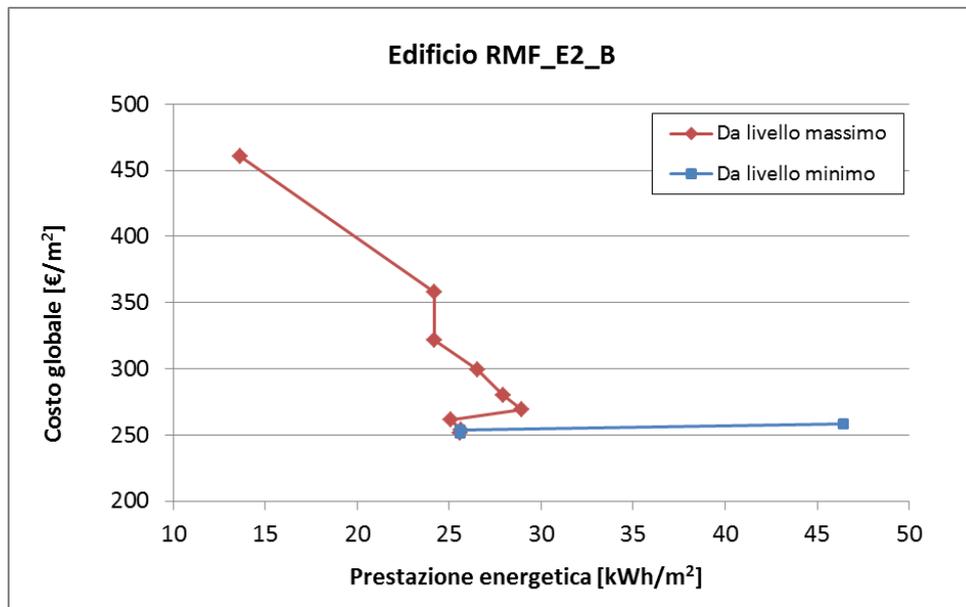


Valori ottimali dei parametri di progetto

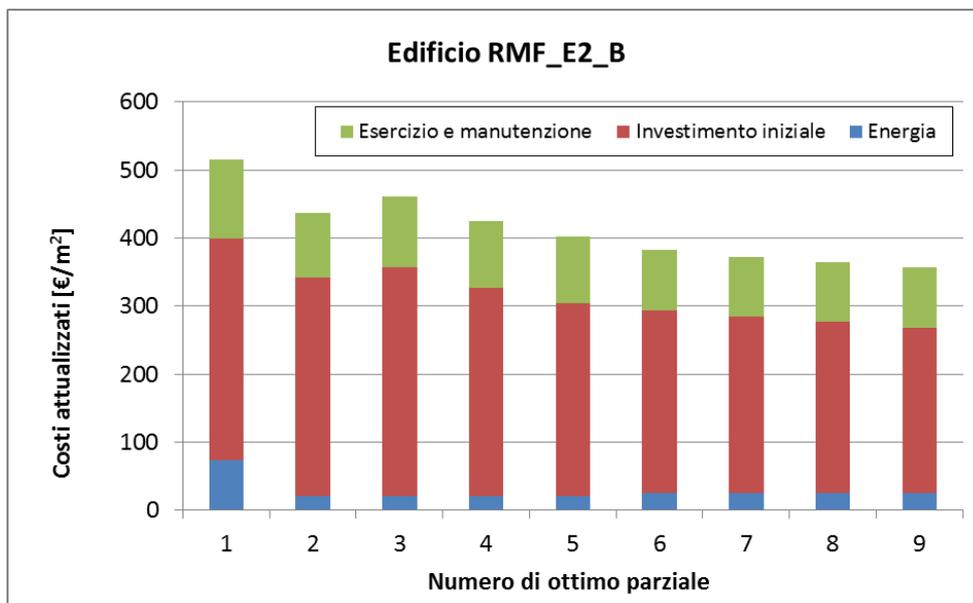
| RMF_E1_B | | | | | |
|----------|--|---|------------------|--------------|----------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | N. EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m^2K) | U_p | 0,65 | 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_r | 0,5 | 1 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m^2K) | U_f | - | - |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m^2K) | U_w | 5,8 | 1 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmissione solare della schermatura | τ_s | 0,2 | fisse |
| 7 | Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 2,9 | 1 |
| 8 | Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS) | Rendimento del generatore in condizioni di progetto | η_{gn} | 1,9 | 2 |
| 9 | Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-DHW) | Rendimento del generatore in condizioni di progetto | $\eta_{gn,Ph,W}$ | 0,88 | 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 | 2 | 1 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 1 | 1 |
| 14 | Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS) | Efficienza del recuperatore di calore | η_r | - | - |
| 15 | Sistema di regolazione avanzato (ICS) | Rendimento di regolazione | η_{ctr} | 0,995 | 3 |

EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE (1977-1990) – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)

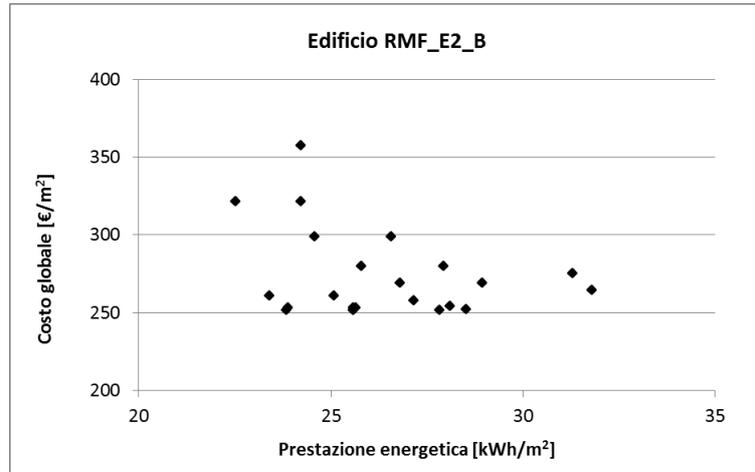
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi

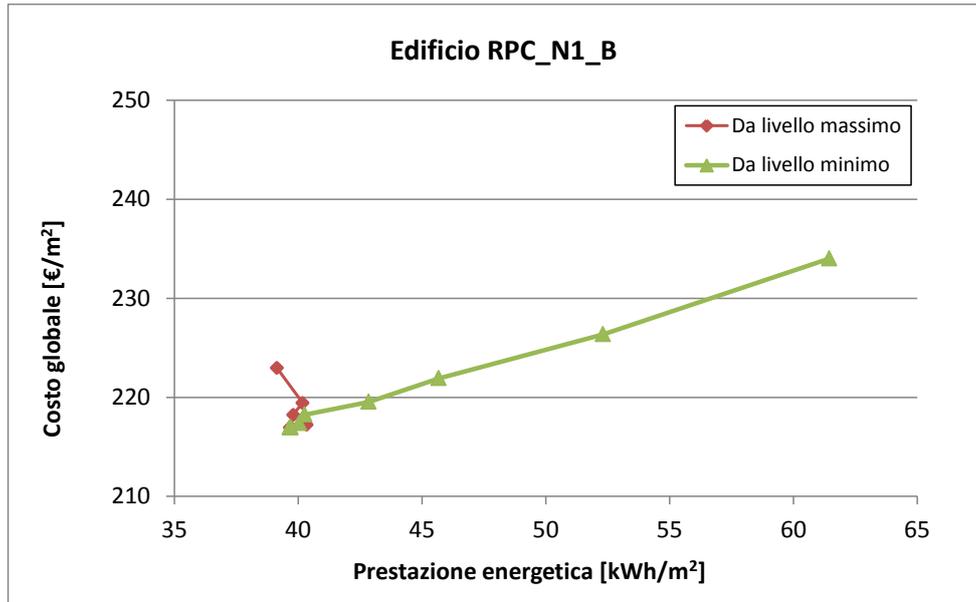


Valori ottimali dei parametri di progetto

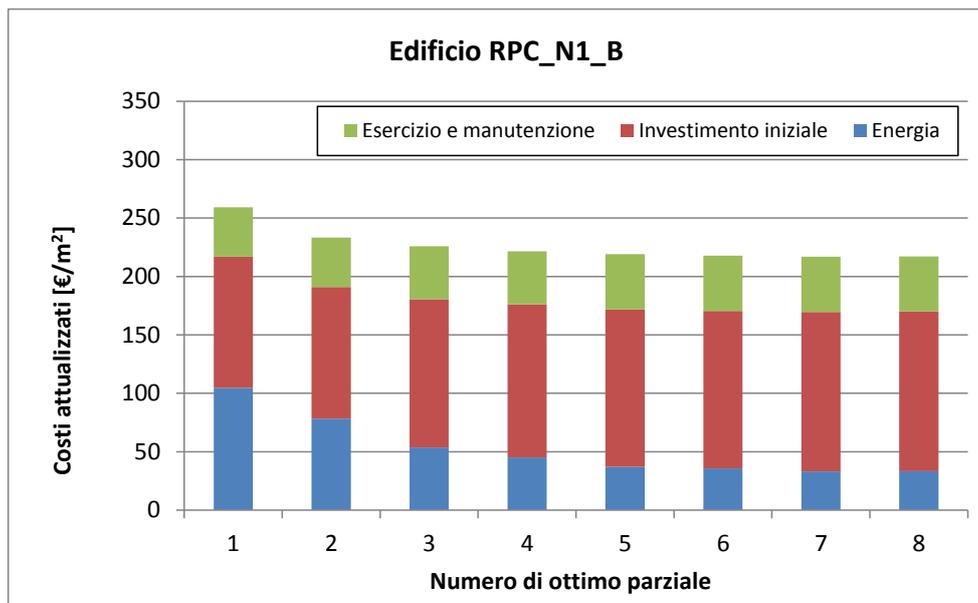
| RMF_E2_B | | | | | |
|----------|--|---|----------------------|--------------|--------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | N. EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | - | - |
| 2 | Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 0,65 | 1 |
| 3 | Isolamento termico della copertura (INS-R) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _r | 0,50 | 1 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | 0,65 | 1 |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 5,8 | 1 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmmissione solare della schermatura | τ _s | 0,2 | fissa |
| 7 | Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 4 | 3 |
| 8 | Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS) | Rendimento del generatore in condizioni di progetto | η _{gn} | 1,9 | 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} | 1 | 3 |
| 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 | 2 | 1 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 1 | 1 |
| 14 | Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS) | Efficienza del recuperatore di calore | η _r | - | - |
| 15 | Sistema di regolazione avanzato (ICS) | Rendimento di regolazione | η _{ctr} | 0,995 | 3 |

EDIFICIO RESIDENZIALE PICCOLO CONDOMINIO NUOVO – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)

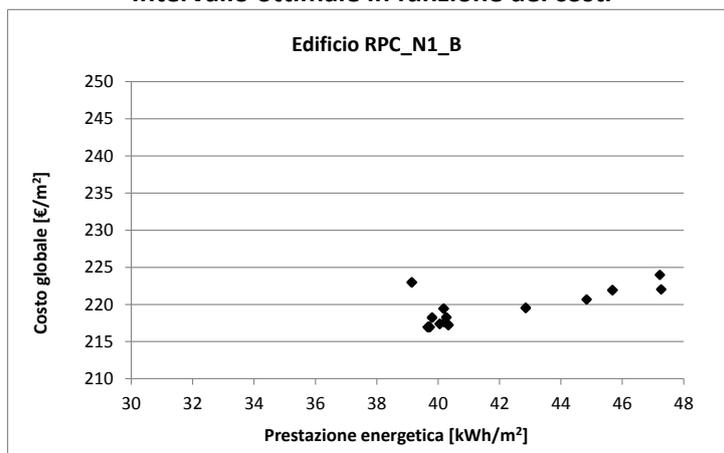
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi

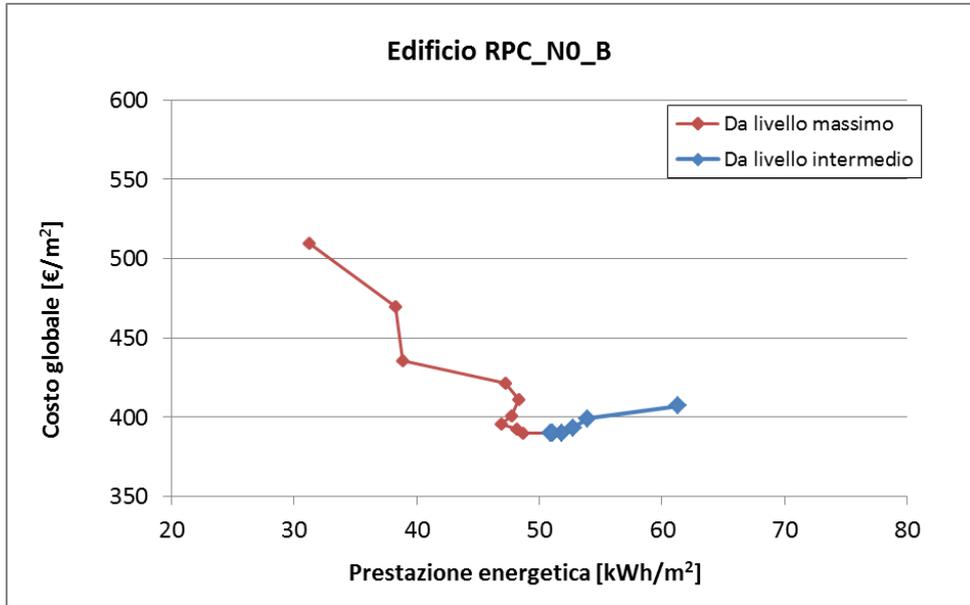


Valori ottimali dei parametri di progetto

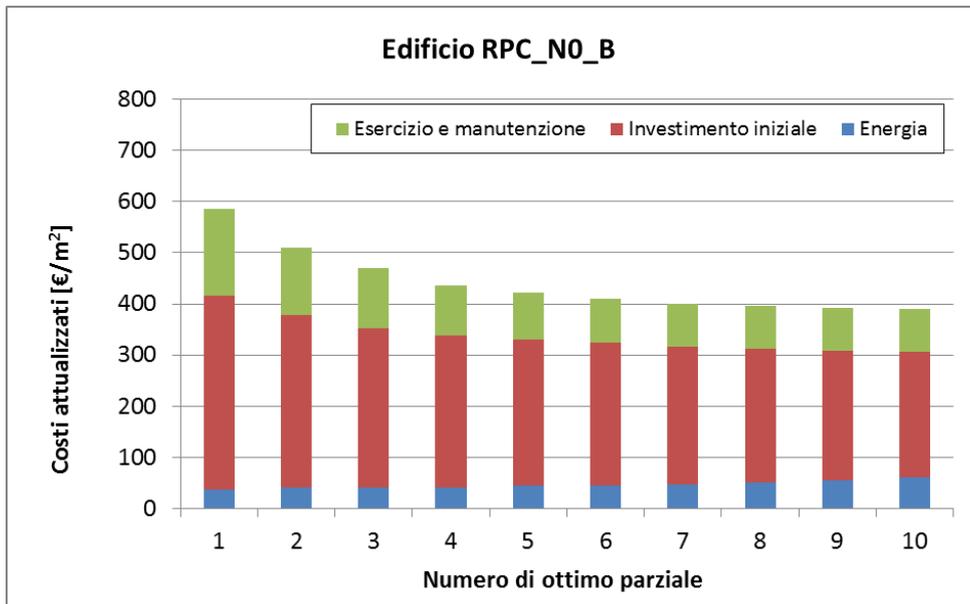
| RPC_N1_B | | | | | |
|----------|--|---|------------------|--------------|--------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | N. EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m²K) | U_p | 0,3 | 3 |
| 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) | U_r | 0,3 | 5 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m²K) | U_f | 0,36 | 2 |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m²K) | U_w | 2,2 | 1 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmissione solare della schermatura | τ_s | 0,2 | mobili |
| 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 | η_{gn} | 0,928 | 2 |
| 9 | Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-DHW) | Rendimento del generatore in condizioni di progetto | $\eta_{gn,Pn,W}$ | 0,88 | 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 | 17 | 3 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 2,5 | 1 |
| 14 | Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS) | Efficienza del recuperatore di calore | η_r | 0,9 | 3 |
| 15 | Sistema di regolazione avanzato (ICS) | Rendimento di regolazione | η_{ctr} | 0,97 | 2 |

EDIFICIO RESIDENZIALE PICCOLO CONDOMINIO NUOVO – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)

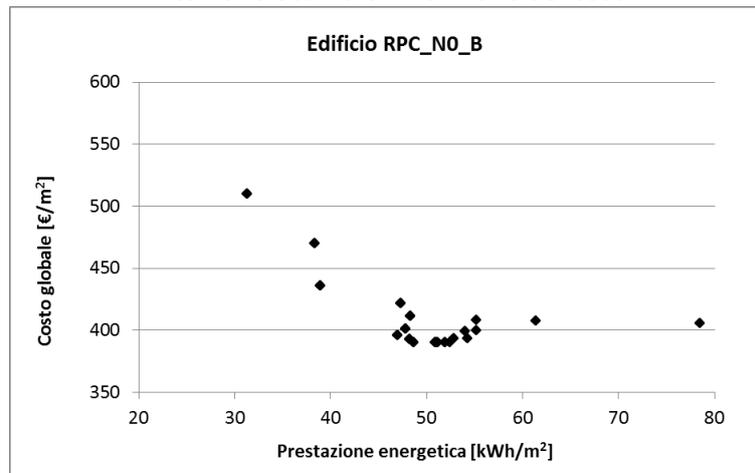
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi

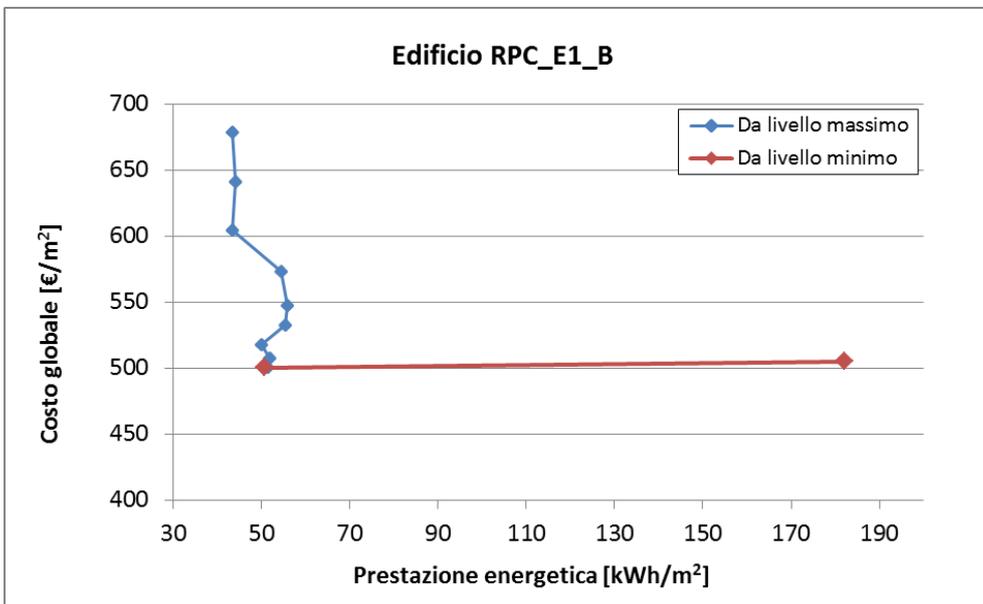


Valori ottimali dei parametri di progetto

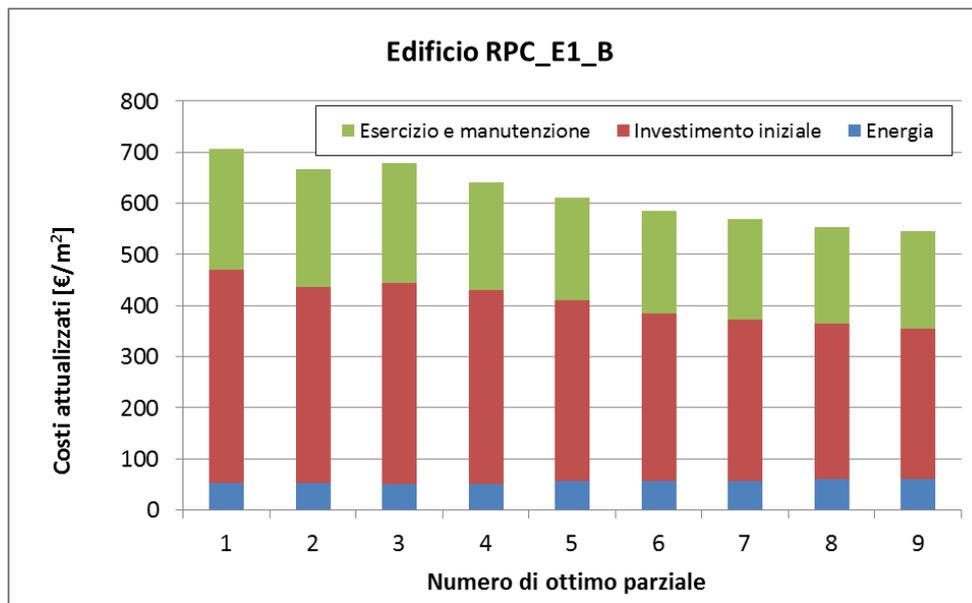
| RPC_NO_B | | | | | |
|----------|--|---|----------------------|--------------|--------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | N. EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 0,3 | 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) | U _r | 0,3 | 1 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | 0,36 | 1 |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 2,2 | 1 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmmissione solare della schermatura | τ _s | 0,2 | fisse |
| 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 | η _{gn} | 1,9 | 5 |
| 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} | 0,88 | 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 | 2,5 | 1 |
| 14 | Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS) | Efficienza del recuperatore di calore | η _r | 0,6 | 3 |
| 15 | Sistema di regolazione avanzato (ICS) | Rendimento di regolazione | η _{ctr} | 0,995 | 3 |

EDIFICIO RESIDENZIALE PICCOLO CONDOMINIO (1946-1976) – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)

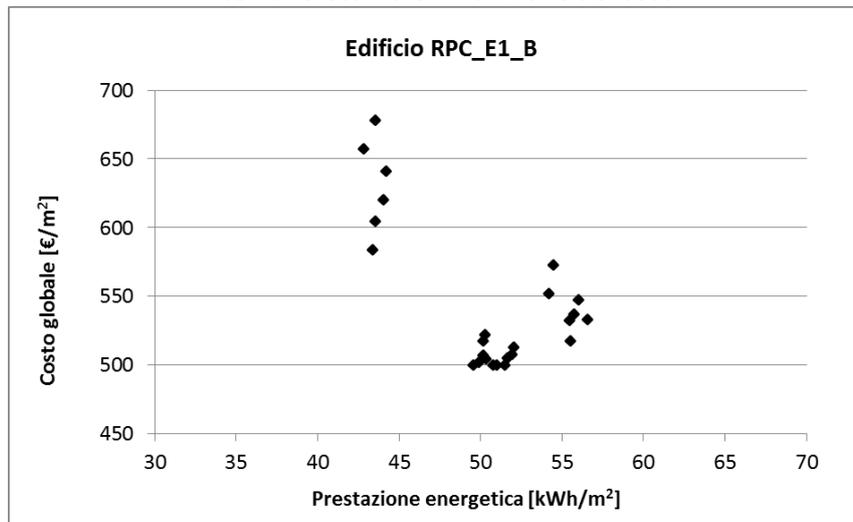
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi

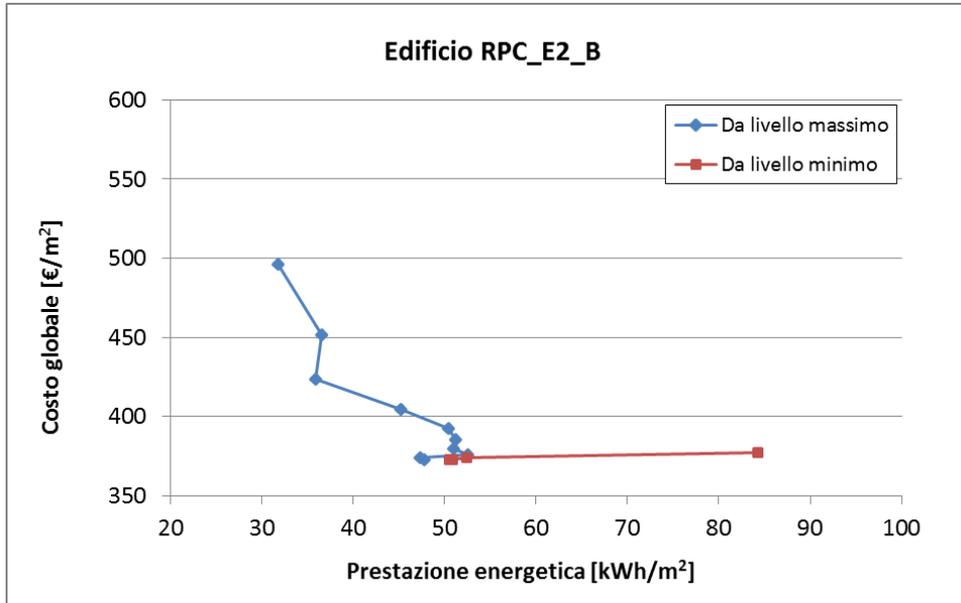


Valori ottimali dei parametri di progetto

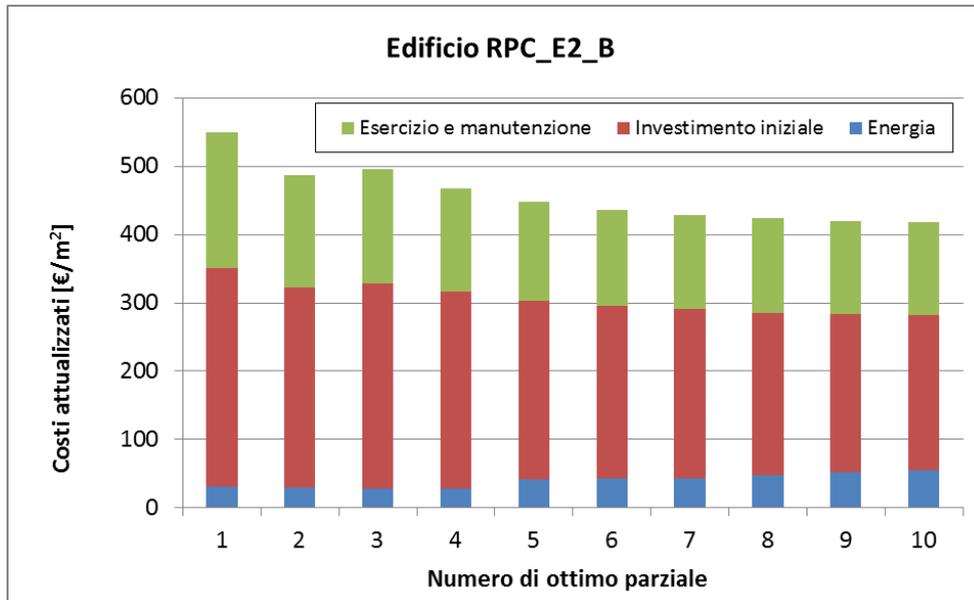
| RPC_E1_B | | | | | |
|----------|--|---|----------------------|-------------|--------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | N. EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | - | - |
| 2 | Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 0,48 | 1 |
| 3 | Isolamento termico della copertura (INS-R) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _r | 0,3 | 1 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | 0,36 | 1 |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 2,6 | 1 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmmissione solare della schermatura | τ _s | 0,4 | fissa |
| 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 | η _{gn} | 1,9 | 5 |
| 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} | 0,88 | 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 | 3 | 1 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 2,5 | 1 |
| 14 | Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS) | Efficienza del recuperatore di calore | η _r | - | - |
| 15 | Sistema di regolazione avanzato (ICS) | Rendimento di regolazione | η _{ctr} | - | - |

EDIFICIO RESIDENZIALE PICCOLO CONDOMINIO (1946-1976) – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)

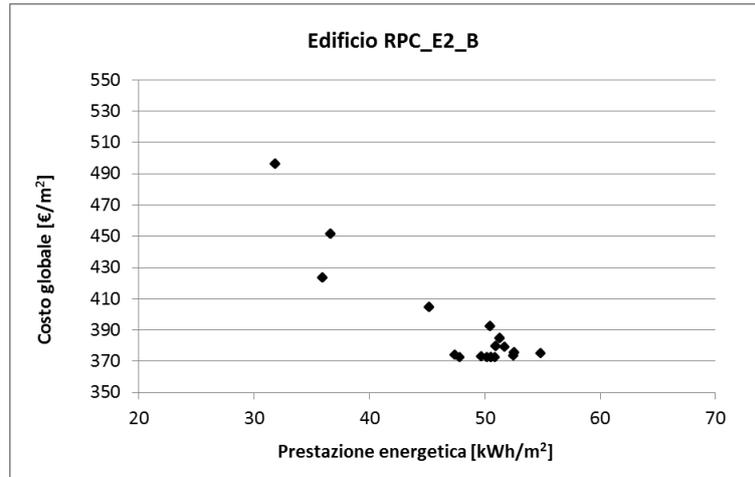
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi

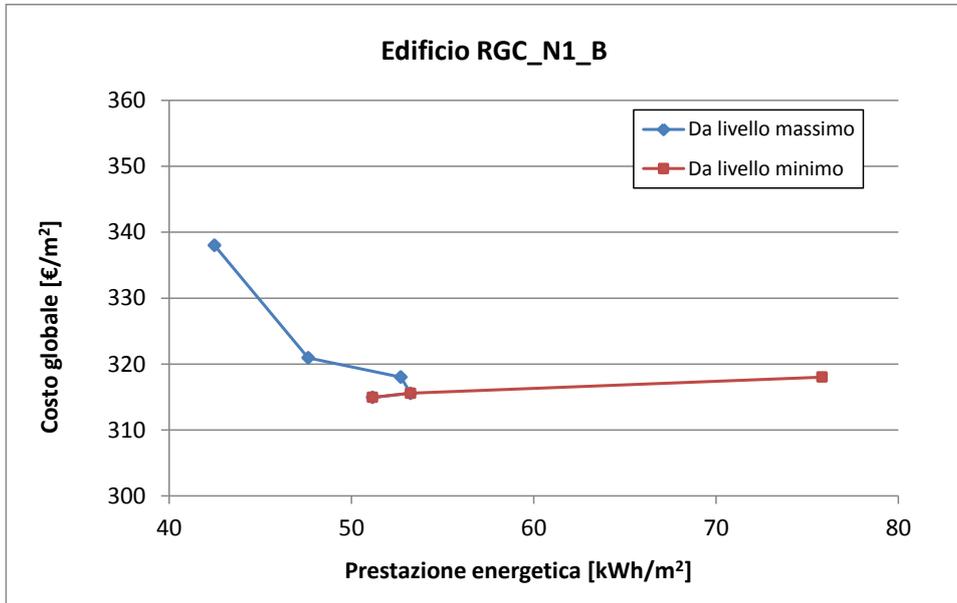


Valori ottimali dei parametri di progetto

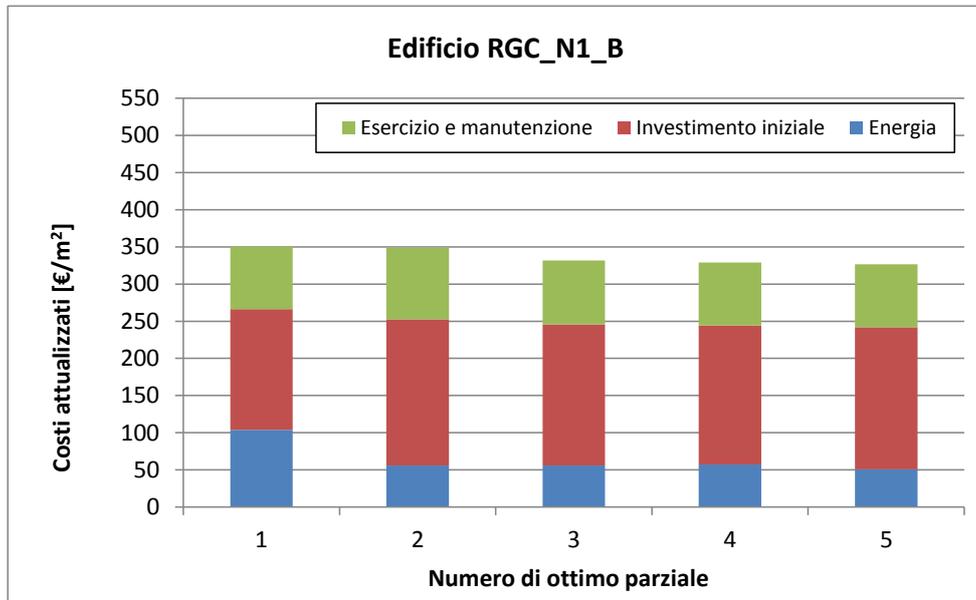
| RPC_E2_B | | | | | |
|----------|--|---|----------------------|-------------|--------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | N. EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 0,42 | 2 |
| 2 | Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | - | - |
| 3 | Isolamento termico della copertura (INS-R) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _r | 0,38 | 1 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | 0,43 | 2 |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 5,8 | 1 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmmissione solare della schermatura | τ _s | 0,2 | fissa |
| 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 | η _{gn} | 0,94 | 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} | 0,88 | 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 | 12 | 2 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 2,5 | 1 |
| 14 | Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS) | Efficienza del recuperatore di calore | η _r | - | - |
| 15 | Sistema di regolazione avanzato (ICS) | Rendimento di regolazione | η _{ctr} | 0,97 | 2 |

EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO NUOVO – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)

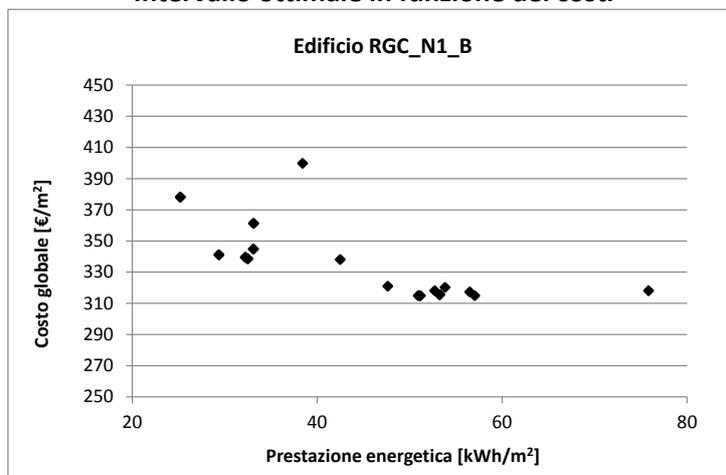
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi

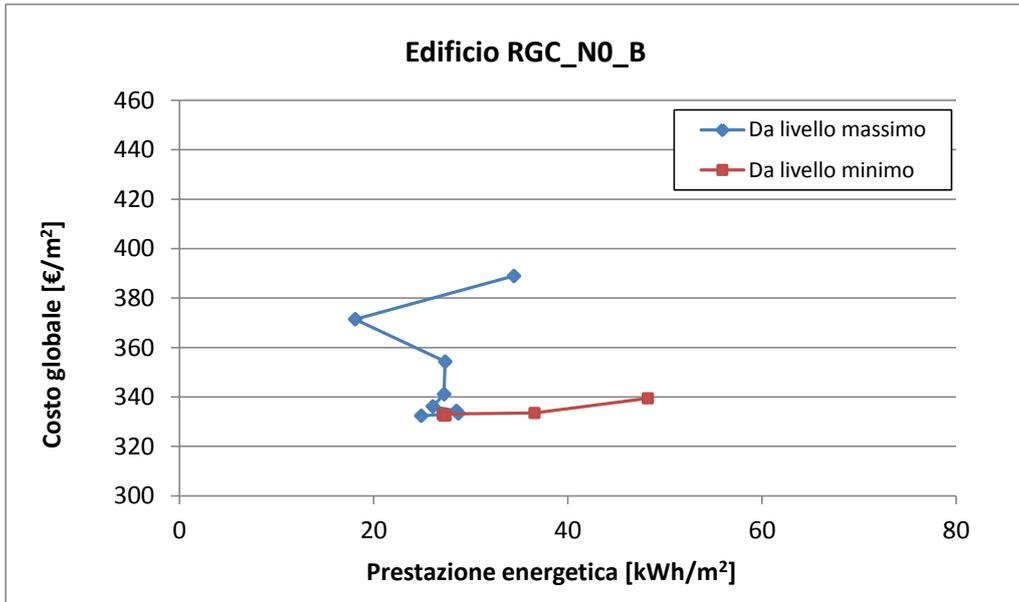


Valori ottimali dei parametri di progetto

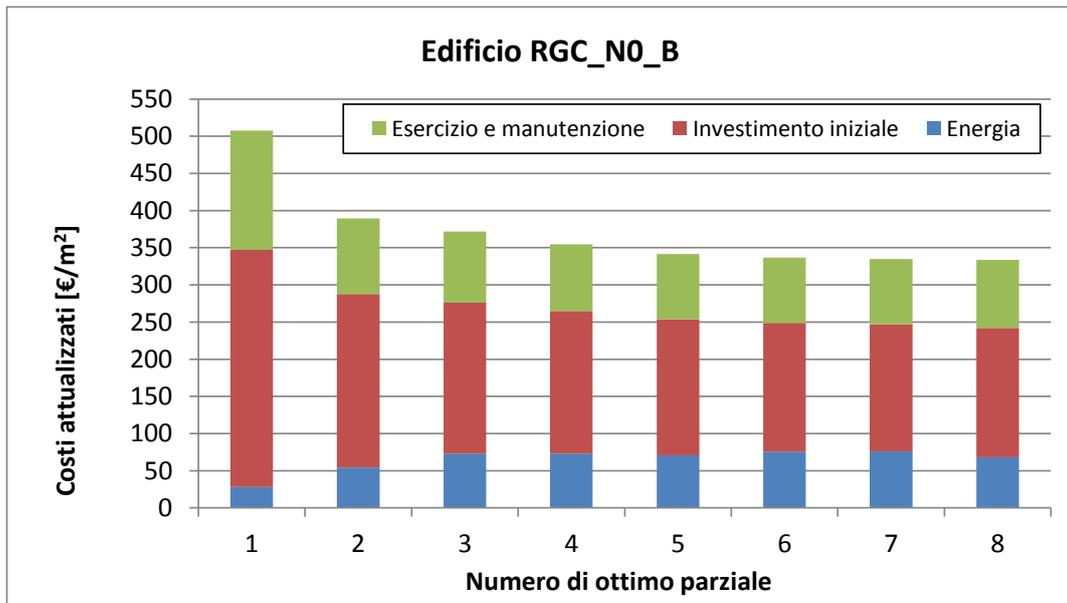
| RGC_N1_B | | | | | |
|----------|--|---|----------------------|--------------|--------------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | N. EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 0,48 | 2 |
| 2 | Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | - | - |
| 3 | Isolamento termico della copertura (INS-R) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _r | 0,5 | 1 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | 0,49 | 2 |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 5,8 | 1 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmissione solare della schermatura | τ _s | 1 | fisse |
| 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 | 3,3 | 3 |
| | | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3,2 | 3 |
| 12 | Impianto solare termico (SOL) | Superficie dei collettori solari (m ²) | m ² | 29 | 1 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 15 | 4 |
| 14 | Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS) | Efficienza del recuperatore di calore | η _r | 0,9 | 3 |
| 15 | Sistema di regolazione avanzato (ICS) | Rendimento di regolazione | η _{ctr} | 0,995 | 3 |

EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO NUOVO – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)

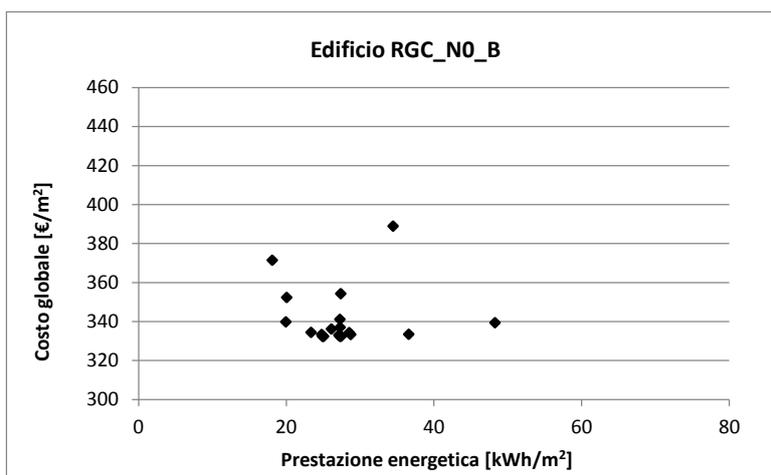
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi

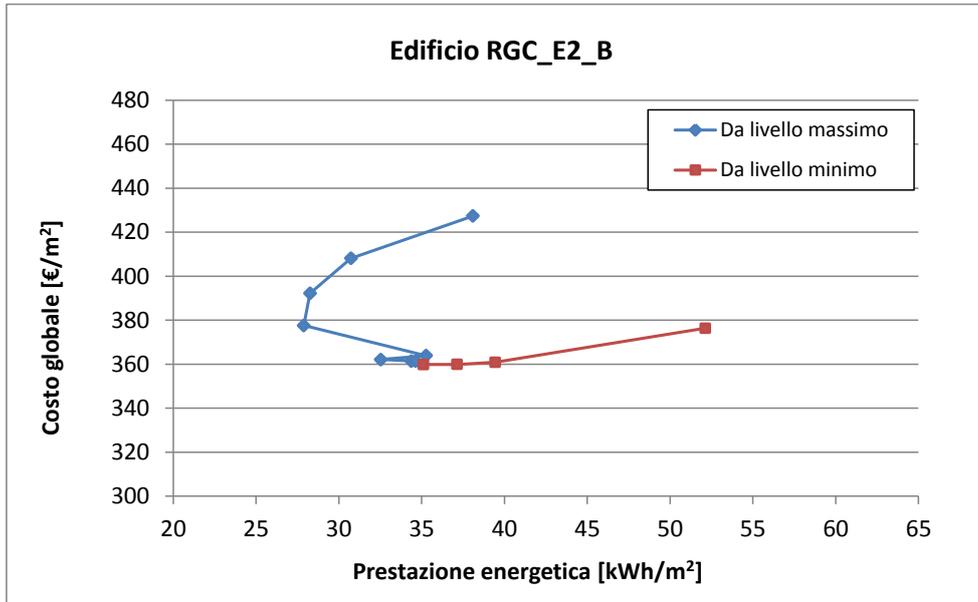


Valori ottimali dei parametri di progetto

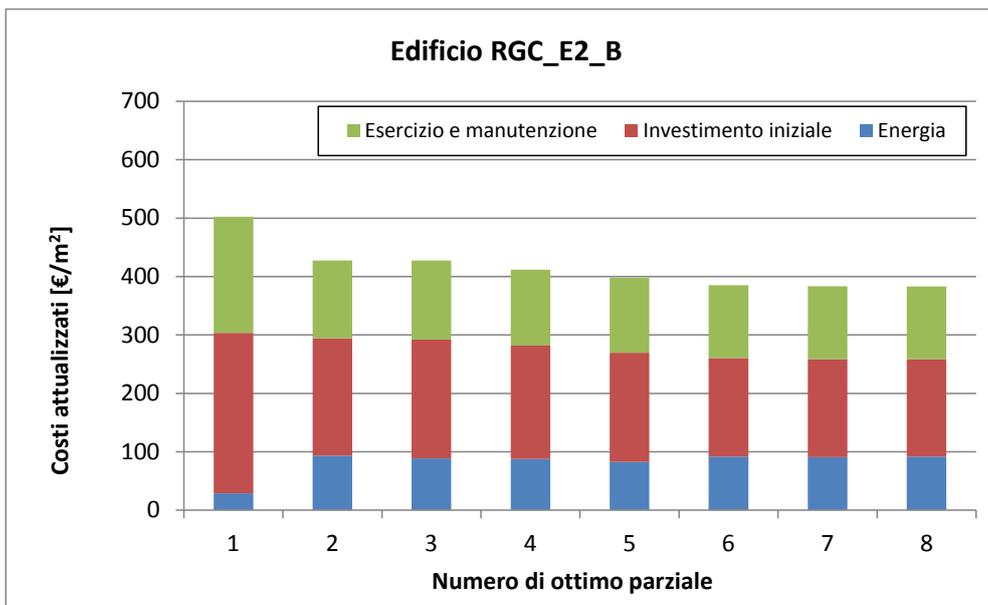
| RGC_NO_B | | | | | |
|----------|--|---|----------------------|--------------|--------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | N. EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 0,48 | 2 |
| 2 | Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | - | - |
| 3 | Isolamento termico della copertura (INS-R) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _r | 0,5 | 1 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | 0,49 | 2 |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 5,8 | 1 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmissione solare della schermatura | τ _s | 0,4 | fisse |
| 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 | 3,3 | 3 |
| | | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3,2 | 3 |
| 12 | Impianto solare termico (SOL) | Superficie dei collettori solari (m ²) | m ² | 29 | 1 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 15 | 4 |
| 14 | Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS) | Efficienza del recuperatore di calore | η _r | 0,9 | 3 |
| 15 | Sistema di regolazione avanzato (ICS) | Rendimento di regolazione | η _{ctr} | 0,995 | 3 |

EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO (1977-1990) – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)

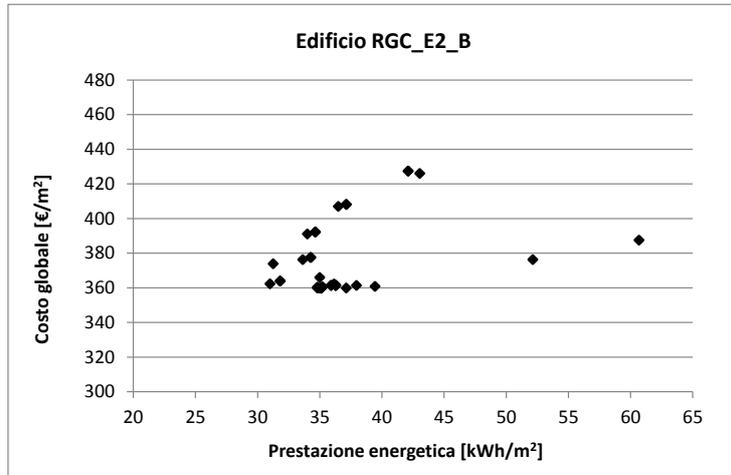
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi

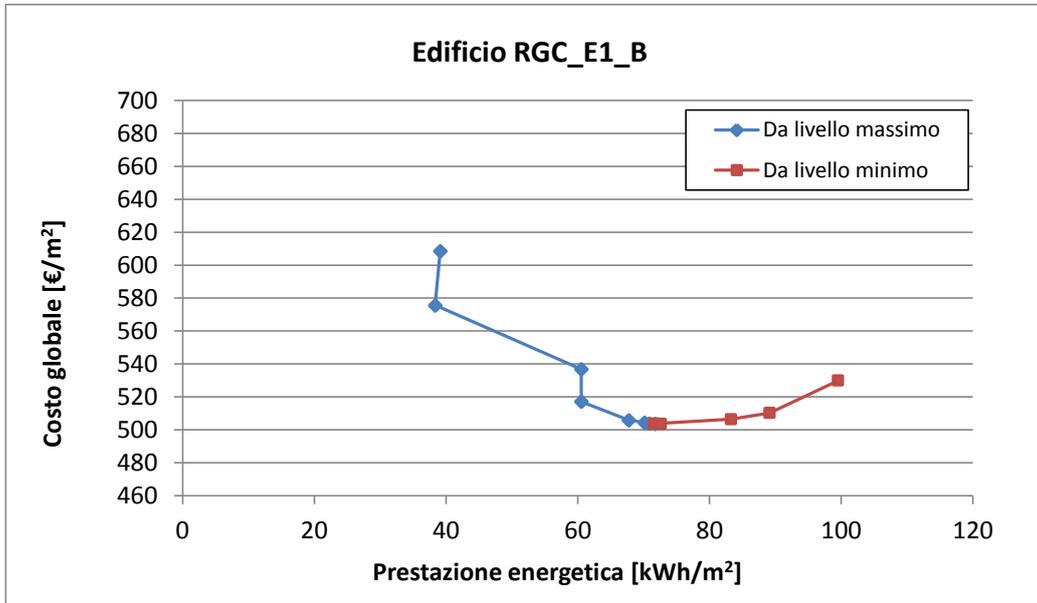


Valori ottimali dei parametri di progetto

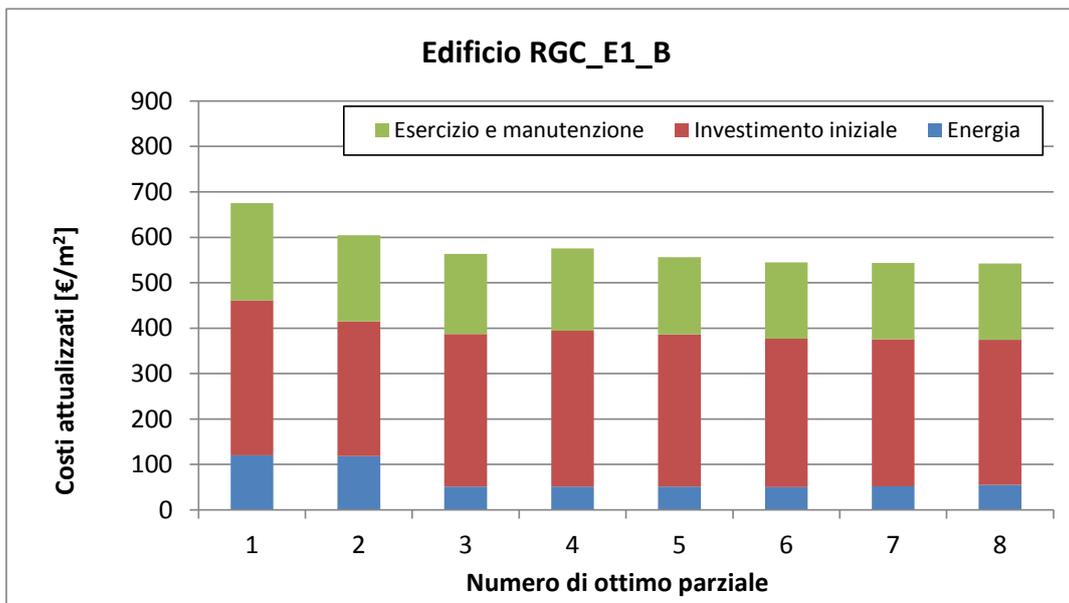
| RGC_E2_B | | | | | |
|----------|--|---|----------------------|--------------|--------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | N. EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 0,48 | 2 |
| 2 | Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | | - |
| 3 | Isolamento termico della copertura (INS-R) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _r | 0,5 | 1 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | 0,49 | 2 |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 5,8 | 1 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmissione solare della schermatura | τ _s | 0,4 | fisse |
| 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 | 3,3 | 3 |
| | | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3,2 | 3 |
| 12 | Impianto solare termico (SOL) | Superficie dei collettori solari (m ²) | m ² | 58 | 1 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 4 | 1 |
| 14 | Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS) | Efficienza del recuperatore di calore | η _r | - | - |
| 15 | Sistema di regolazione avanzato (ICS) | Rendimento di regolazione | η _{ctr} | 0,995 | 3 |

EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO (1946-1976) – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)

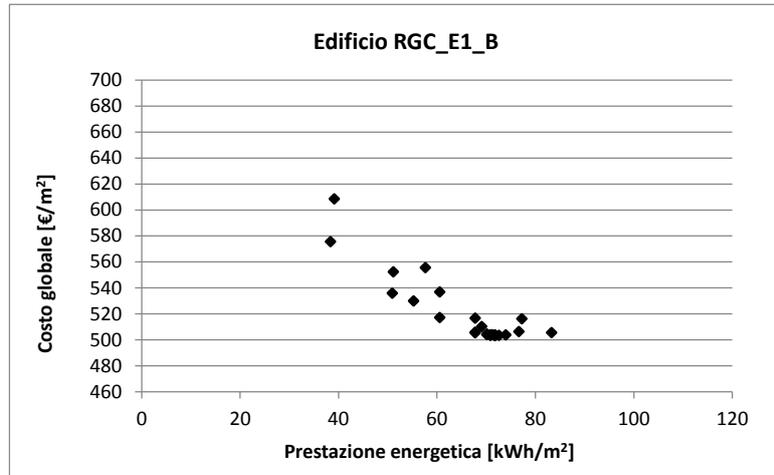
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi

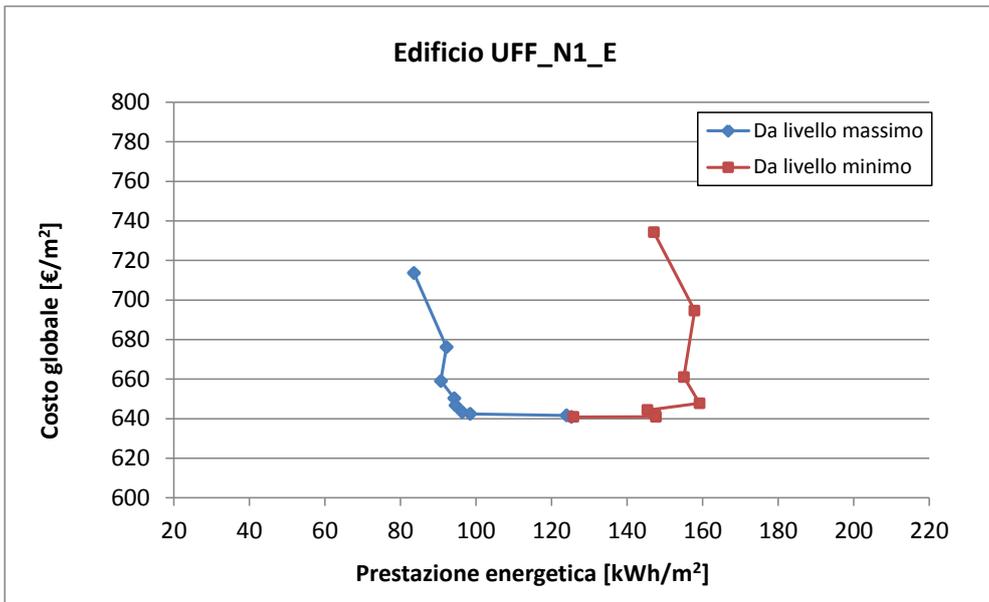


Valori ottimali dei parametri di progetto

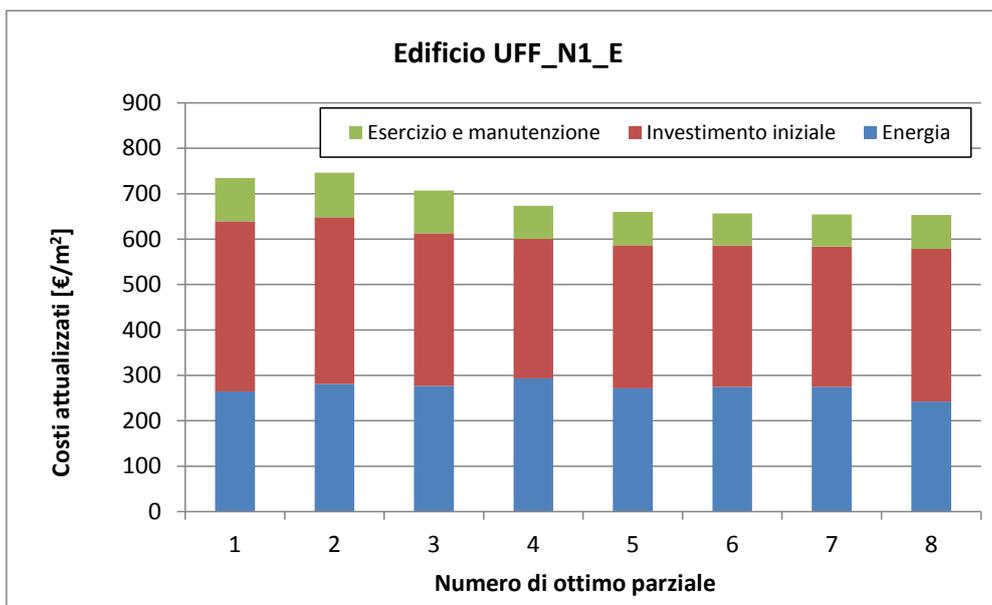
| RGC_E1_B | | | | | |
|----------|--|---|----------------------|-------------|--------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | N. EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 0,36 | 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) | U _r | 0,35 | 3 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | 0,49 | 2 |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 2,2 | 4 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmissione solare della schermatura | τ _s | 0,4 | mobili |
| 7 | Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3,2 | 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} | 0,95 | 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 | 29 | 1 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 3 | 1 |
| 14 | Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS) | Efficienza del recuperatore di calore | η _r | - | - |
| 15 | Sistema di regolazione avanzato (ICS) | Rendimento di regolazione | η _{ctr} | 0,97 | 2 |

EDIFICIO PER UFFICI NUOVO – ZONA CLIMATICA E (MILANO)

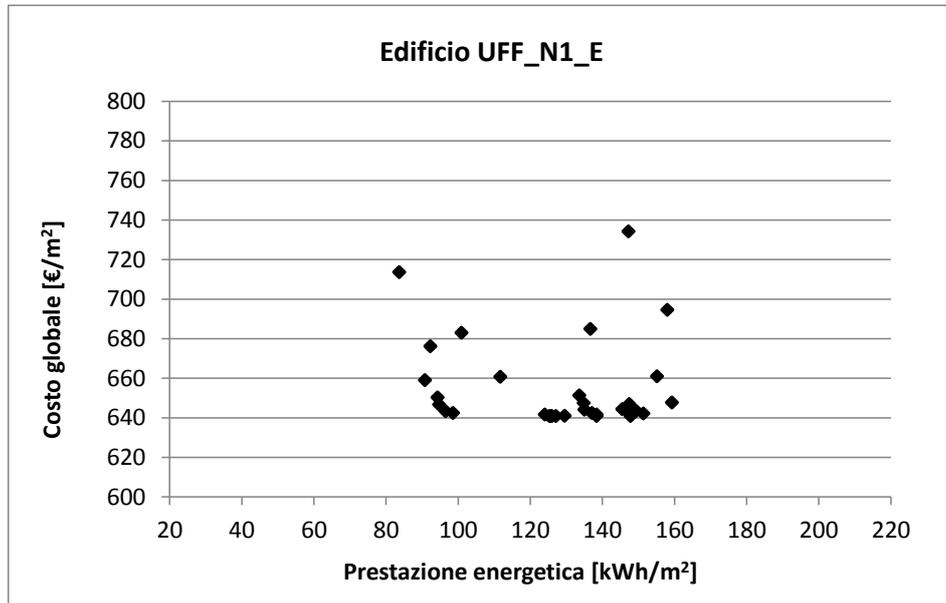
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi

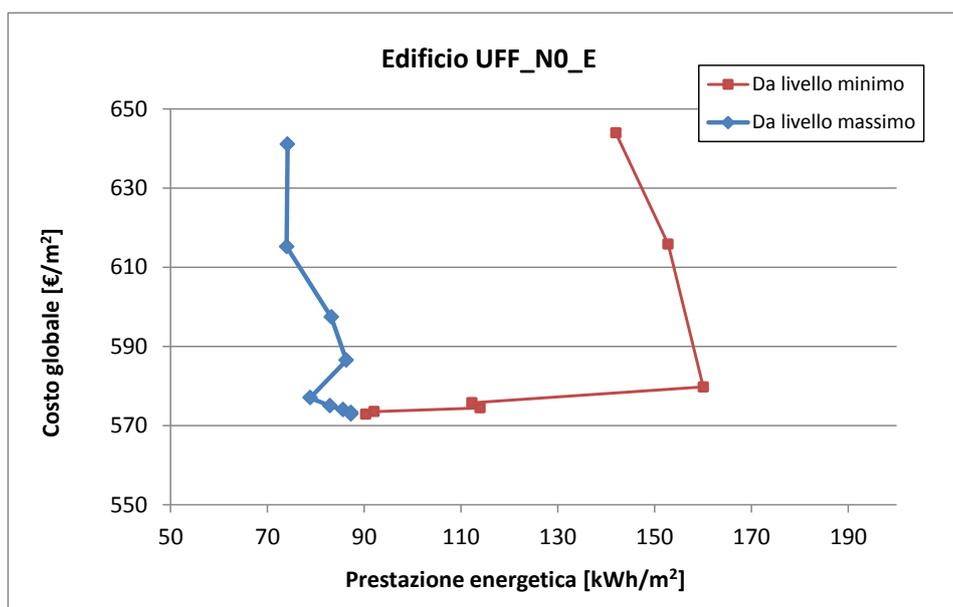


Valori ottimali dei parametri di progetto

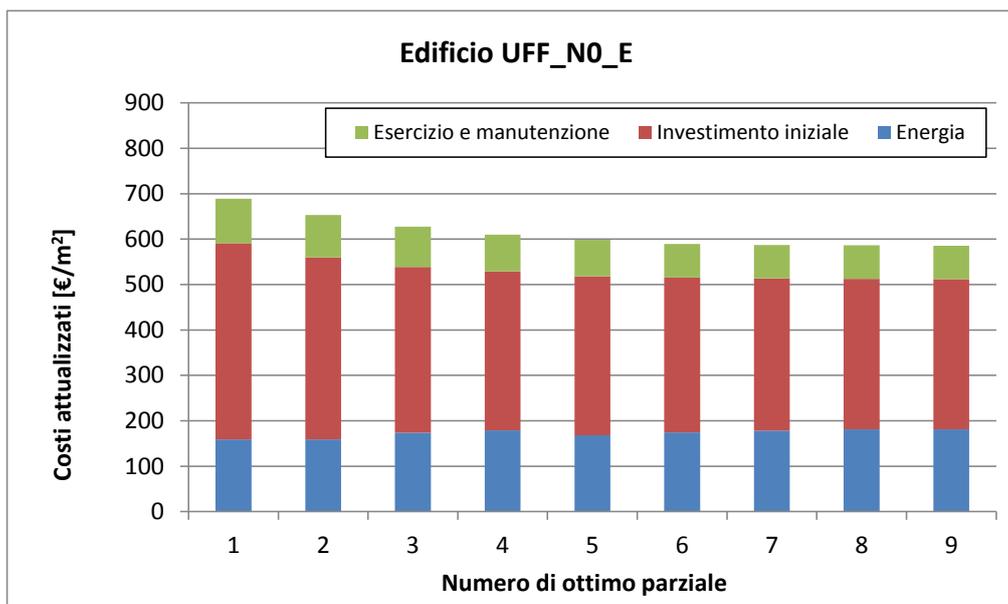
| UFF_N1_E | | | | | |
|----------|--|---|----------------------------------|--------------|--------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | N. EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 0,45 | 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) | U _r | 0,27 | 3 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | 0,33 | 2 |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 1,9 | 3 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmittanza di energia solare | τ _{sh} | 0,4 | fisse |
| 7 | Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 2,7 | 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} | 0,938 | 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 | 6 | 1 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 20 | 4 |
| 14 | Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS) | Efficienza del recuperatore di calore | η _r | 0,6 | 1 |
| 15 | Sistema di regolazione avanzato (ICS) | Rendimento di regolazione | η _{ctr} | 0,995 | 3 |
| 16 | Riqualficazione dell'impianto di illuminazione (ILL) | Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²) | PN | 4,6 | 4 |
| | | Fattore di dipendenza dall'occupazione | F _O | 0,8 | 4 |
| | | Fattore di illuminamento costante (fattore dipendenza luce diurna) | F _C (F _D) | 0,9 | 4 |

EDIFICIO PER UFFICI NUOVO – ZONA CLIMATICA E (MILANO)

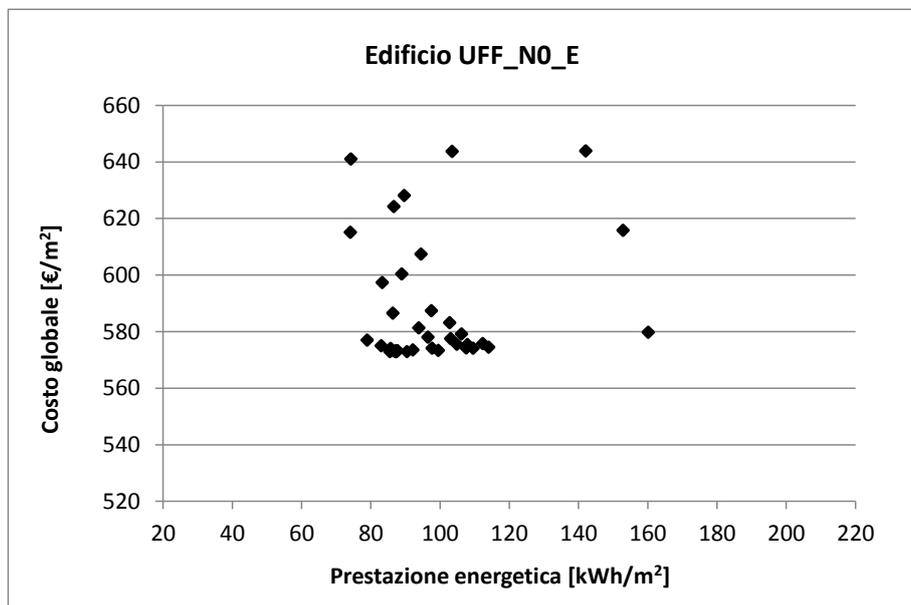
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi

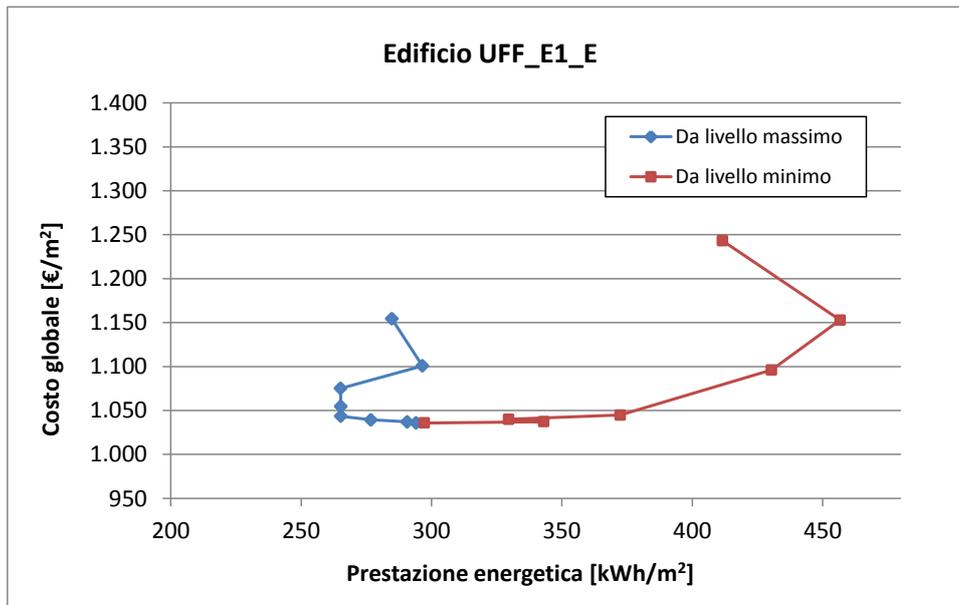


Valori ottimali dei parametri di progetto

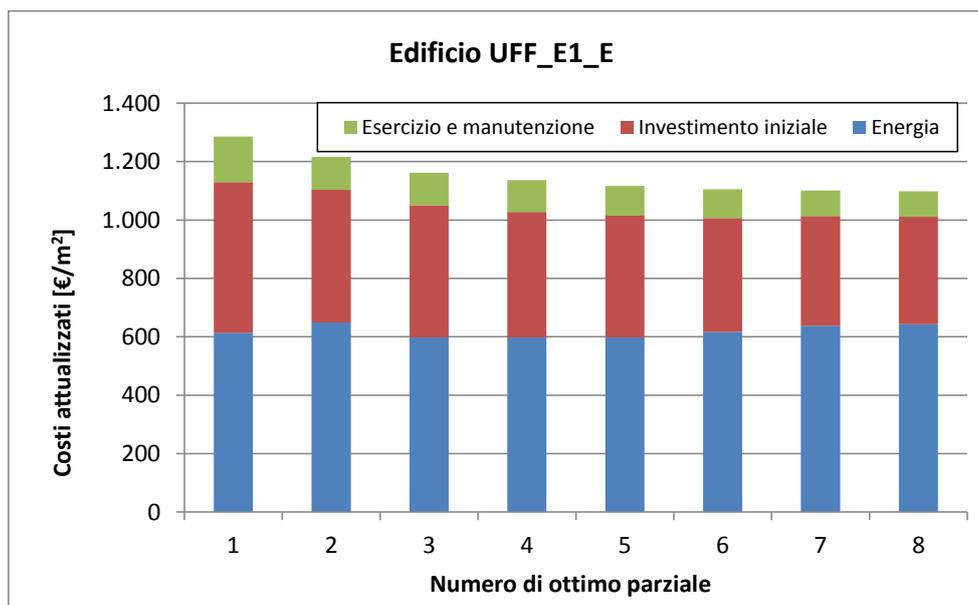
| UFF_NO_E | | | | | |
|----------|--|--|------------------|--------------|--------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | N. EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m^2K) | U_p | 0,34 | 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_r | 0,3 | 2 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m^2K) | U_f | 0,45 | 1 |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m^2K) | U_w | 2,2 | 2 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmittanza di energia solare | τ_{sh} | 0,4 | fisse |
| 7 | Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 2,7 | 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} | 0,938 | 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 | 6 | 1 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 20 | 4 |
| 14 | Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS) | Efficienza del recuperatore di calore | η_r | 0,6 | 1 |
| 15 | Sistema di regolazione avanzato (ICS) | Rendimento di regolazione | η_{ctr} | 0,995 | 3 |
| 16 | Riqualficazione dell'impianto di illuminazione (ILL) | Densità della potenza di illuminazione installata (W/m^2) | PN | 4,6 | 4 |
| | | Fattore di dipendenza dall'occupazione | F_o | 0,8 | 4 |
| | | Fattore di illuminamento costante (fattore dipendenza luce diurna) | $F_c (F_D)$ | 0,9 | 4 |

EDIFICIO PER UFFICI (1946-1976) – ZONA CLIMATICA E (MILANO)

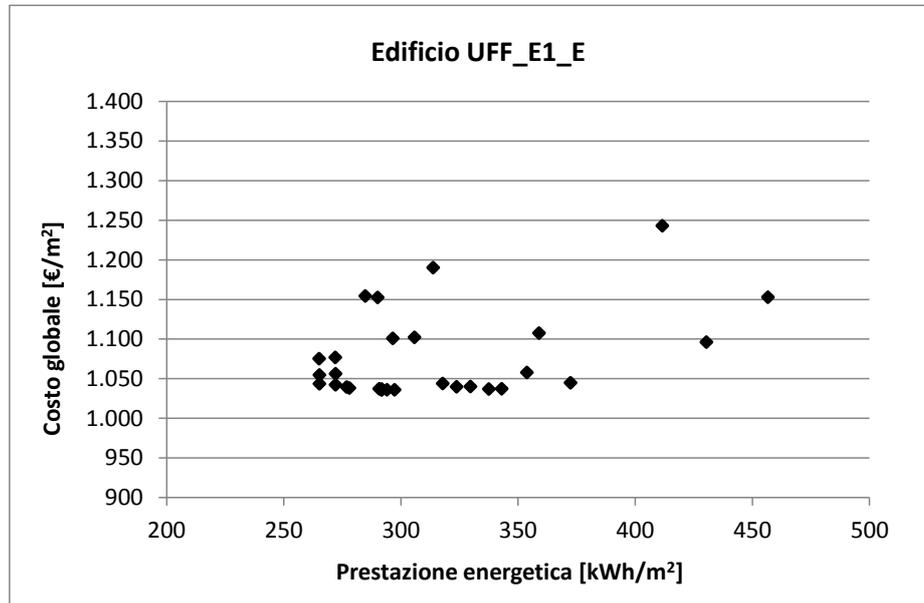
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi

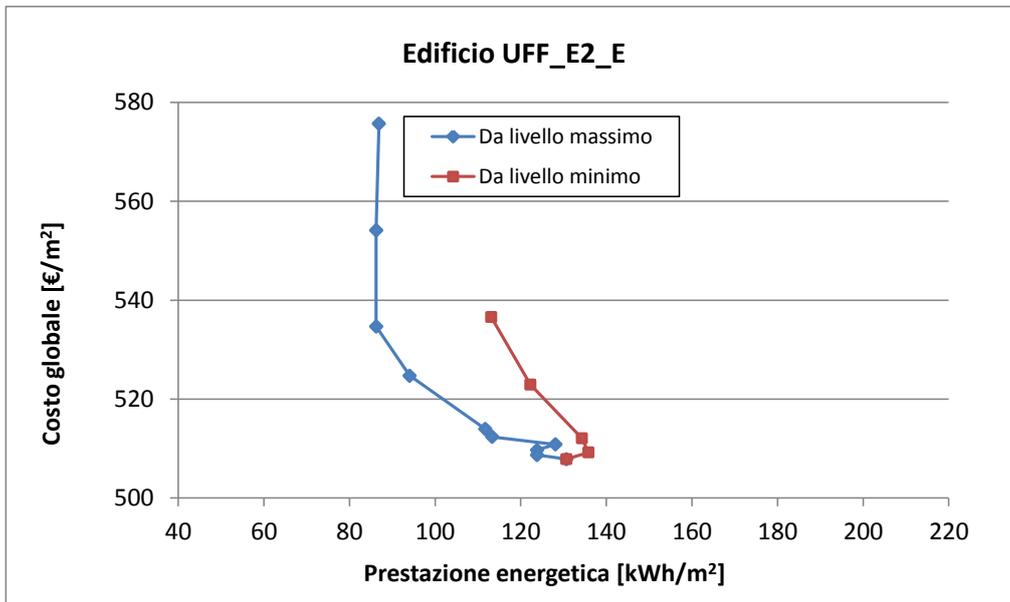


Valori ottimali dei parametri di progetto

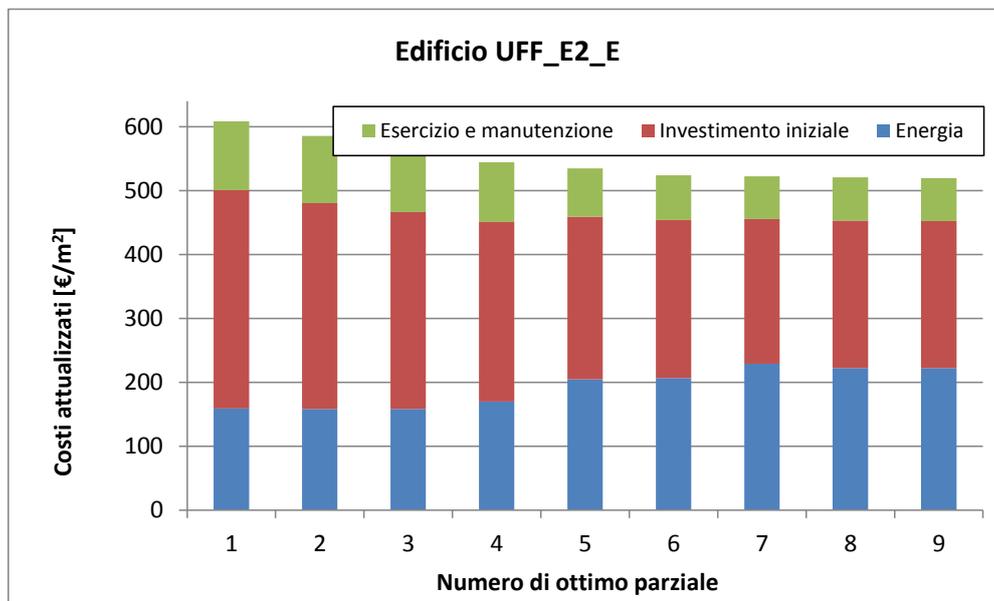
| UFF_E1_E | | | | | |
|----------|--|---|----------------------------------|--------------|--------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | N. EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 0,34 | 2 |
| 2 | Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | - | - |
| 3 | Isolamento termico della copertura (INS-R) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _r | 0,3 | 2 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | - | - |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 1,9 | 3 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmittanza di energia solare | τ _{sh} | 0,4 | fisse |
| 7 | Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3,5 | 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} | 1,03 | 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 | 2 | 1 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 10 | 4 |
| 14 | Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS) | Efficienza del recuperatore di calore | η _r | 0,6 | 1 |
| 15 | Sistema di regolazione avanzato (ICS) | Rendimento di regolazione | η _{ctr} | 0,995 | 3 |
| 16 | Riqualficazione dell'impianto di illuminazione (ILL) | Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²) | PN | 4,6 | 4 |
| | | Fattore di dipendenza dall'occupazione | F _O | 0,8 | 4 |
| | | Fattore di illuminamento costante (fattore dipendenza luce diurna) | F _C (F _D) | 0,9 | 4 |

EDIFICIO PER UFFICI (1977-1990) – ZONA CLIMATICA E (MILANO)

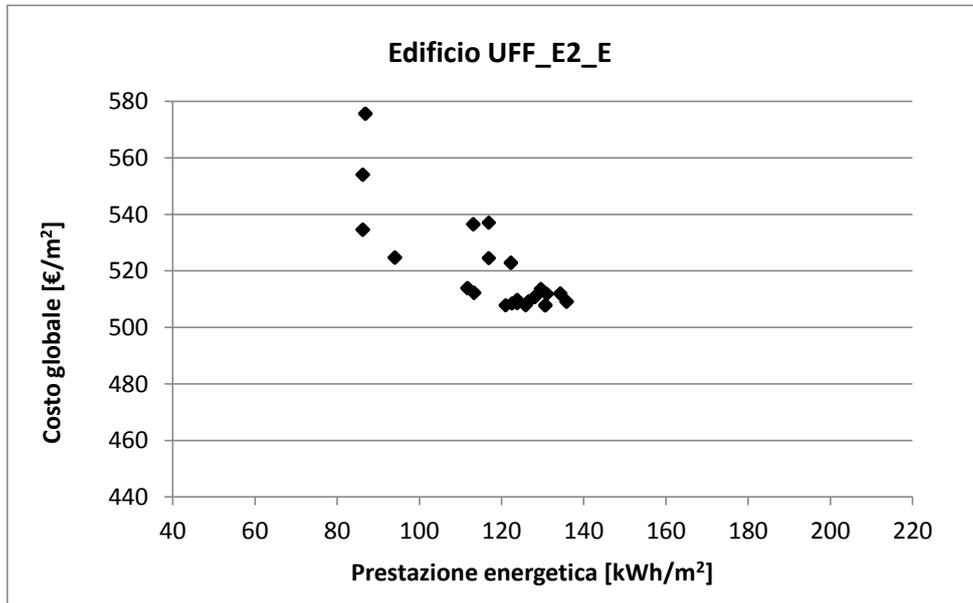
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi

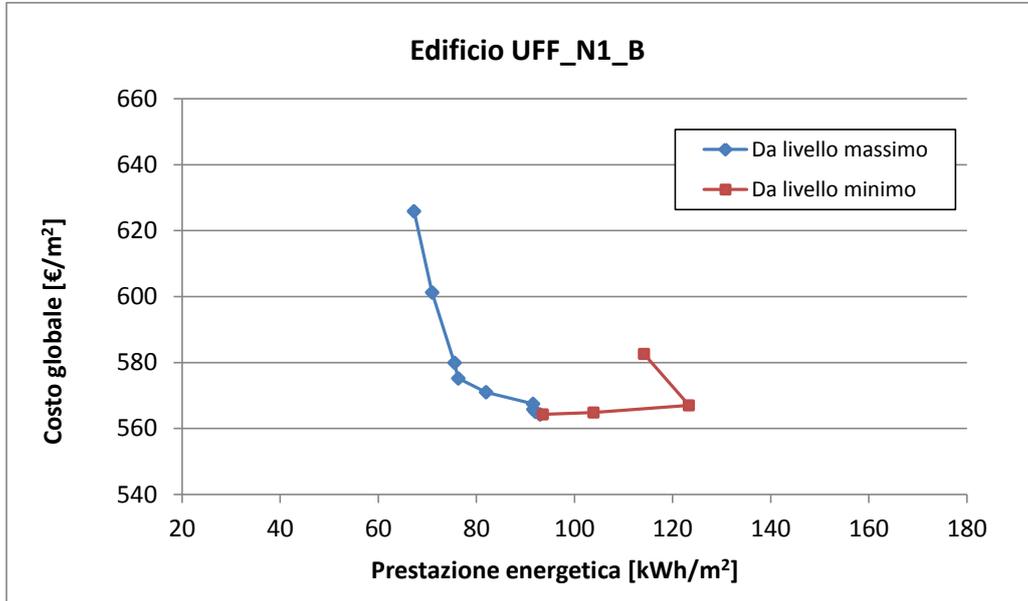


Valori ottimali dei parametri di progetto

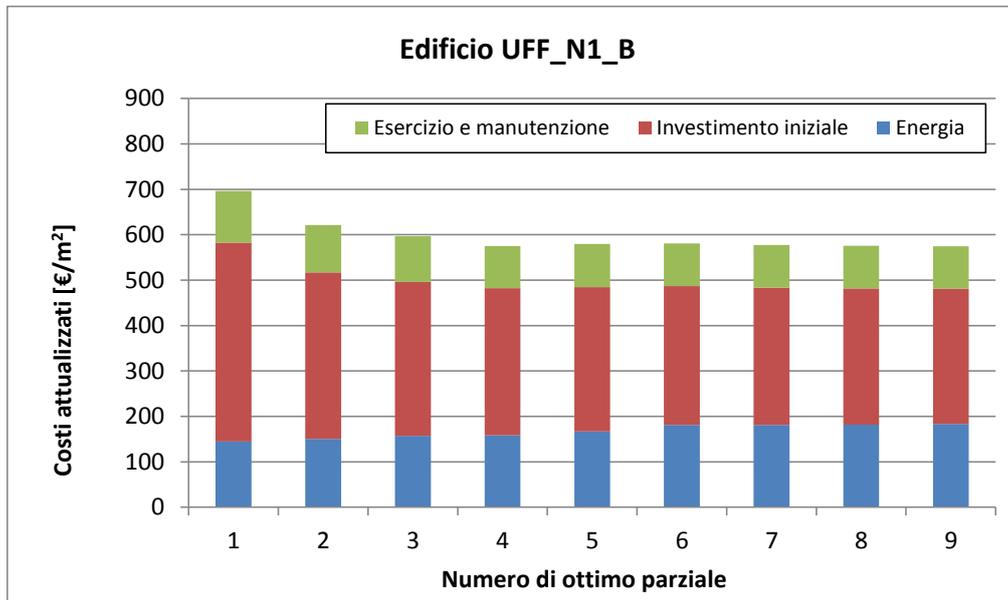
| UFF_E2_E | | | | | |
|----------|--|--|------------------|--------------|--------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | N. EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m^2K) | U_p | 0,25 | 4 |
| 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_r | 0,3 | 2 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m^2K) | U_f | - | - |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m^2K) | U_w | 1,9 | 3 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmittanza di energia solare | τ_{sh} | 0,4 | fisse |
| 7 | Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3,5 | 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} | 0,944 | 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 | 10 | 1 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 6 | 1 |
| 14 | Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS) | Efficienza del recuperatore di calore | η_r | 0,6 | 1 |
| 15 | Sistema di regolazione avanzato (ICS) | Rendimento di regolazione | η_{ctr} | - | - |
| 16 | Riqualificazione dell'impianto di illuminazione (ILL) | Densità della potenza di illuminazione installata (W/m^2) | PN | 4,6 | 4 |
| | | Fattore di dipendenza dall'occupazione | F_o | 0,8 | 4 |
| | | Fattore di illuminamento costante (fattore dipendenza luce diurna) | $F_c (F_D)$ | 0,9 | 4 |

EDIFICIO PER UFFICI NUOVO – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)

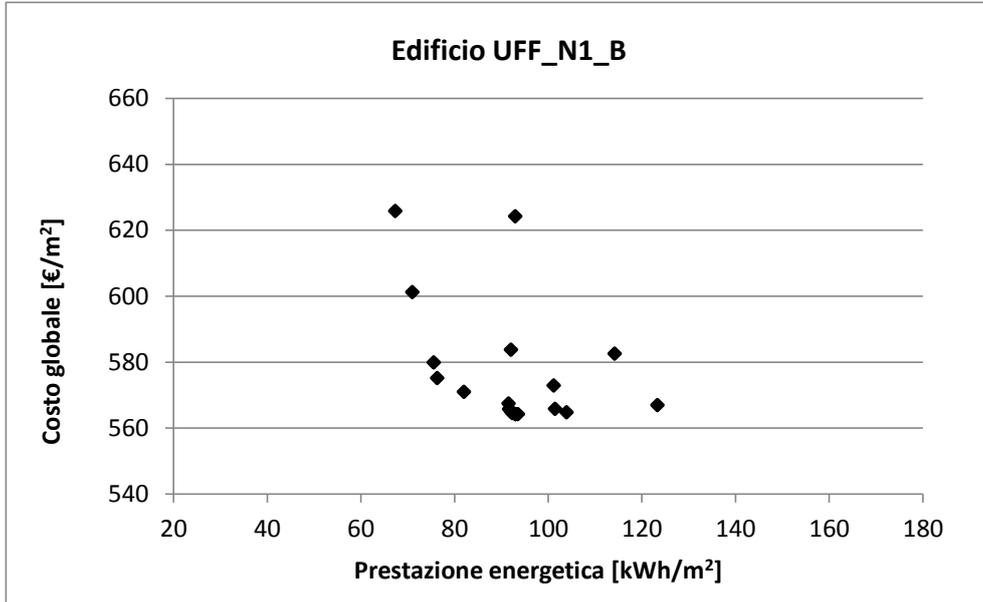
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi

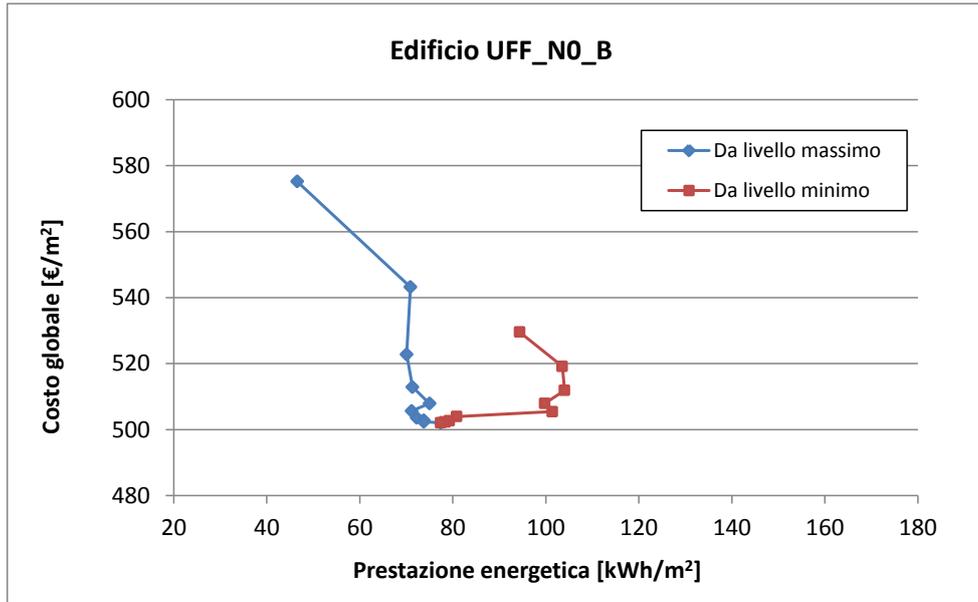


Valori ottimali dei parametri di progetto

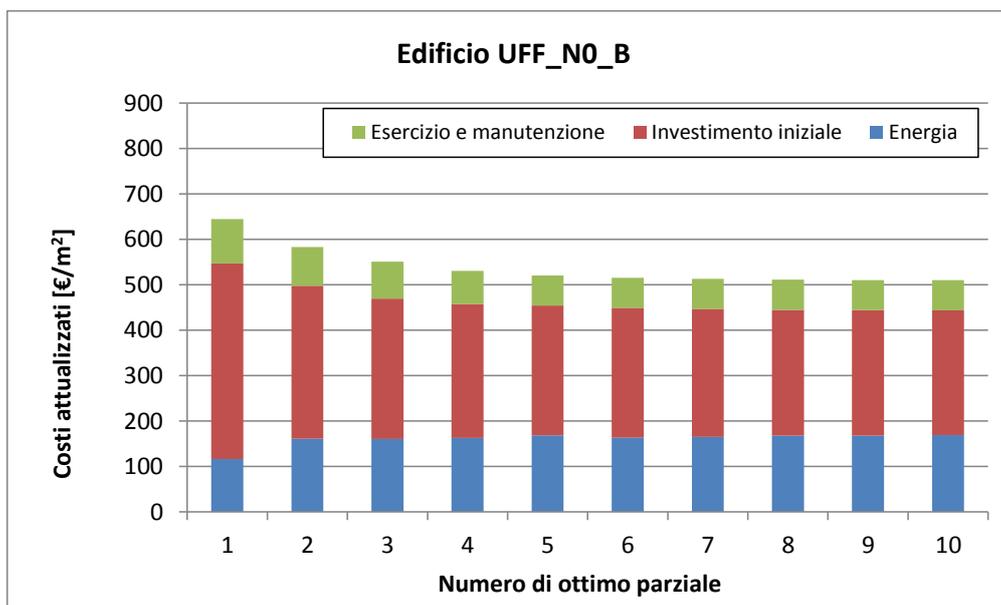
| UFF_N1_B | | | | | |
|----------|--|---|----------------------------------|--------------|--------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | N. EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 0,65 | 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) | U _r | 0,5 | 1 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | 0,49 | 2 |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 5,8 | 1 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmittanza di energia solare | τ _{sh} | 1 | fisse |
| 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 | 3,5 | 3 |
| | | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3,2 | 3 |
| 12 | Impianto solare termico (SOL) | Superficie dei collettori solari (m ²) | m ² | 6 | 1 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 12 | 2 |
| 14 | Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS) | Efficienza del recuperatore di calore | η _r | 0,6 | 1 |
| 15 | Sistema di regolazione avanzato (ICS) | Rendimento di regolazione | η _{ctr} | 0,995 | 3 |
| 16 | Riqualificazione dell'impianto di illuminazione (ILL) | Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²) | PN | 4,6 | 4 |
| | | Fattore di dipendenza dall'occupazione | F _o | 0,8 | 4 |
| | | Fattore di illuminamento costante (fattore dipendenza luce diurna) | F _c (F _D) | 0,9 | 4 |

EDIFICIO PER UFFICINUOVO- ZONA CLIMATICA B (PALERMO)

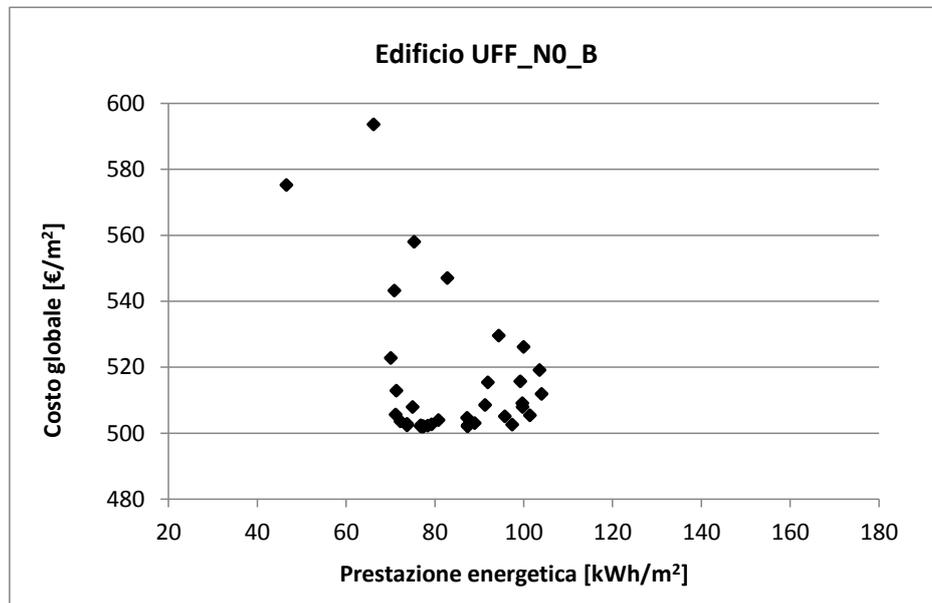
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi

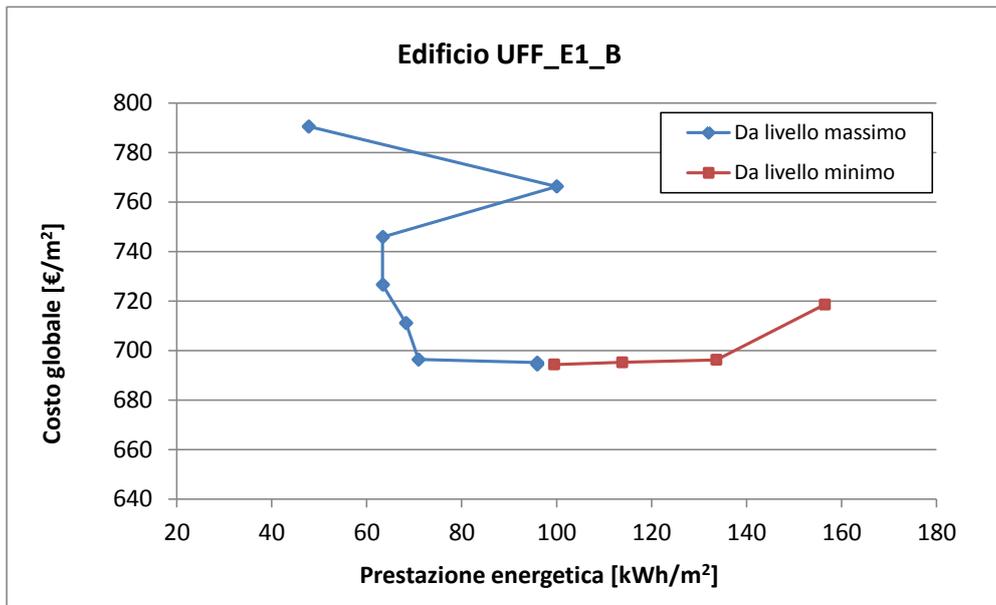


Valori ottimali dei parametri di progetto

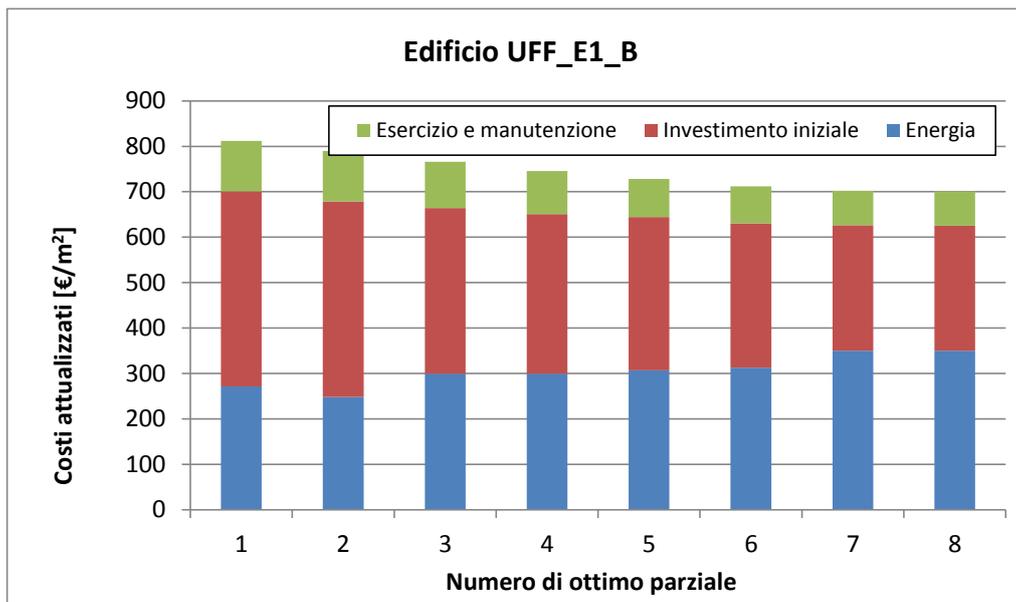
| UFF_NO_B | | | | | |
|-----------------|--|---|----------------------------------|---------------|---------------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | N. EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 0,48 | 2 |
| 2 | Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | - | - |
| 3 | Isolamento termico della copertura (INS-R) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _r | 0,38 | 2 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | 0,49 | 2 |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 5,8 | 1 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmittanza di energia solare | τ _{sh} | 0,2 | fisse |
| 7 | Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 2,7 | 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} | 0,938 | 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 | 6 | 1 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 18 | 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) | Rendimento di regolazione | η _{ctr} | 0,995 | 3 |
| 16 | Riqualficazione dell'impianto di illuminazione (ILL) | Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²) | PN | 4,6 | 4 |
| | | Fattore di dipendenza dall'occupazione | F _O | 0,8 | 4 |
| | | Fattore di illuminamento costante (fattore dipendenza luce diurna) | F _C (F _D) | 0,9 | 4 |

EDIFICIO PER UFFICI (1946-1976) – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)

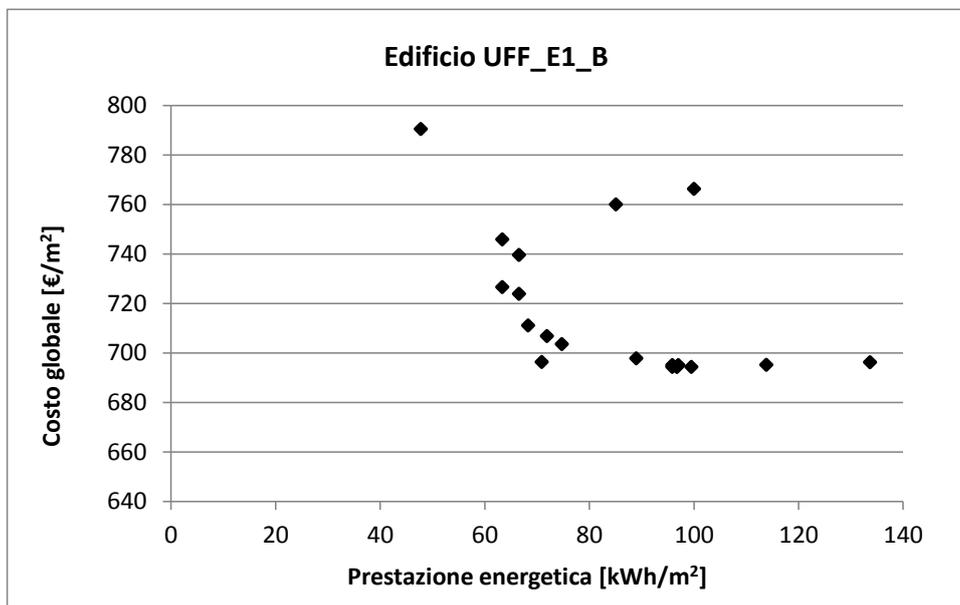
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi

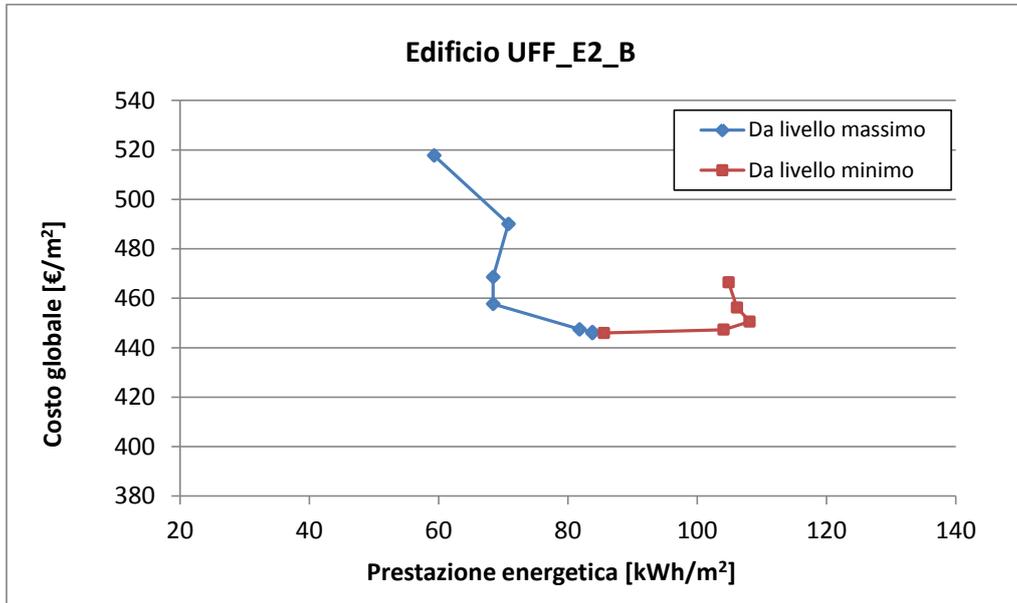


Valori ottimali dei parametri di progetto

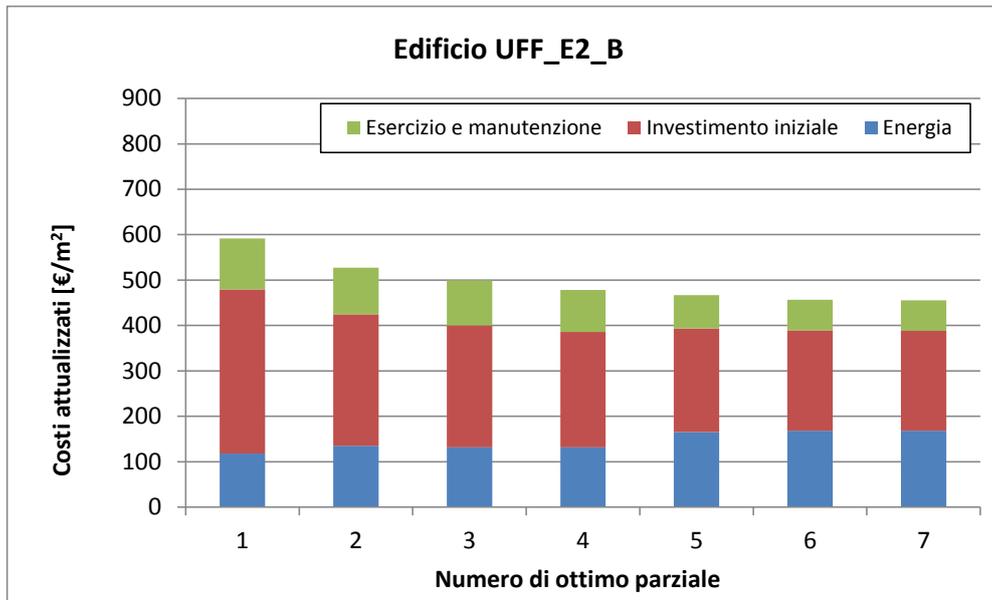
| UFF_E1_B | | | | | |
|----------|--|---|----------------------------------|--------------|--------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | N. EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 0,48 | 2 |
| 2 | Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | - | - |
| 3 | Isolamento termico della copertura (INS-R) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _r | 0,38 | 2 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | - | - |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 5,8 | 1 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmittanza di energia solare | τ _{sh} | 0,2 | fisse |
| 7 | Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3,5 | 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} | 1,03 | 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 | 2 | 1 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 5 | 2 |
| 14 | Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS) | Efficienza del recuperatore di calore | η _r | 0,6 | 1 |
| 15 | Sistema di regolazione avanzato (ICS) | Rendimento di regolazione | η _{ctr} | 0,995 | 3 |
| 16 | Riqualificazione dell'impianto di illuminazione (ILL) | Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²) | PN | 4,6 | 4 |
| | | Fattore di dipendenza dall'occupazione | F _O | 0,8 | 4 |
| | | Fattore di illuminamento costante (fattore dipendenza luce diurna) | F _C (F _D) | 0,9 | 4 |

EDIFICIO PER UFFICI (1977-1990) – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)

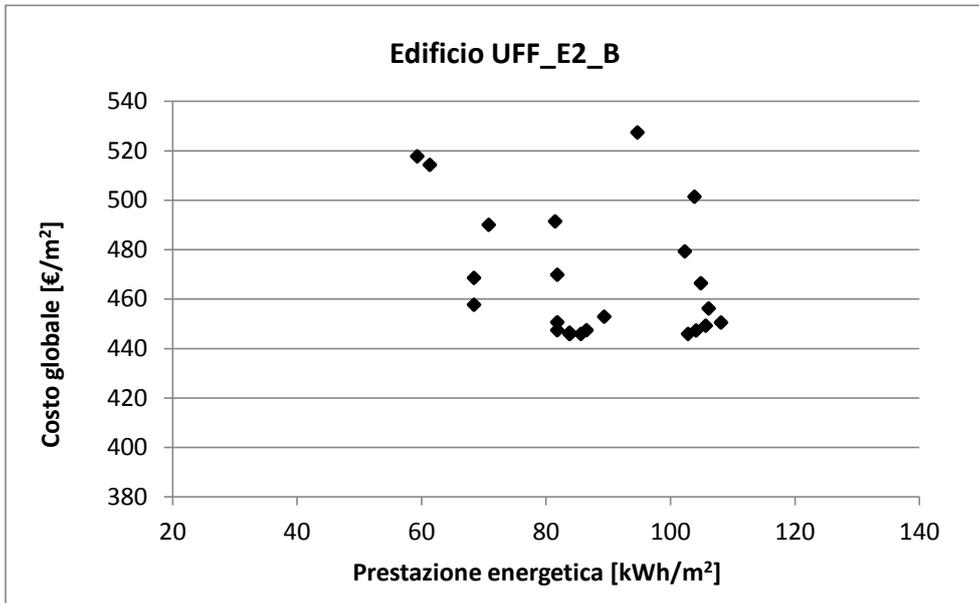
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi



Valori ottimali dei parametri di progetto

| UFF_E2_B | | | | | |
|----------|--|---|----------------------------------|--------------|--------|
| N. EEM | Misura di efficienza energetica (EEM) | Parametro | Simbolo | Valore | N. EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 0,2 | 5 |
| 2 | Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | - | - |
| 3 | Isolamento termico della copertura (INS-R) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _r | 0,38 | 2 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | - | - |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 5,8 | 1 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmittanza di energia solare | τ _{sh} | 0,2 | fisse |
| 7 | Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 3,5 | 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} | 0,944 | 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 | 10 | 1 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 20 | 4 |
| 14 | Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS) | Efficienza del recuperatore di calore | η _r | 0,6 | 1 |
| 15 | Sistema di regolazione avanzato (ICS) | Rendimento di regolazione | η _{ctr} | 0,97 | 2 |
| 16 | Riqualificazione dell'impianto di illuminazione (ILL) | Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²) | PN | 4,6 | 4 |
| | | Fattore di dipendenza dall'occupazione | F _o | 0,8 | 4 |
| | | Fattore di illuminamento costante (fattore dipendenza luce diurna) | F _c (F _D) | 0,9 | 4 |

2.3.5 Valutazione per singolo intervento

Di seguito si riportano i risultati di un'analisi svolta a partire dall'edificio allo stato di fatto, sul quale si decide di intervenire con una riqualificazione energetica puntuale. Per ogni edificio quindi si sono simulati singolarmente vari interventi di riqualificazione energetica con più livelli di prestazione (Tabella 2.58). L'analisi è stata condotta per gli edifici situati in zona climatica E.

Gli interventi sull'involucro edilizio prevedono isolamento delle pareti verticali (EEM 1), dell'ultimo solaio (EEM 3), del primo solaio (EEM 4) e la sostituzione dei serramenti (EEM 5). Gli interventi sul sistema impiantistico prevedono la sostituzione del generatore per riscaldamento (EEM 8), del generatore per ACS (EEM 9) o la sostituzione del generatore combinato (EEM 10), e l'inserimento dei pannelli solari per la produzione di ACS (EEM 12). La tipologia di impianto è stato mantenuto come lo stato di fatto, non parlandosi di una ristrutturazione globale ma di singolo intervento. In caso di edificio con impianto di riscaldamento centralizzato e ACS per singola unità, l'intervento ha previsto quindi di mantenere separati i due usi; in caso di edificio con impianto combinato si è intervenuti parimenti con la sostituzione del generatore secondo l'intervento EEM 10 tralasciando l'EEM 8 e l'EEM 9.

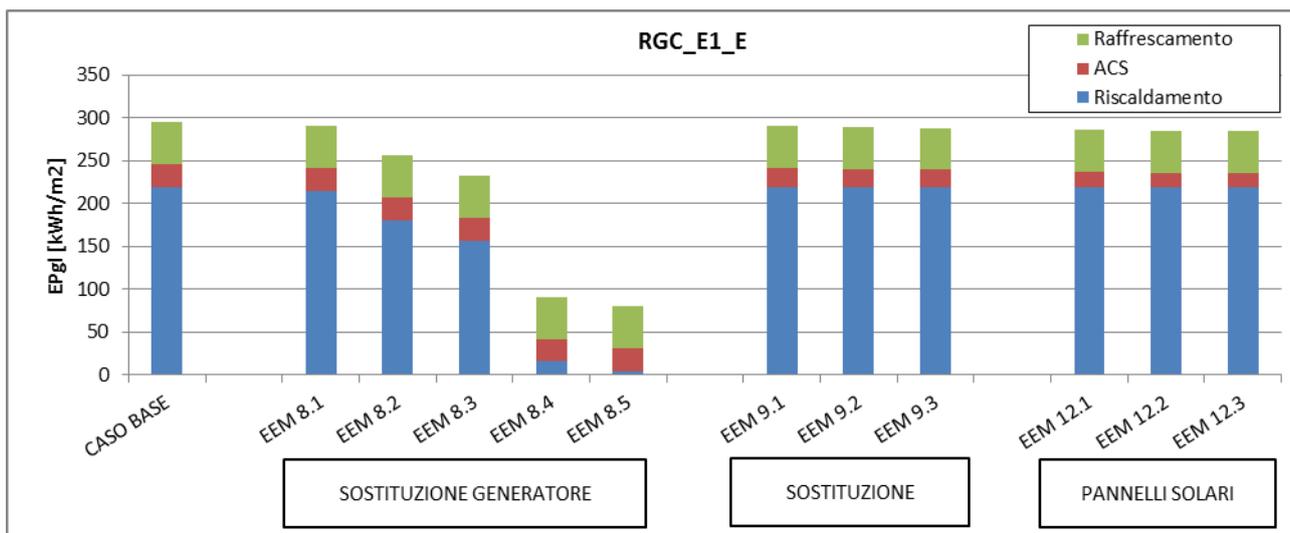
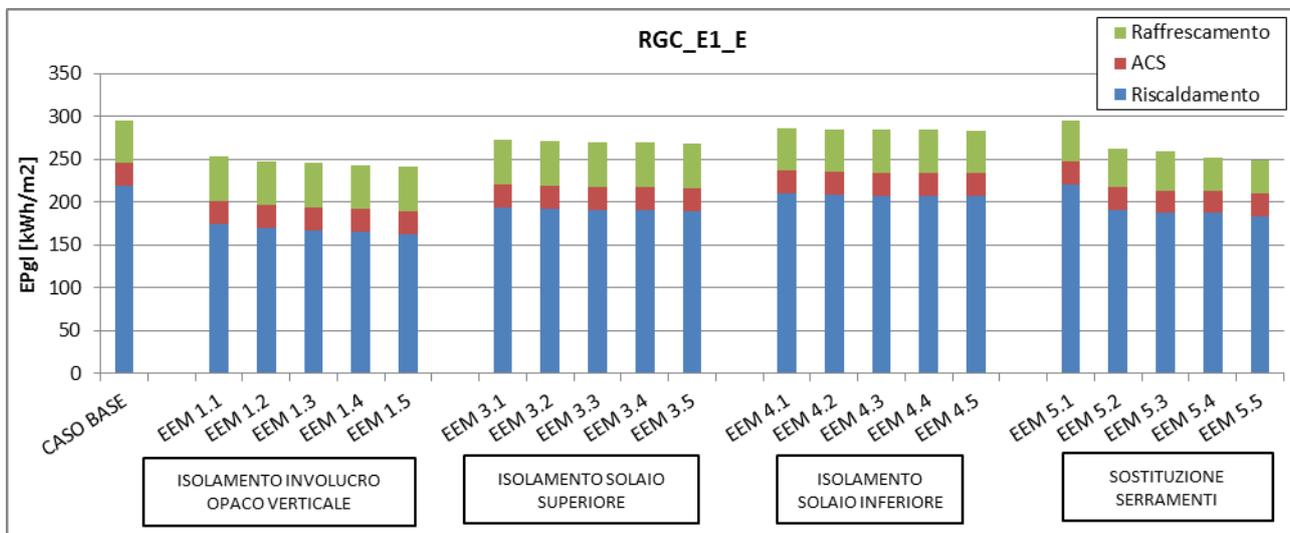
I risultati in termini di energia primaria suddivisa in usi finali (riscaldamento, ACS, raffrescamento e illuminazione per gli uffici) e costo globale suddiviso per singole voci (investimento iniziale, manutenzione, energia) sono confrontati con l'edificio allo stato di fatto.

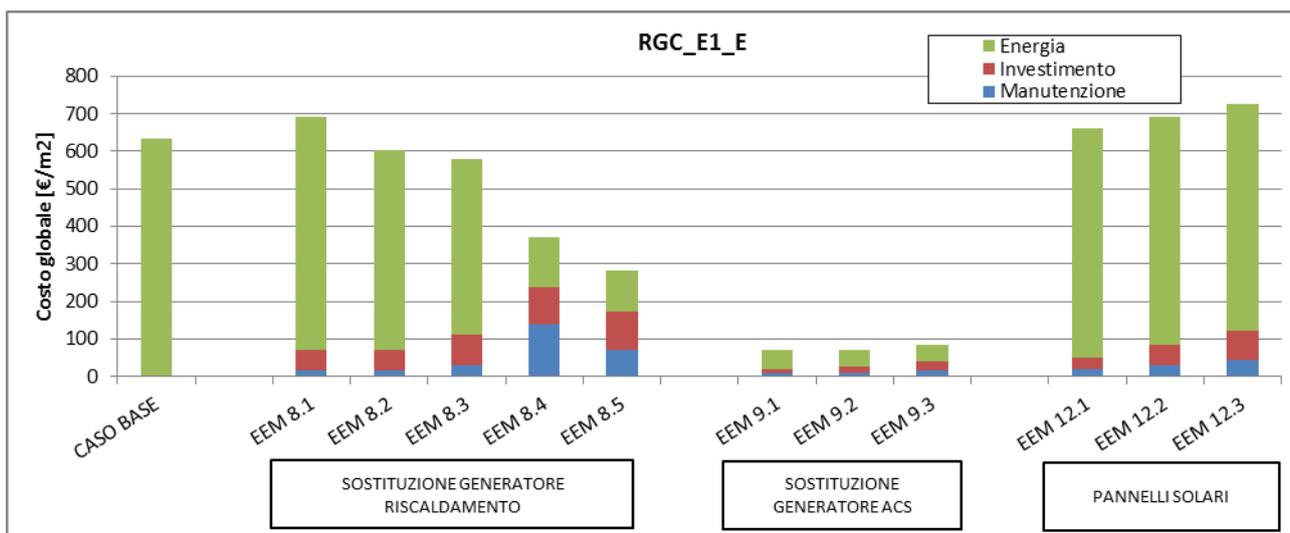
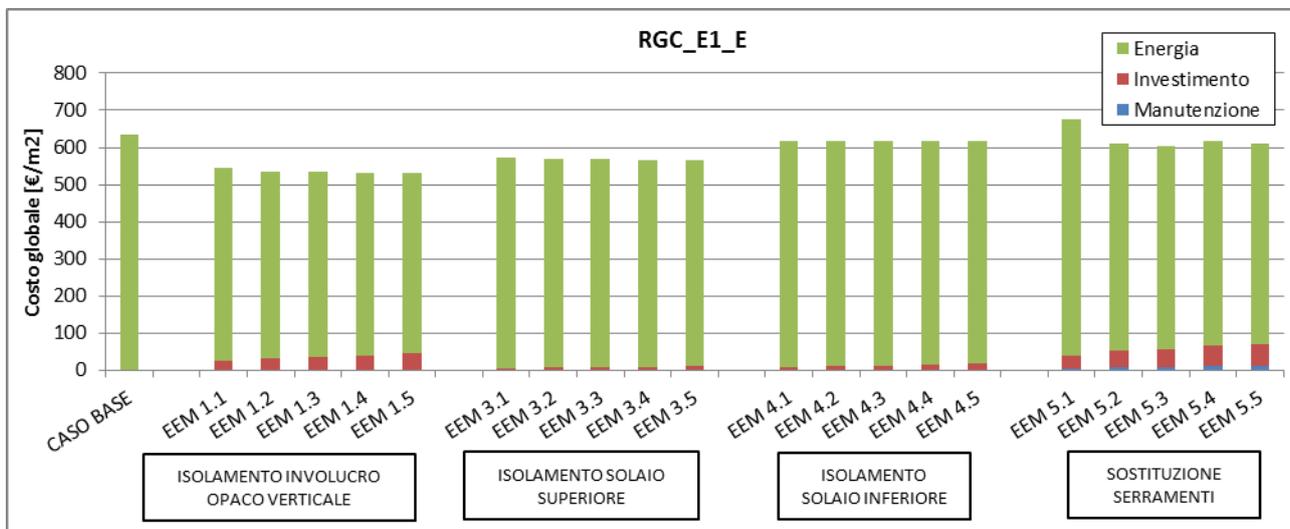
Scopo dell'analisi è valutare in termini di costi/benefici l'efficacia degli interventi di riqualificazione energetica che non prevedano una ristrutturazione totale dell'immobile.

Tabella 2.58 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate.

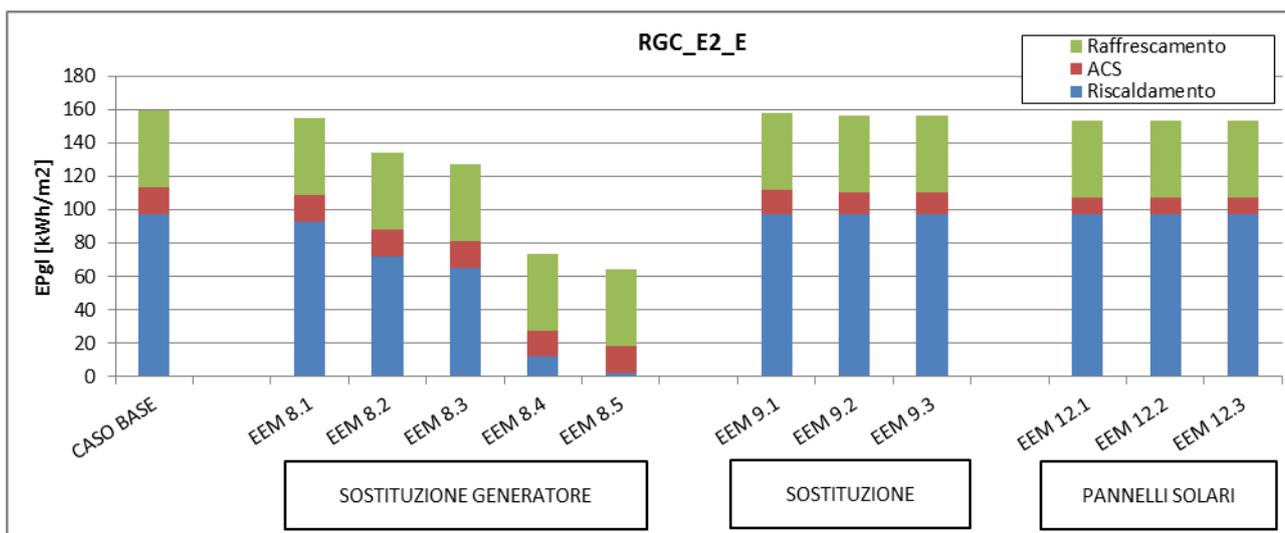
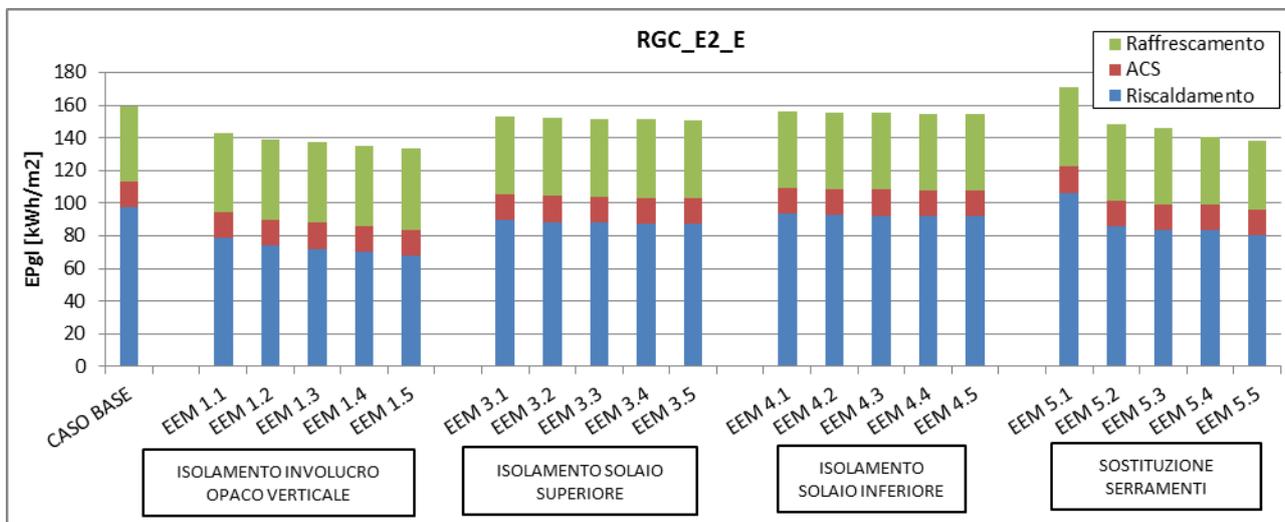
| n. | EEM | Parameter id. | Symbol | N MAX ⁽¹⁾ |
|----|---|---|----------------------|-------------------------|
| 1 | External wall thermal insulation (EIFS-EW): exterior insulation finishing system (cappotto) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 5 |
| 3 | Roof thermal insulation (INS-R) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _r | 5 |
| 4 | Floor thermal insulation (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | 5 |
| 5 | Window thermal insulation (INS-W) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 5 |
| 8 | Efficiency Heat Generator System (GHS) | Rendimento di generazione | η _{gn} | 5 |
| 9 | High efficiency systems for DHW (HES-DHW) | Rendimento del sistema al 100% del carico | η _{gn,Pn,W} | 2 |
| 10 | Efficiency Heat Generator System for heating and hot water | Rendimento di generazione | η _{gn} | 5 |
| 12 | Thermal solar systems (SOL) | m ² di collettori solari | m ² | 3 |

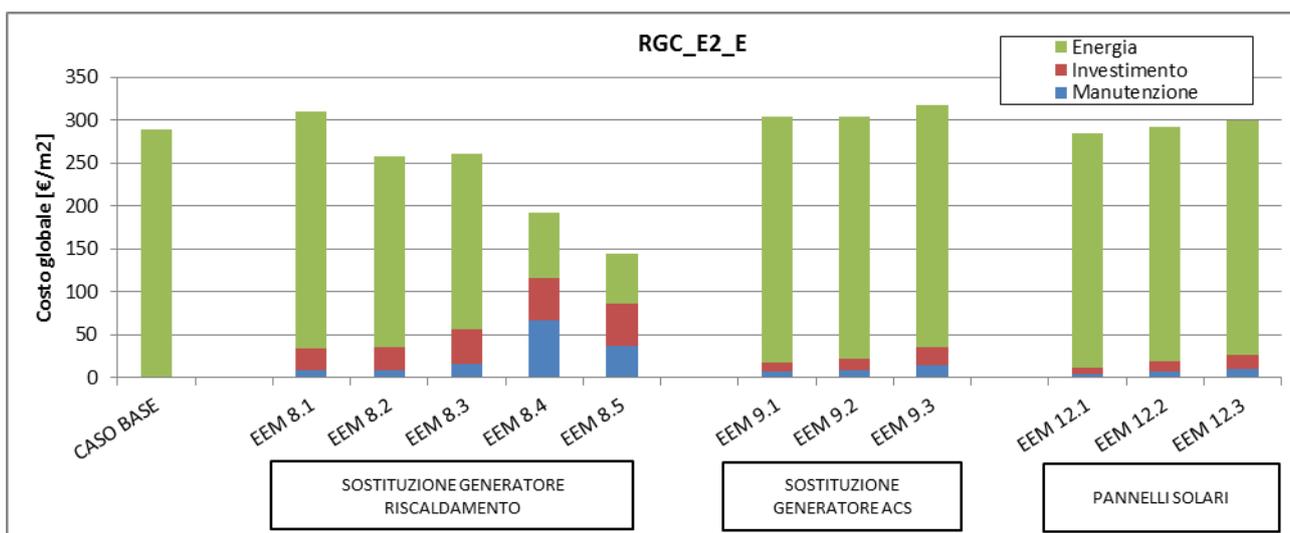
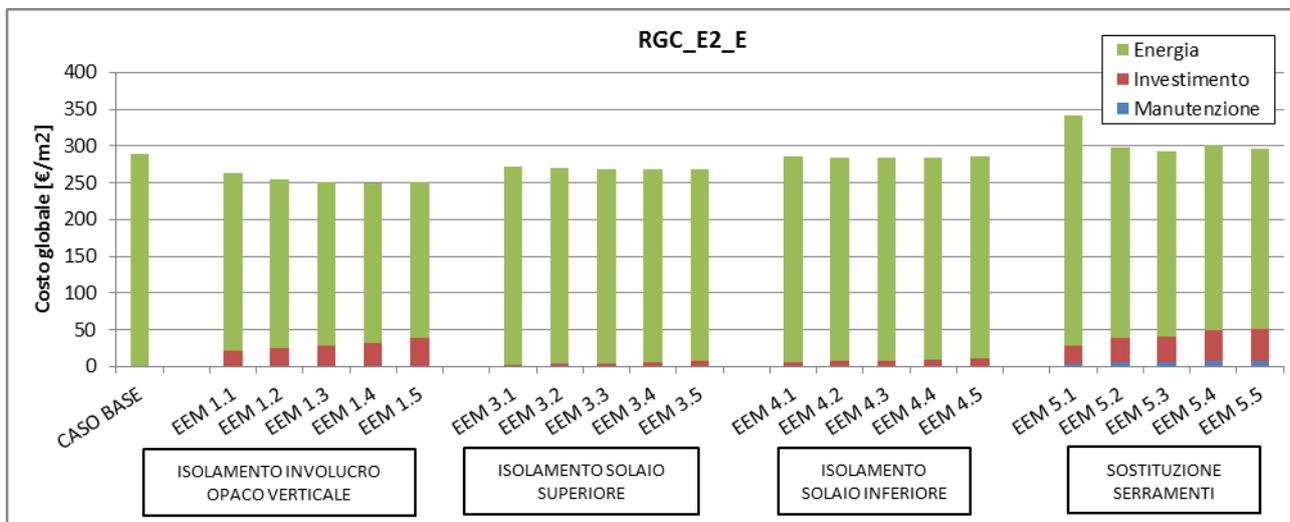
EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO (1946-1976) – ZONA CLIMATICA E (MILANO)



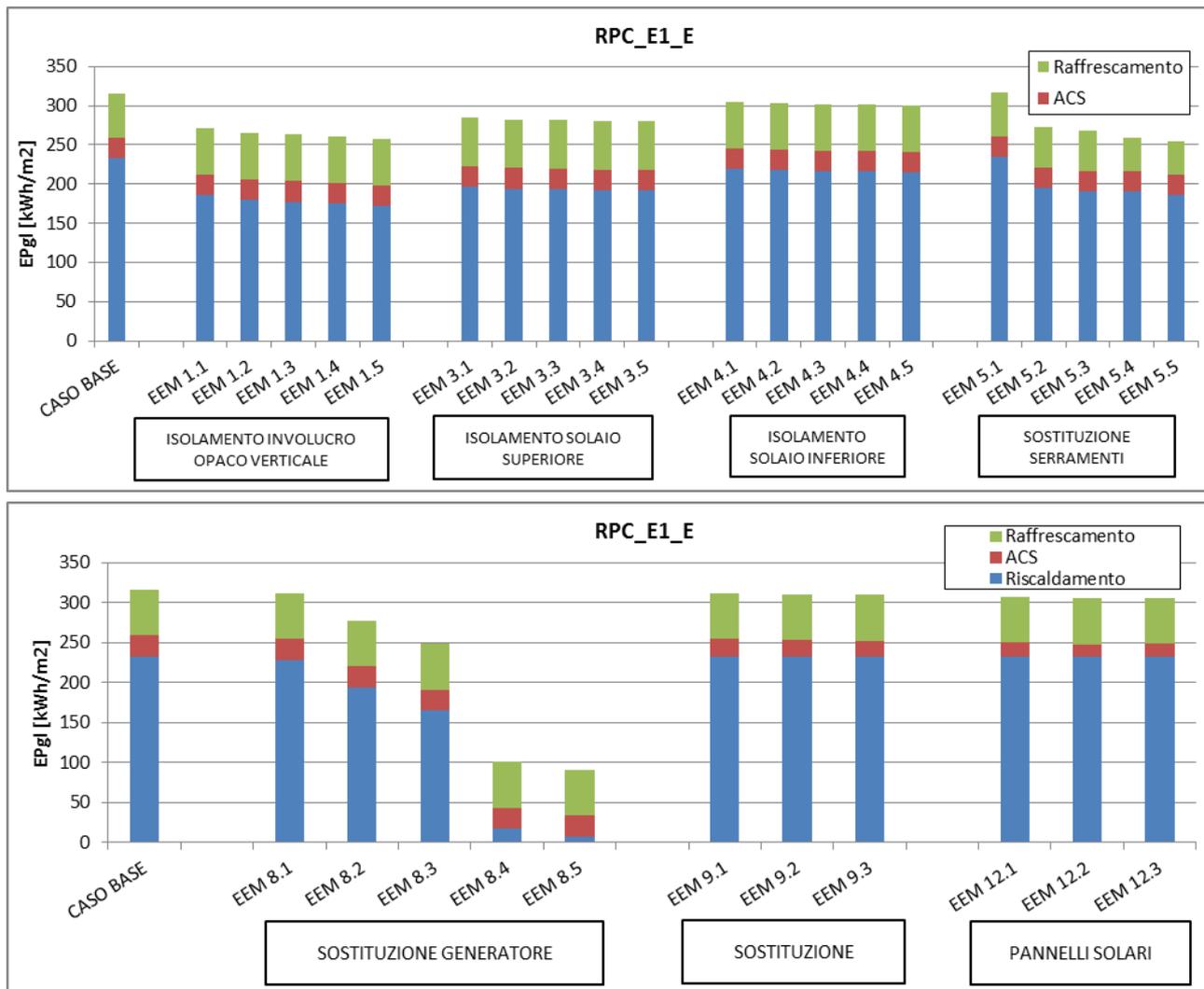


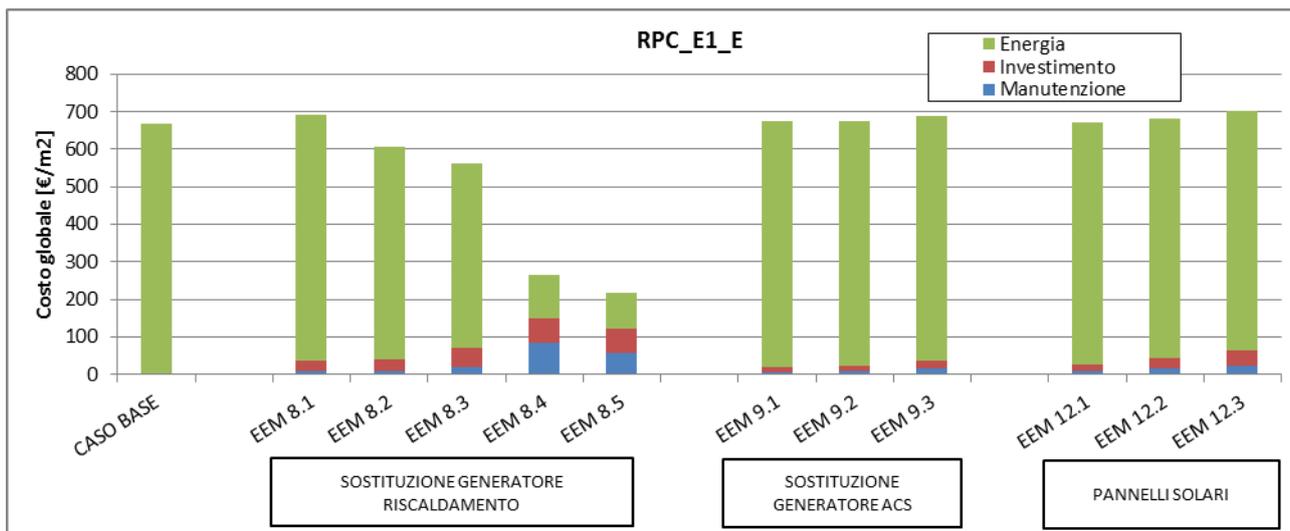
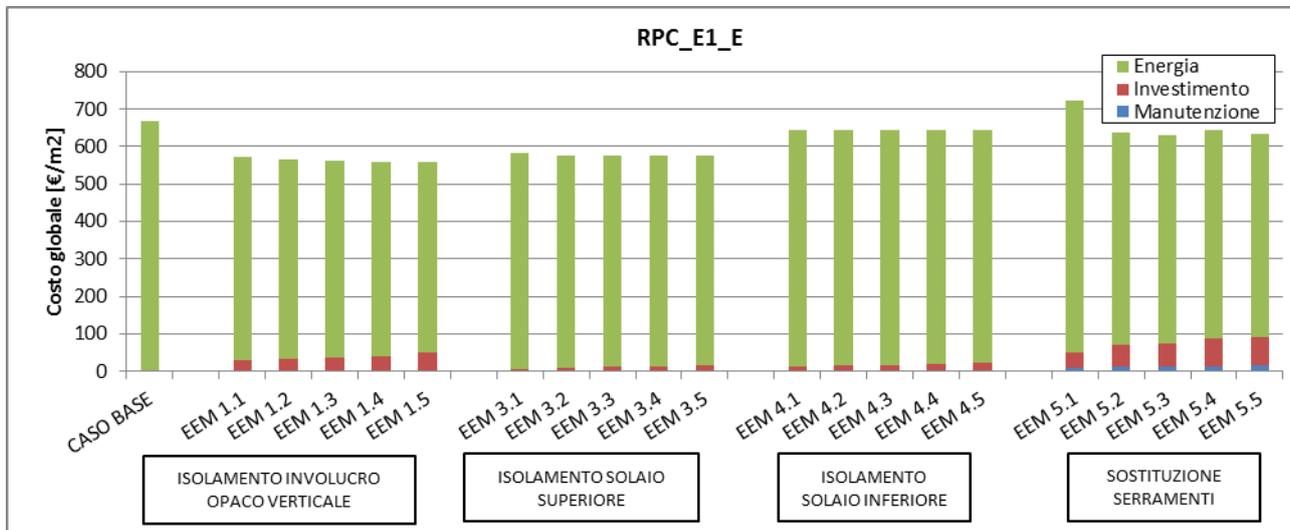
EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO (1977-1990) – ZONA CLIMATICA E (MILANO)



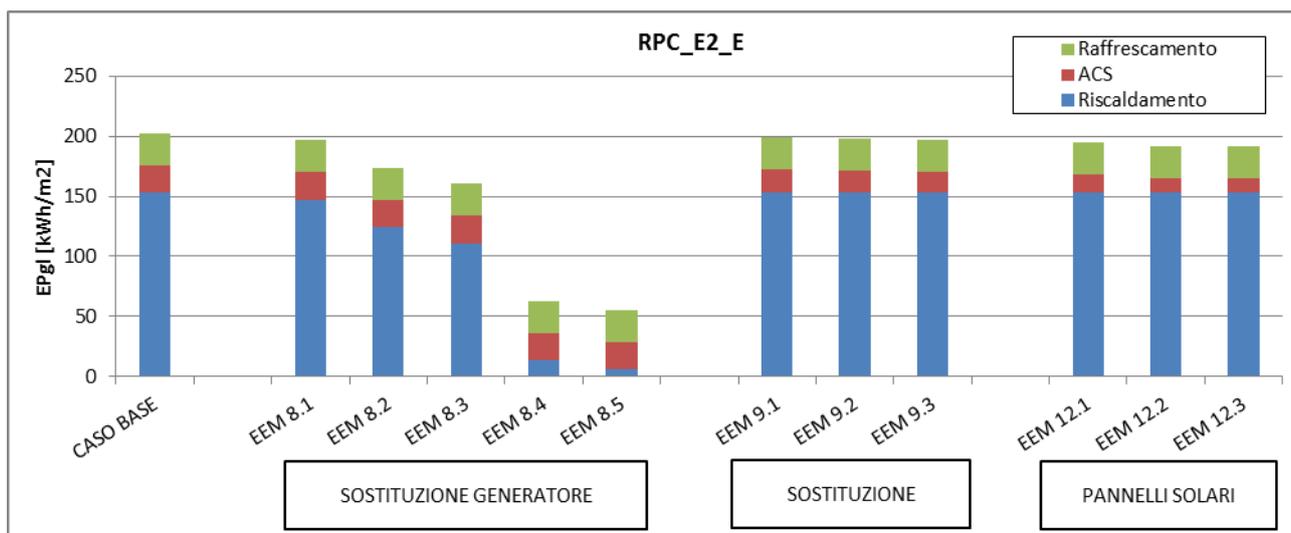
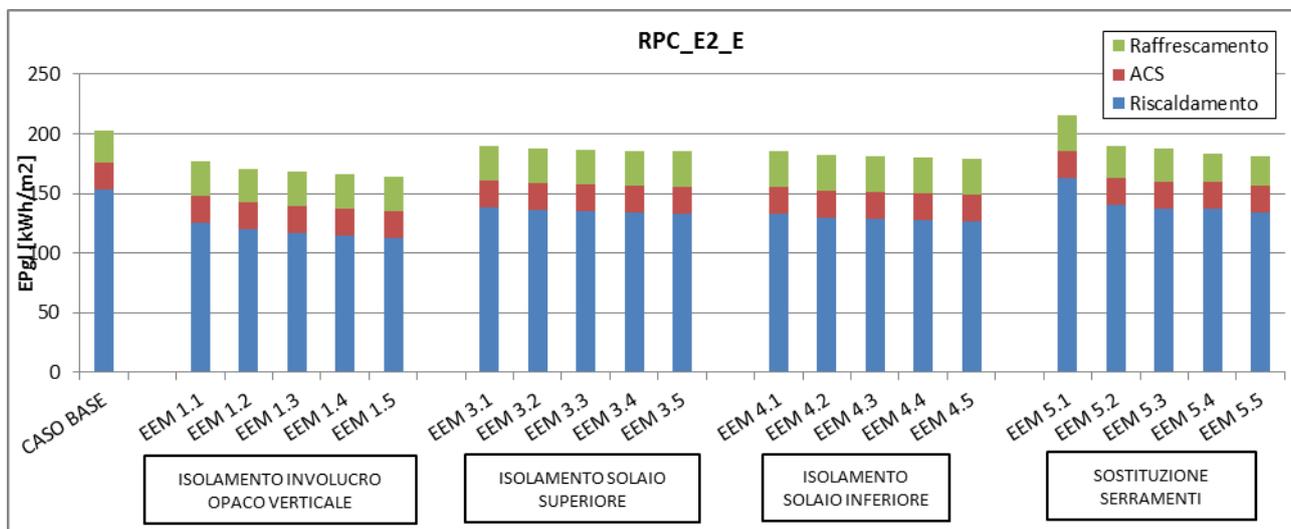


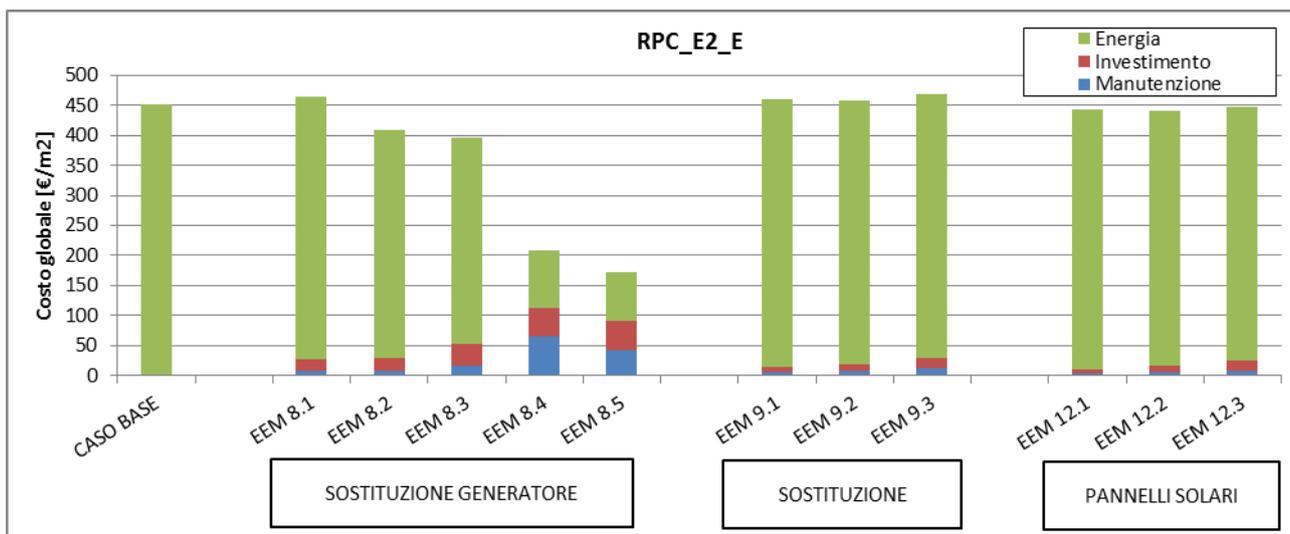
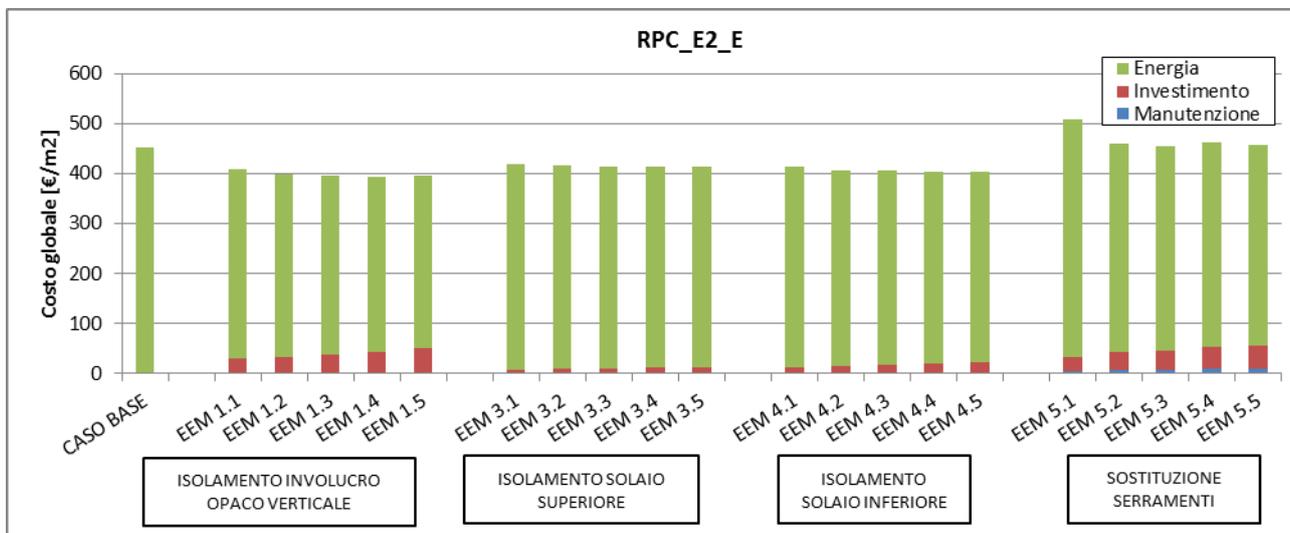
EDIFICIO RESIDENZIALE PICCOLO CONDOMINIO (1946-1976) - ZONA CLIMATICA E (MILANO)



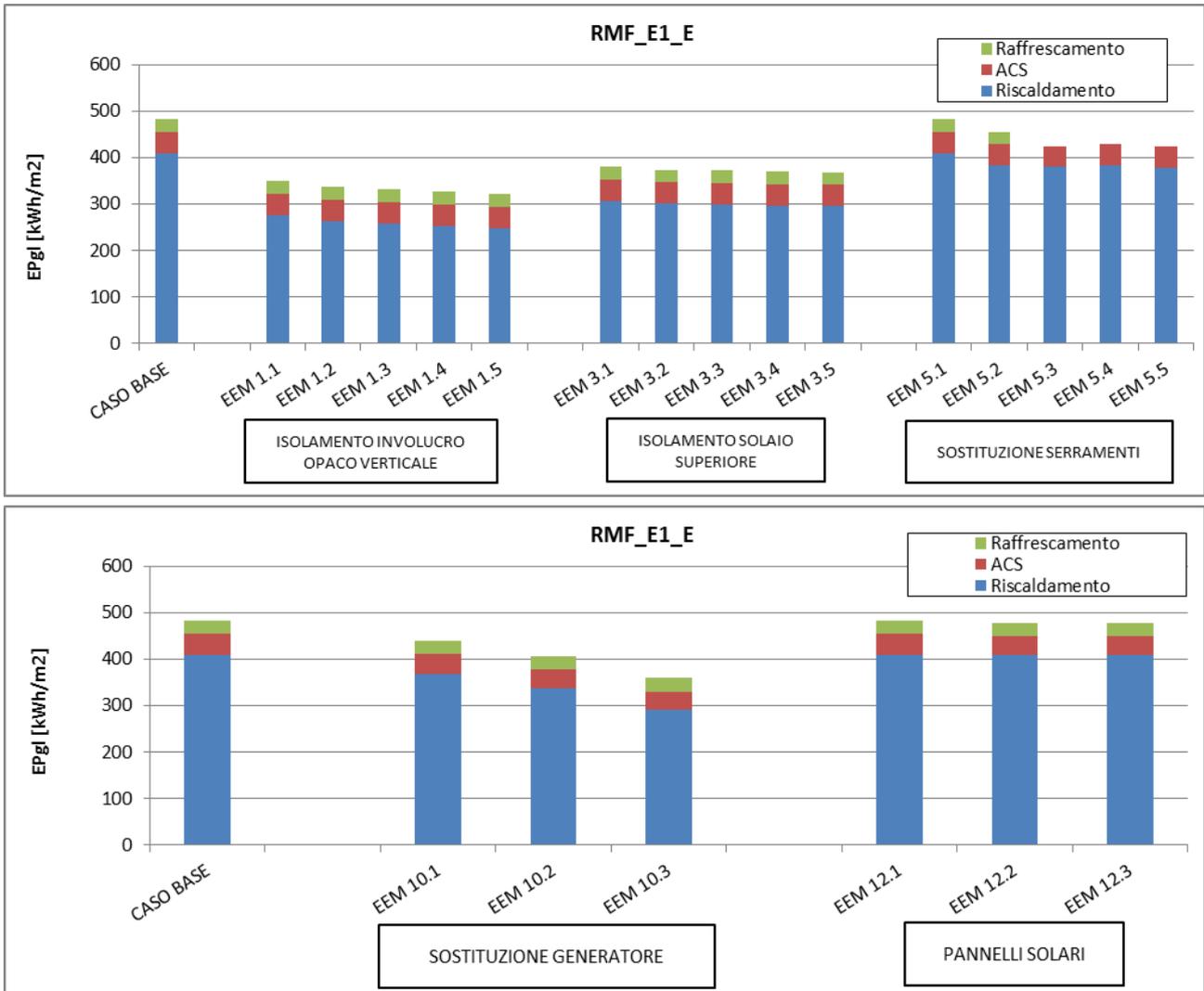


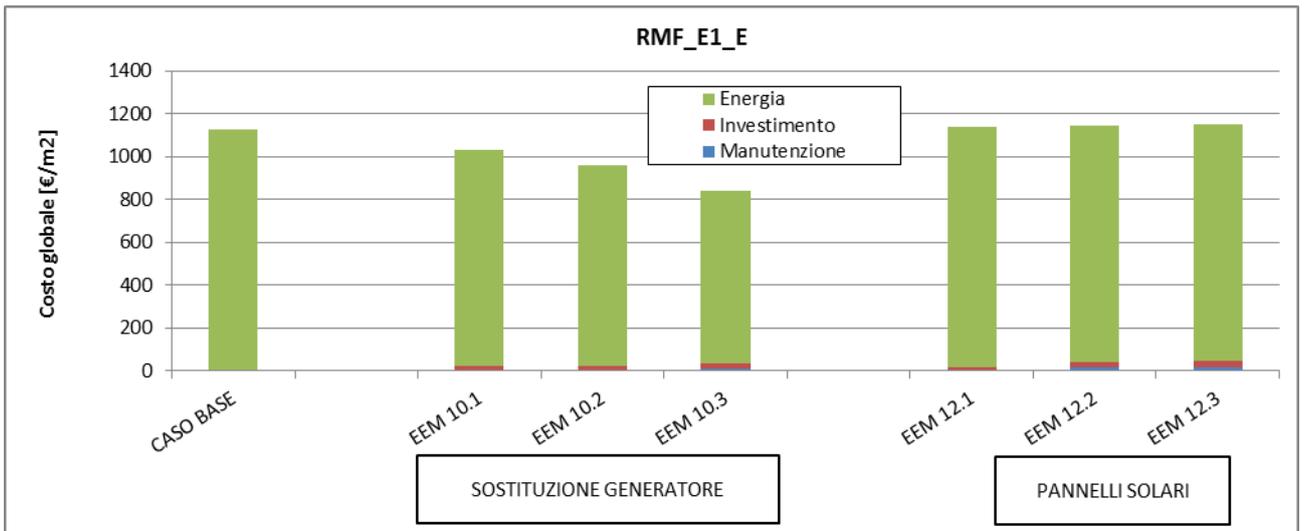
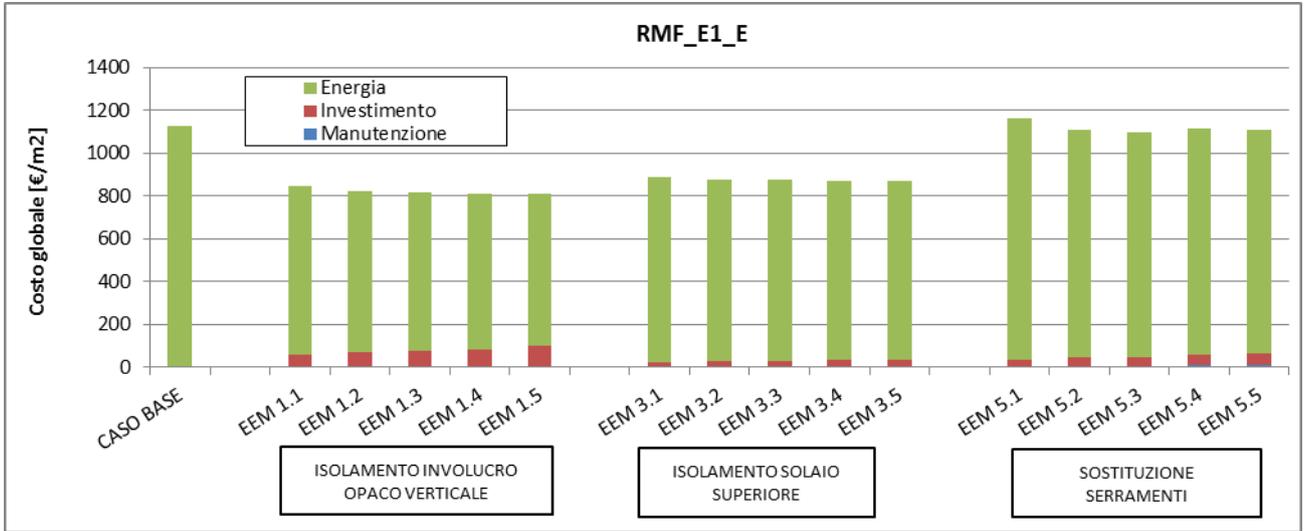
EDIFICIO RESIDENZIALE PICCOLO CONDOMINIO (1977-1990) - ZONA CLIMATICA E (MILANO)



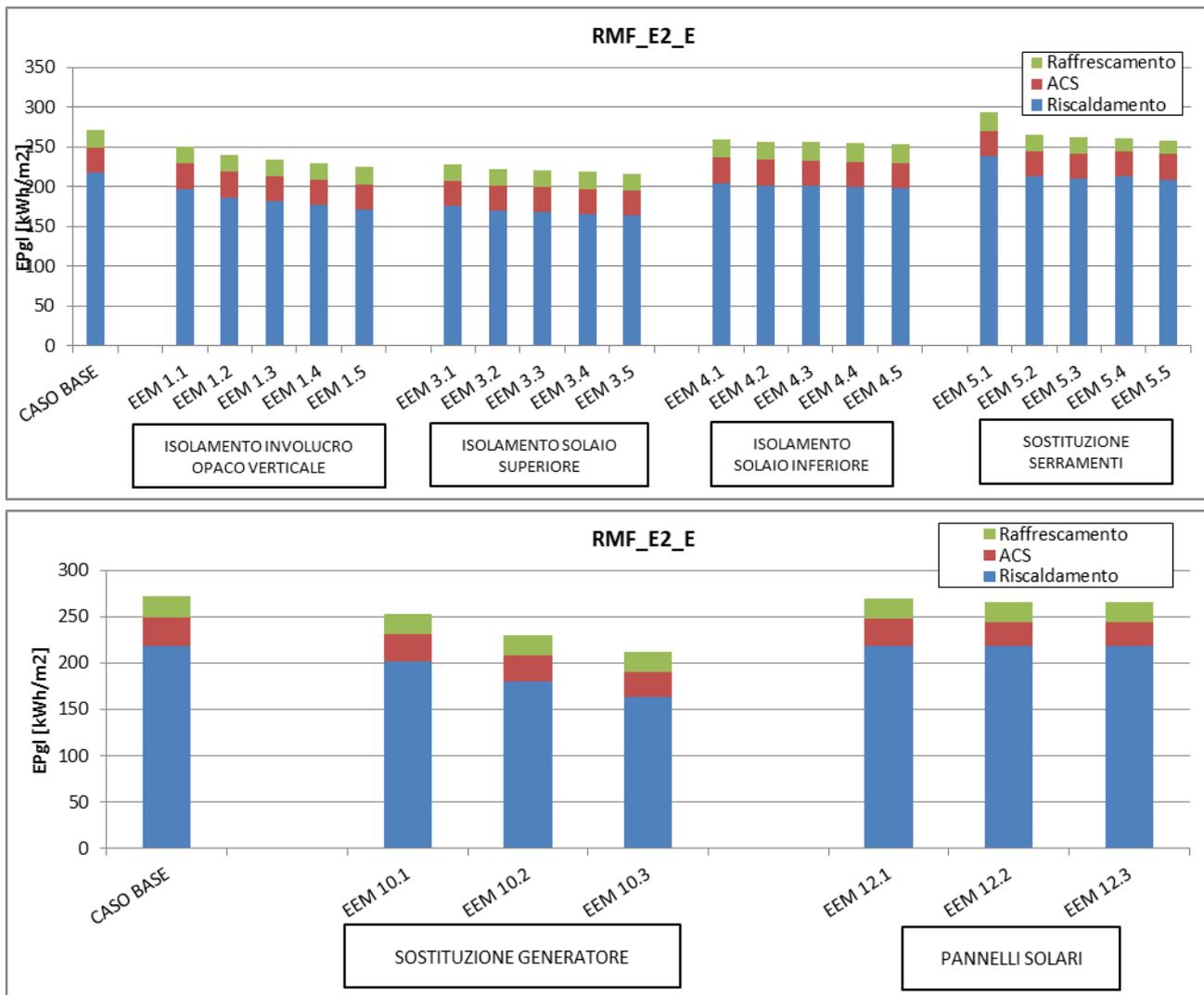


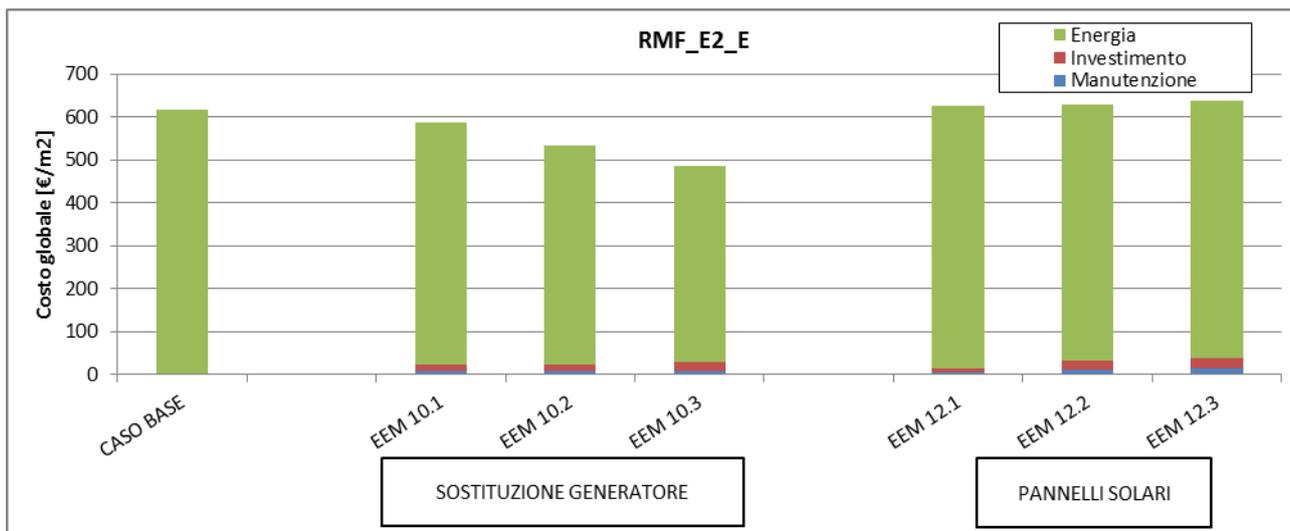
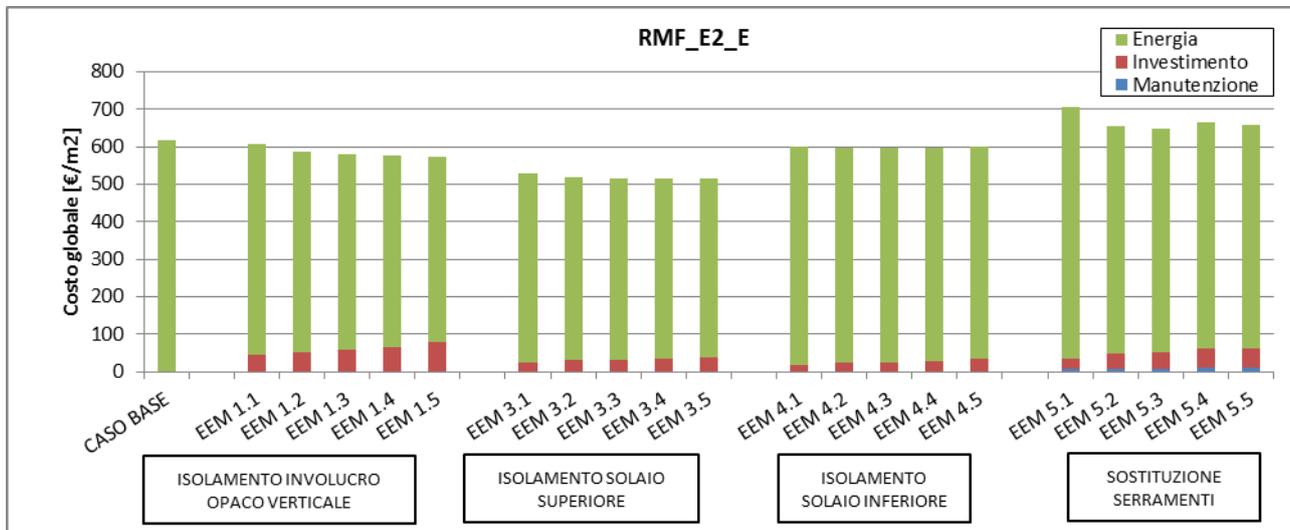
EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE (1946-1976)– ZONA CLIMATICA E (MILANO)



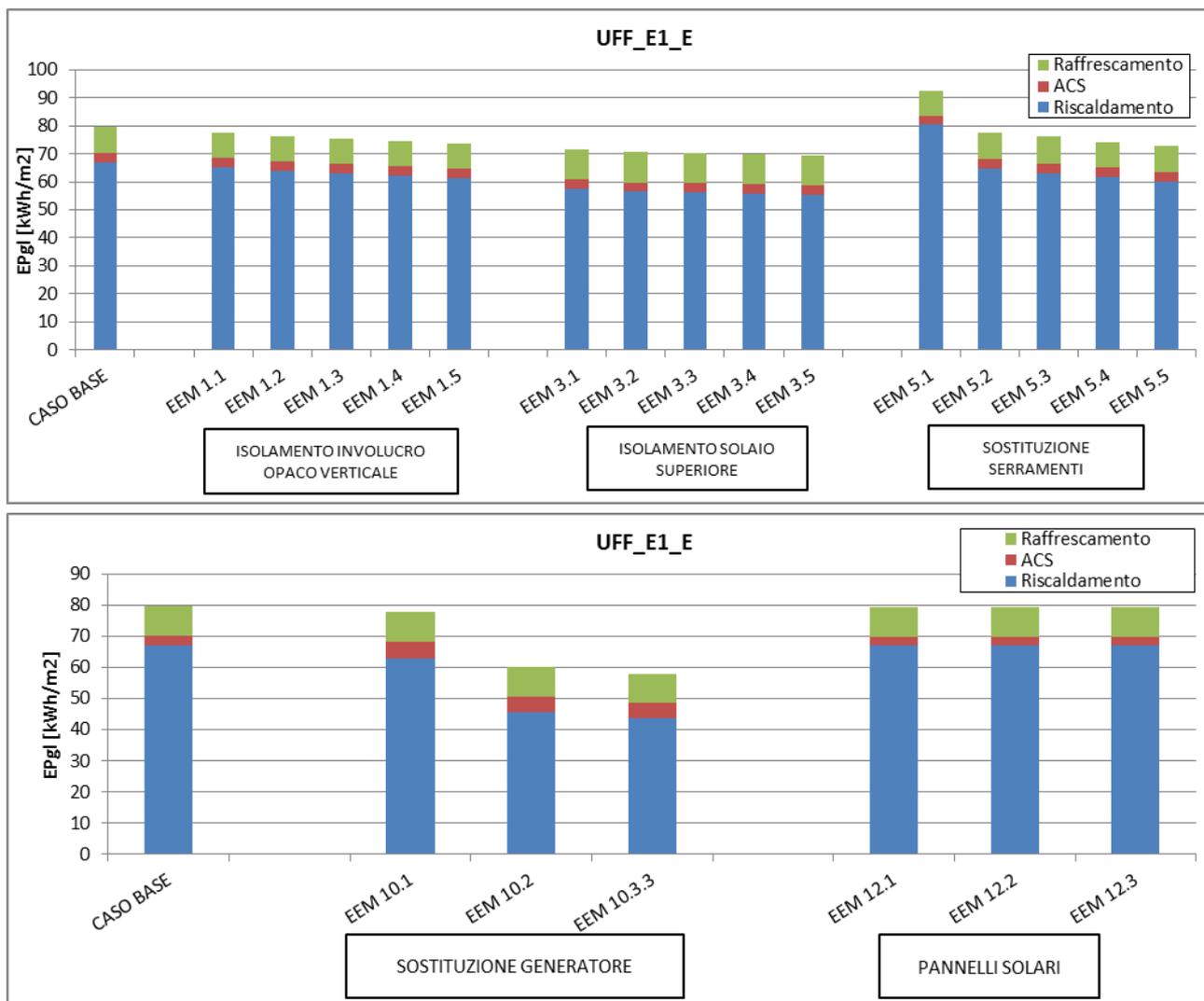


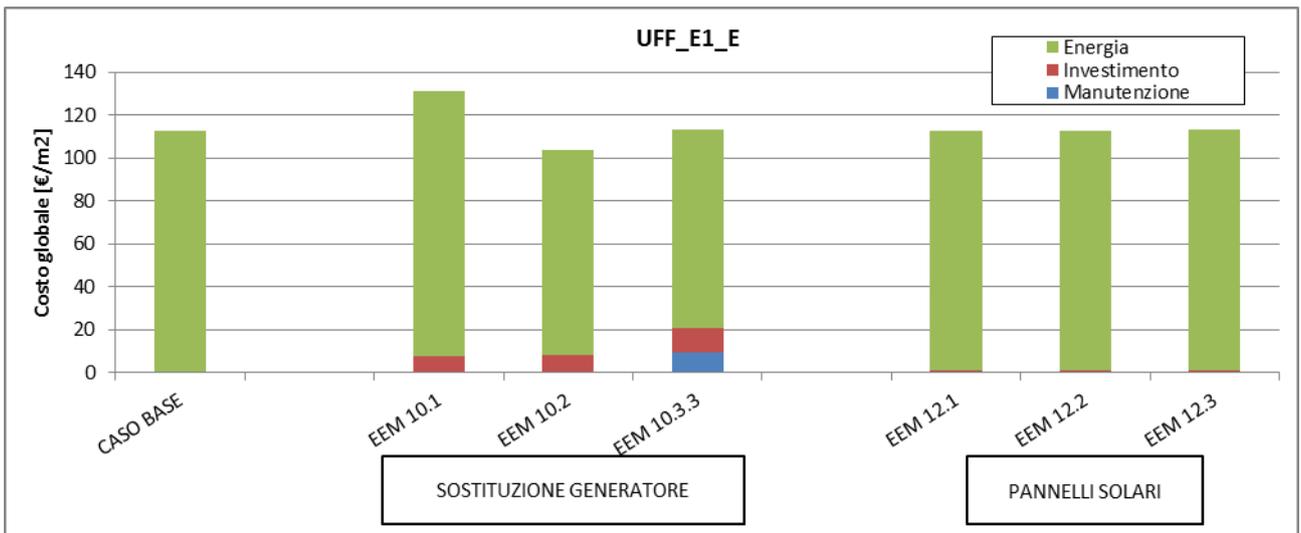
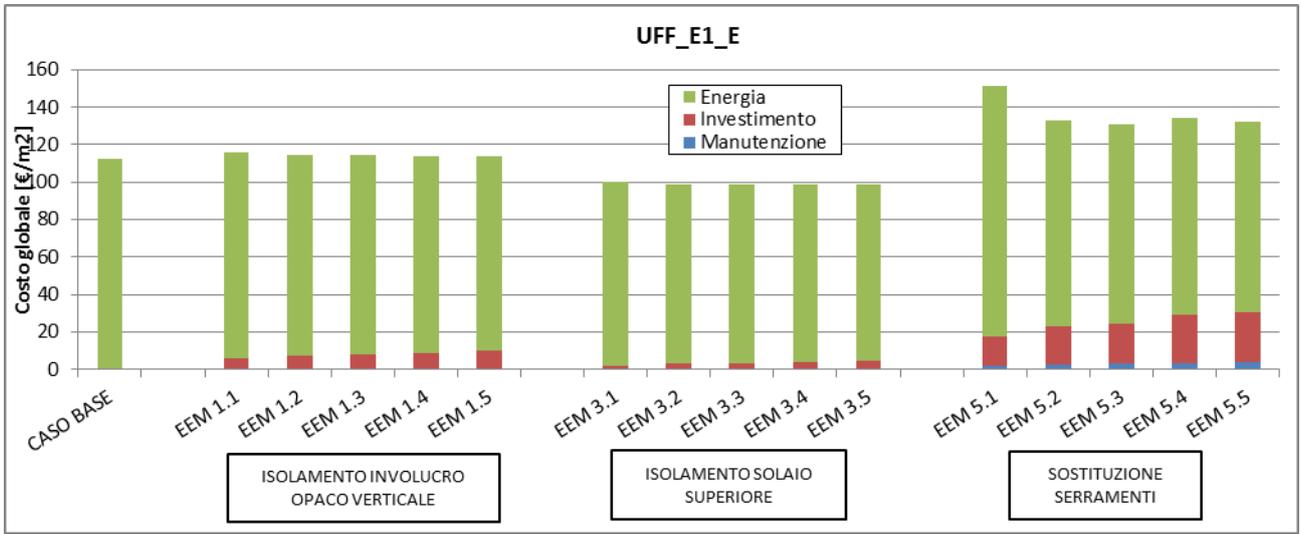
EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE (1977-1990)– ZONA CLIMATICA E (MILANO)



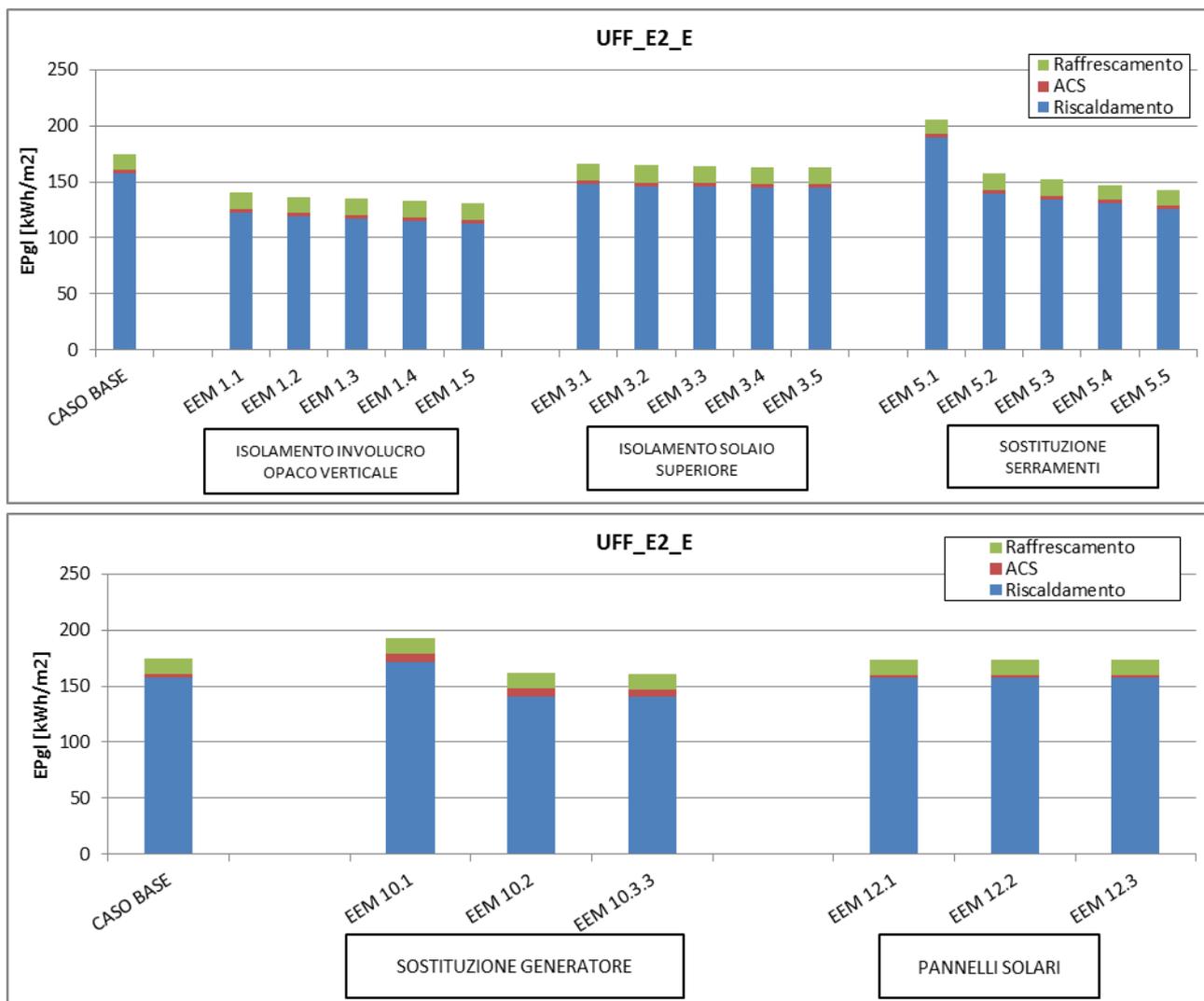


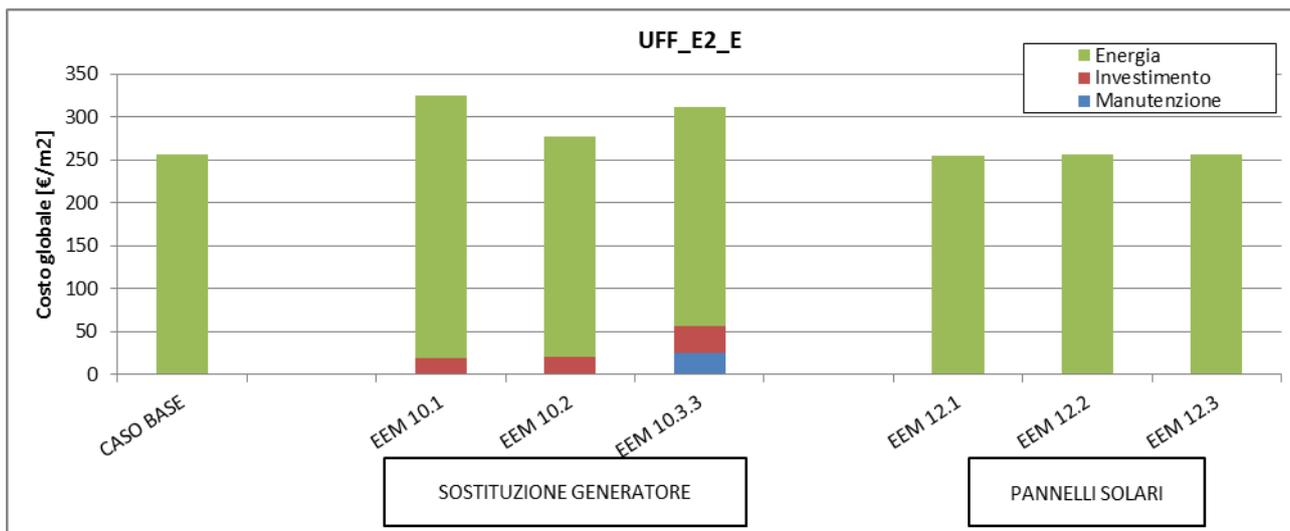
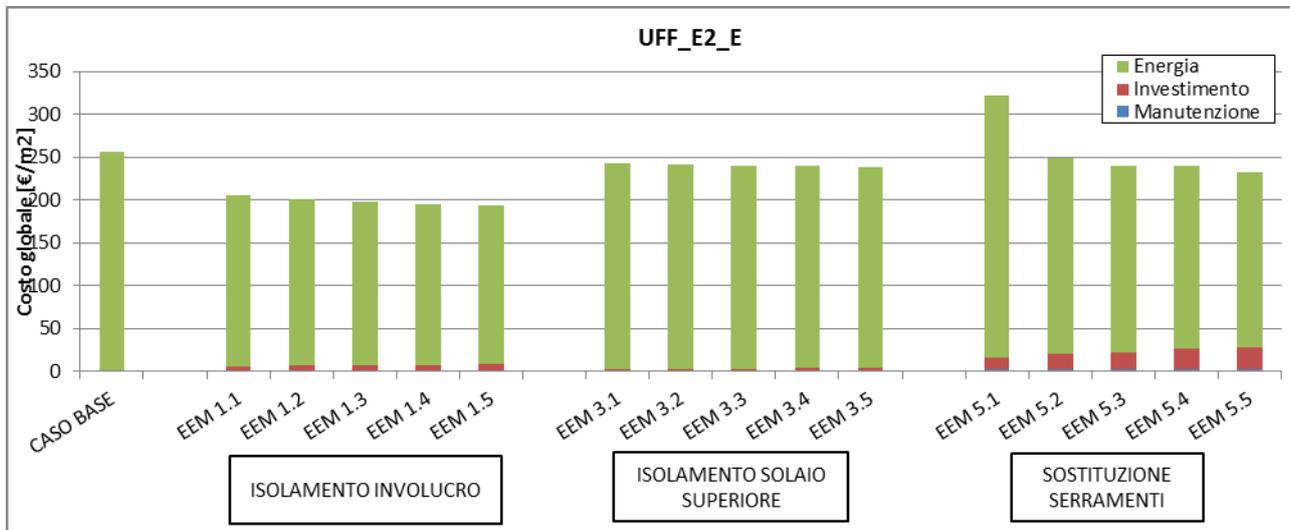
EDIFICIO PER UFFICI (1946-1976) – ZONA CLIMATICA E (MILANO)



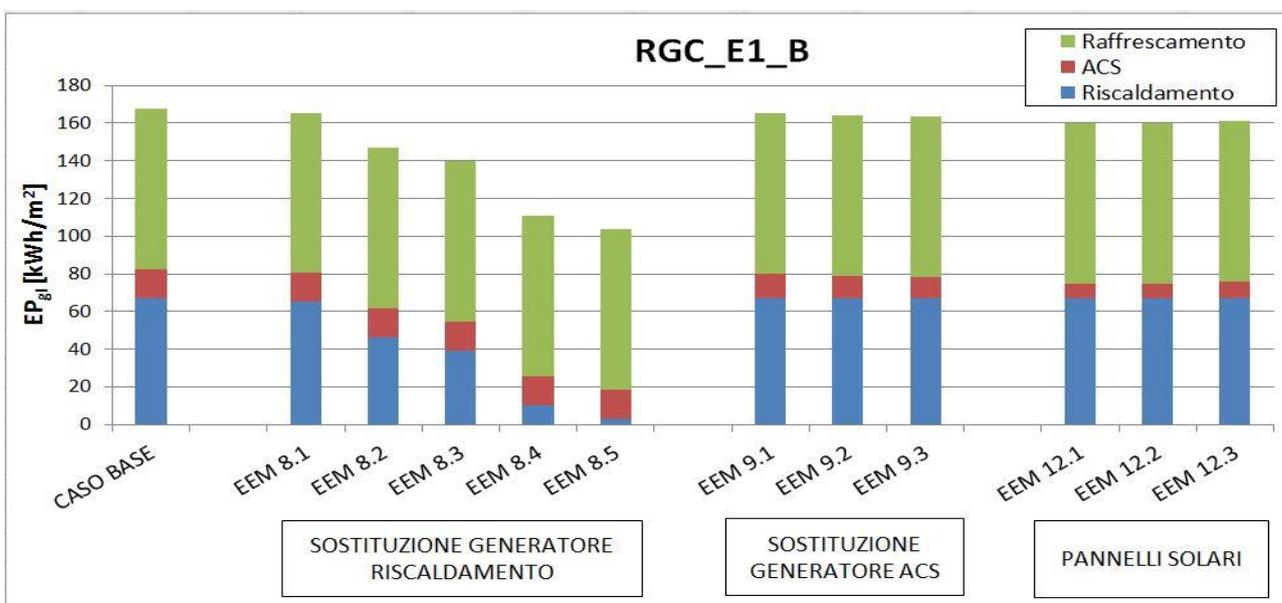
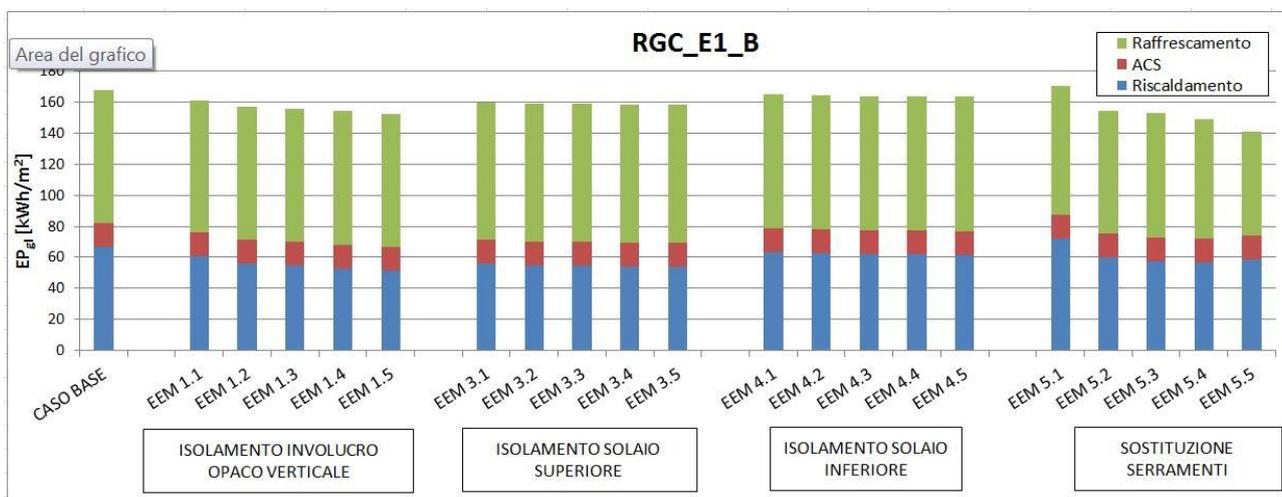


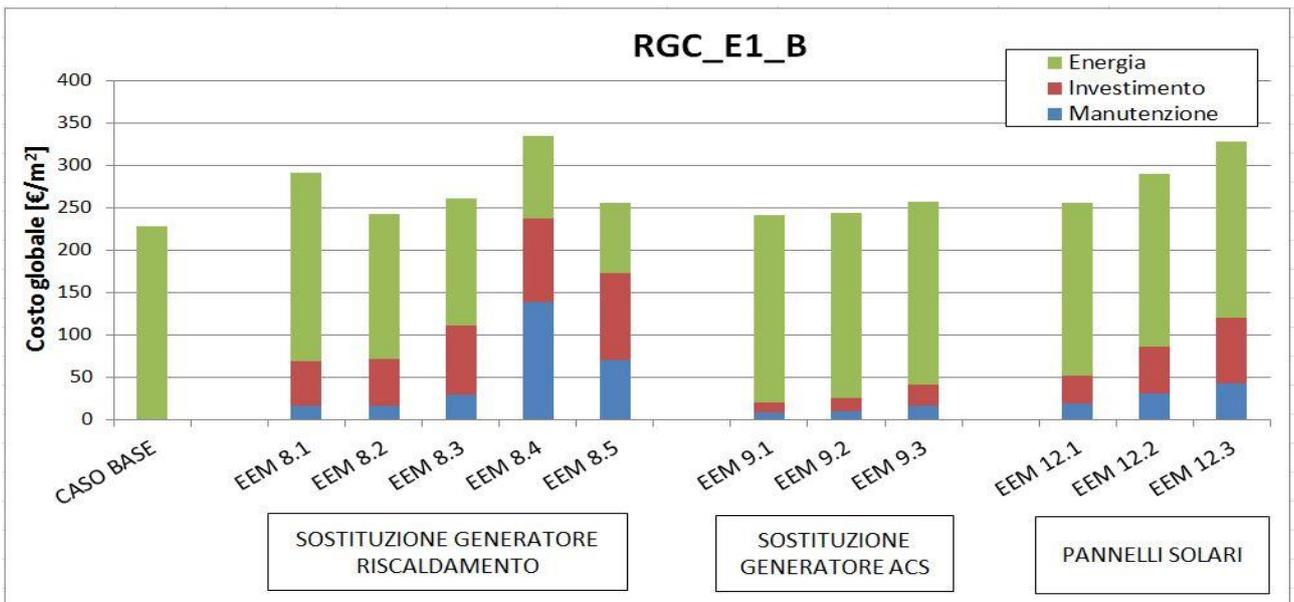
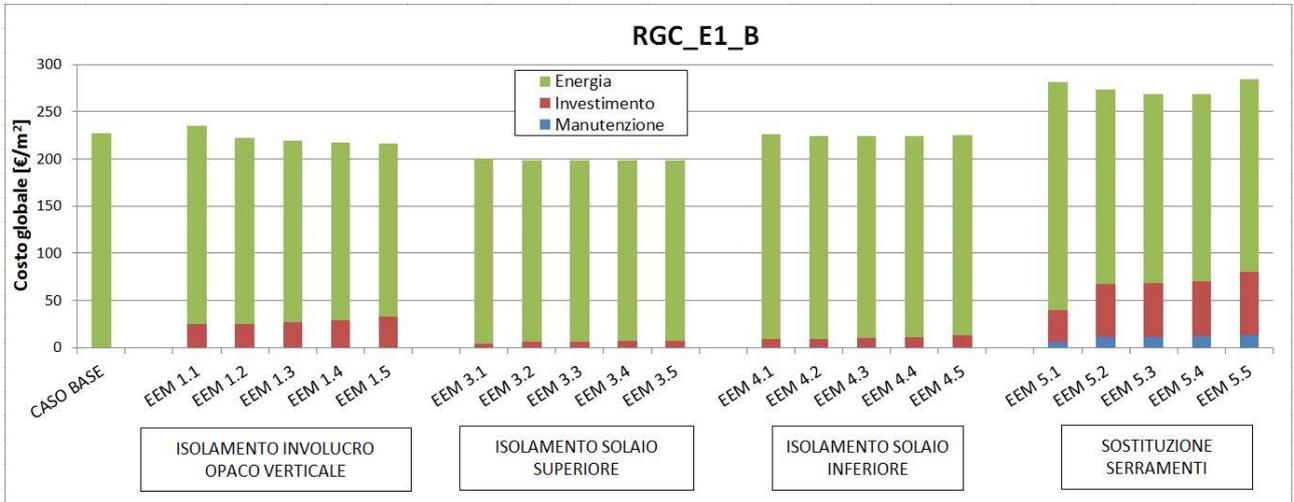
EDIFICIO PER UFFICI (1977-1990) – ZONA CLIMATICA E (MILANO)



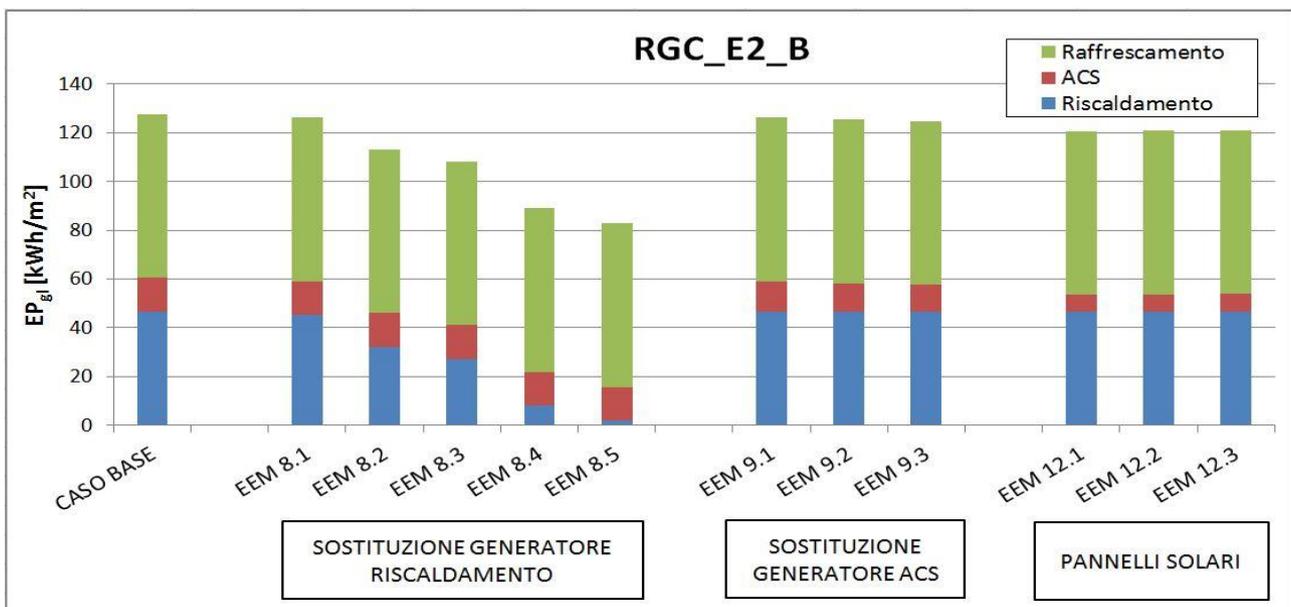
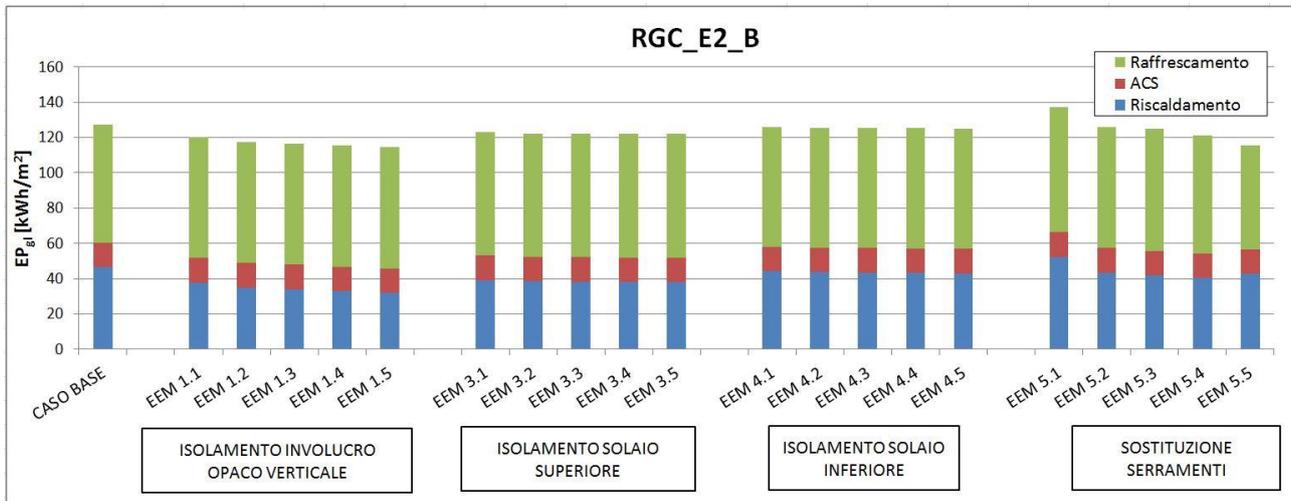


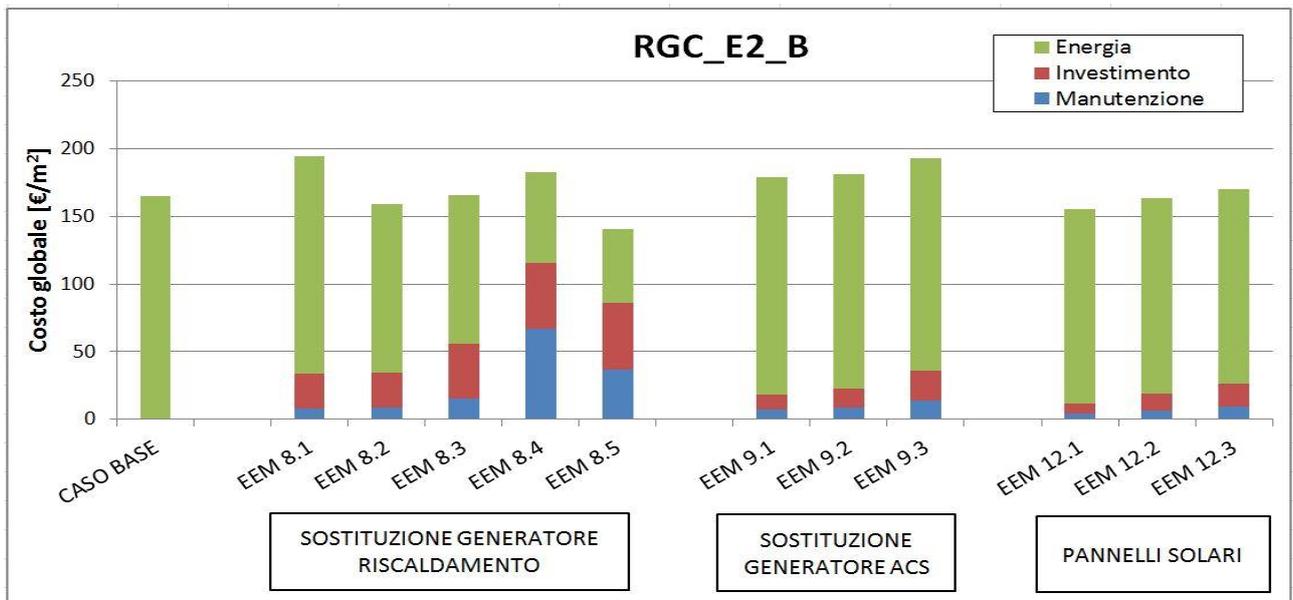
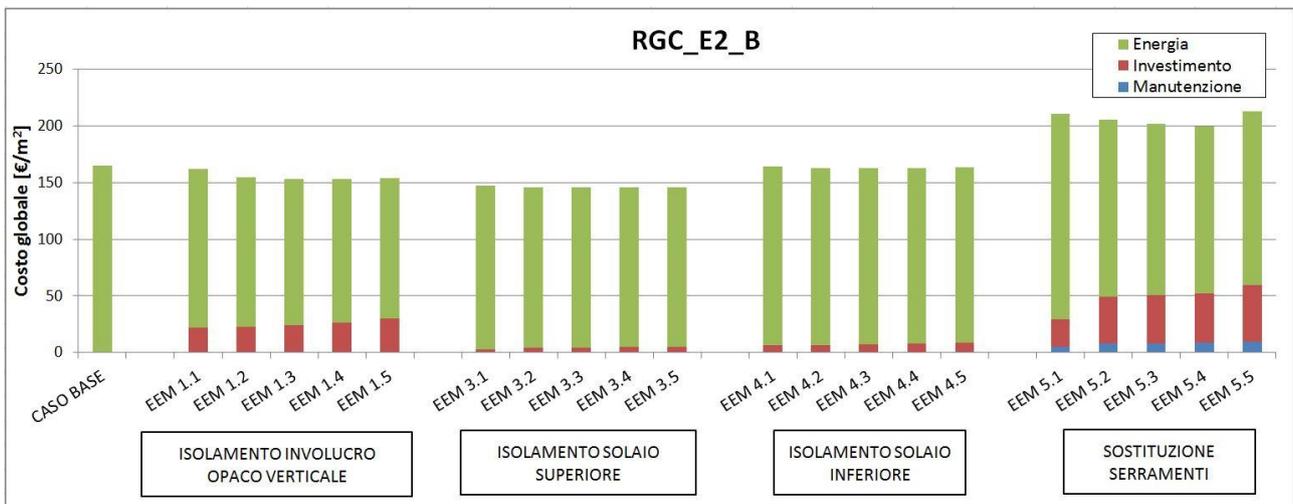
EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO (1946-1976) – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



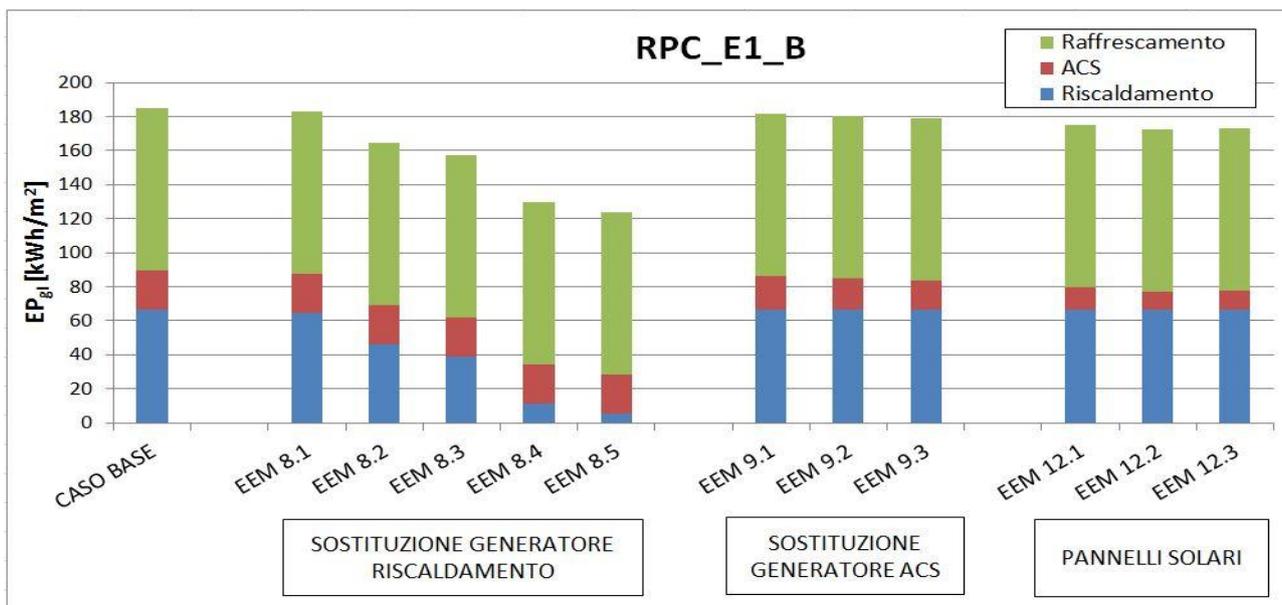
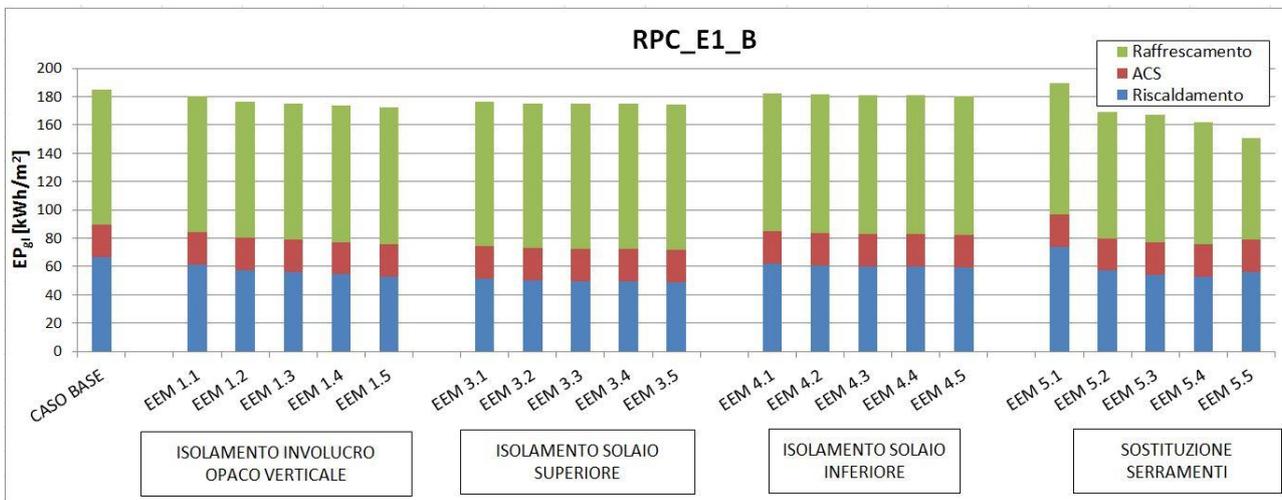


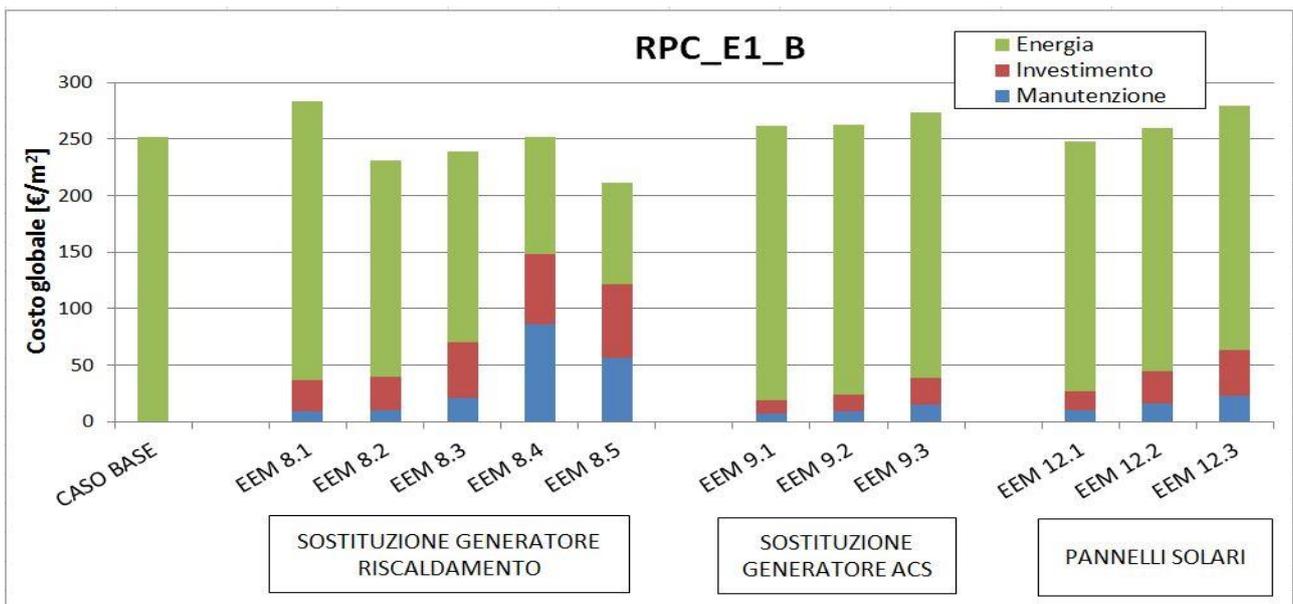
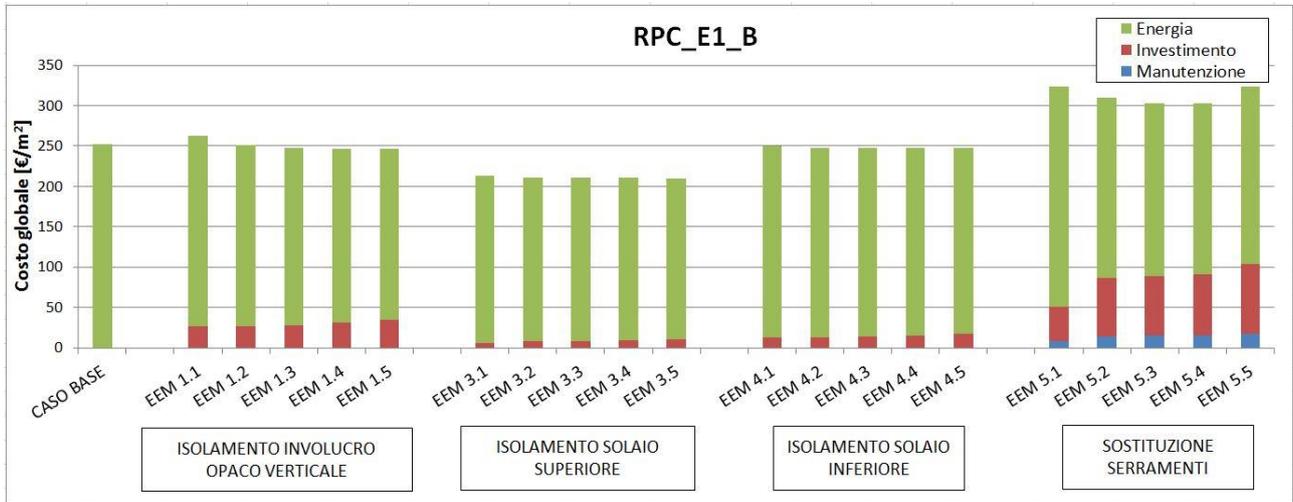
EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO (1977-1990) – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



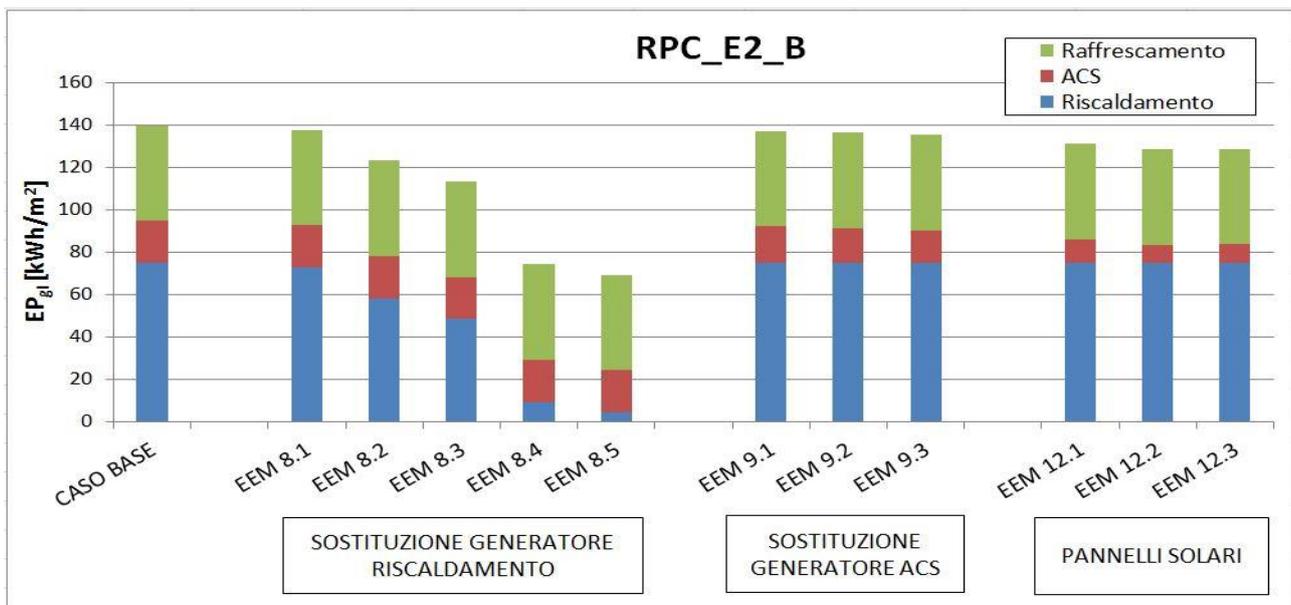
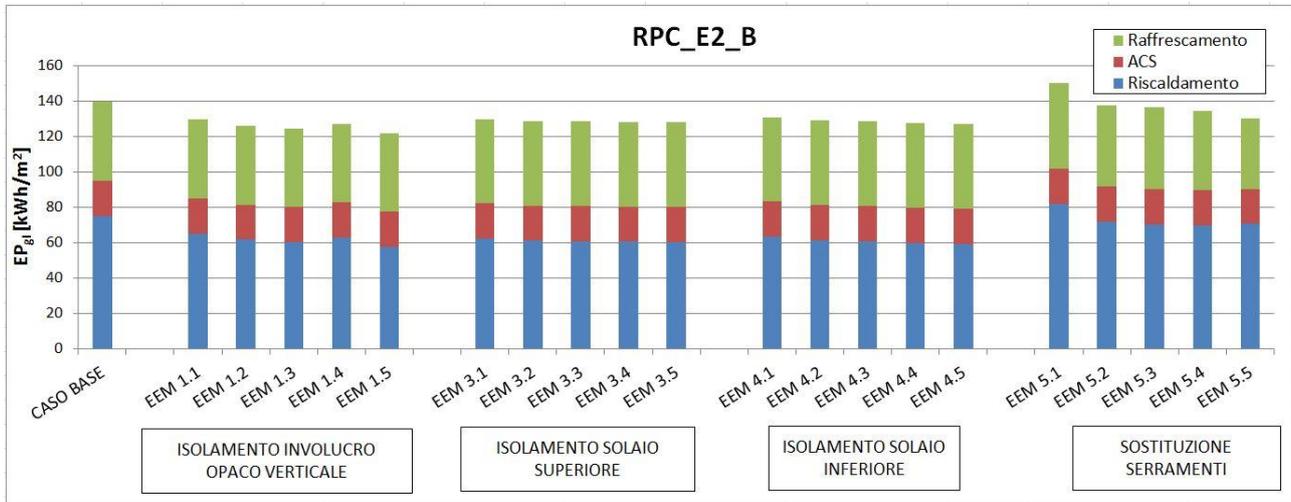


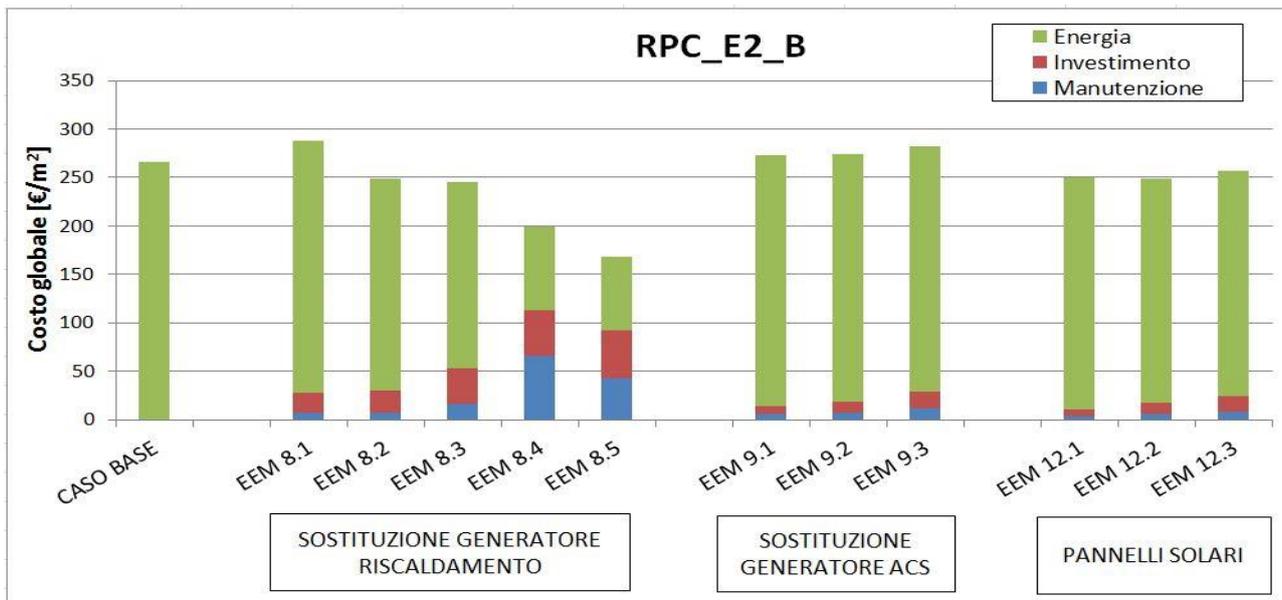
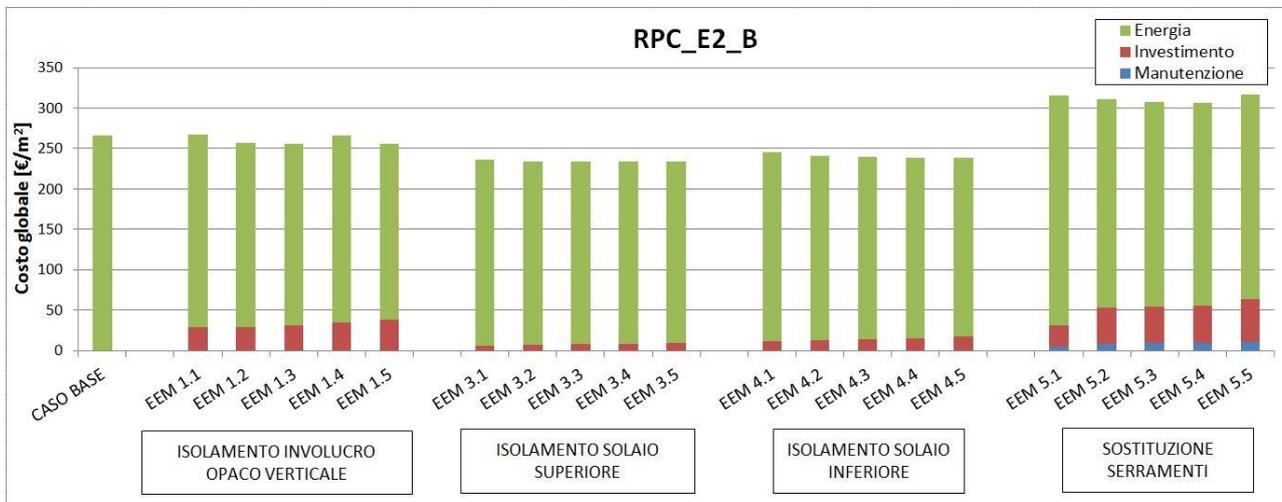
EDIFICIO RESIDENZIALE PICCOLO CONDOMINIO (1946-1976) - ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



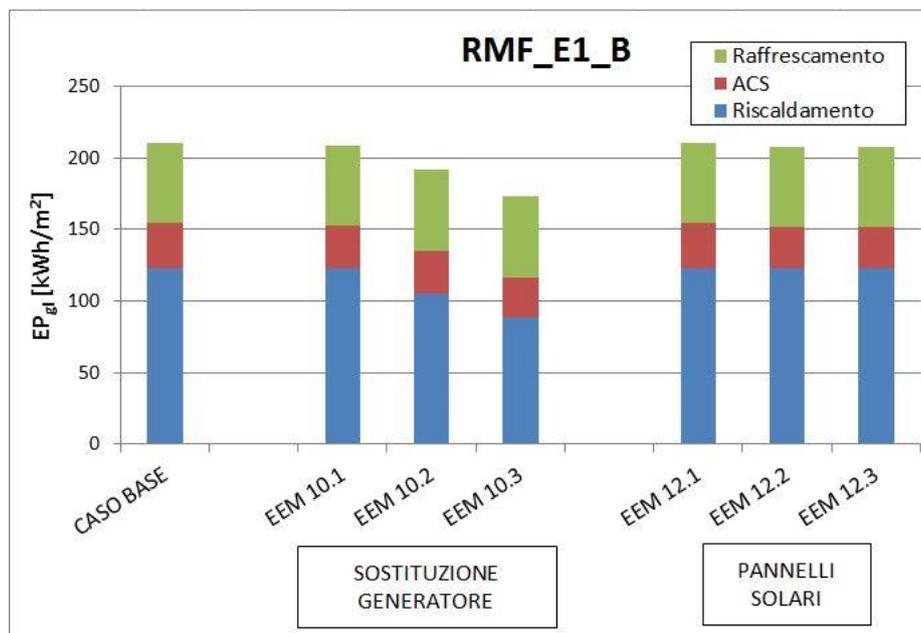
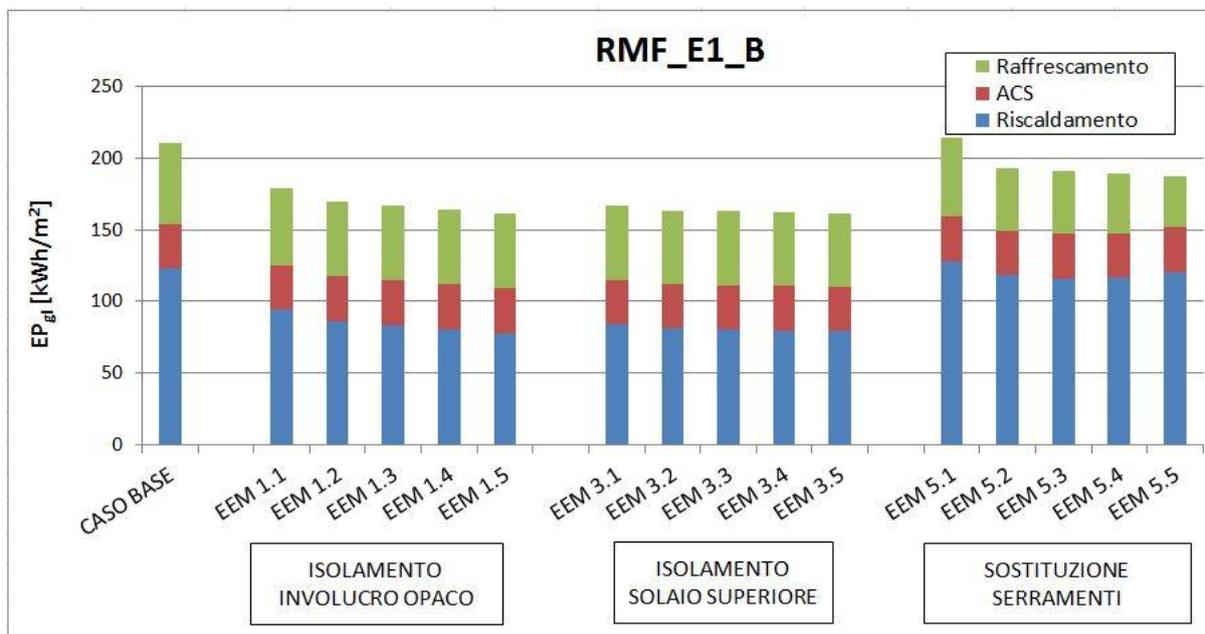


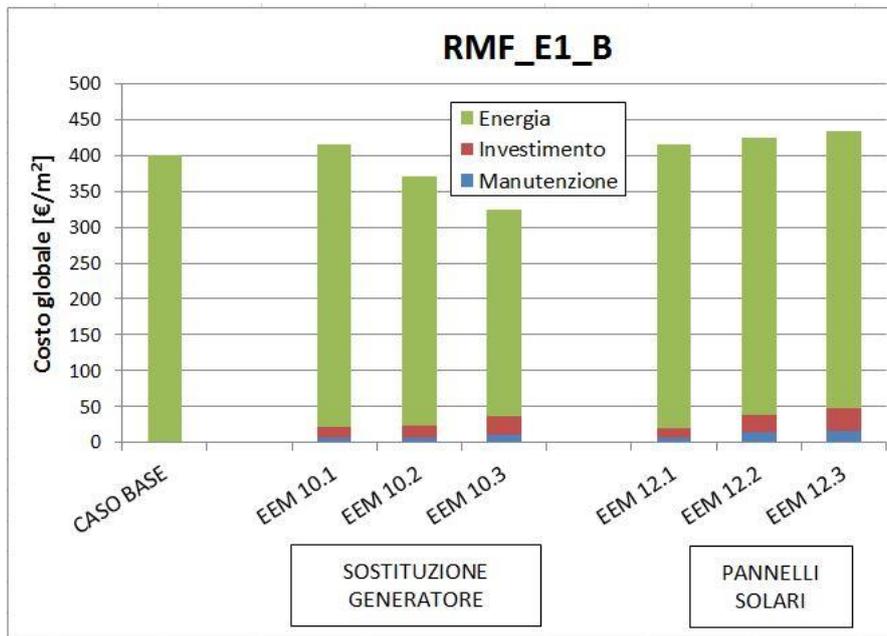
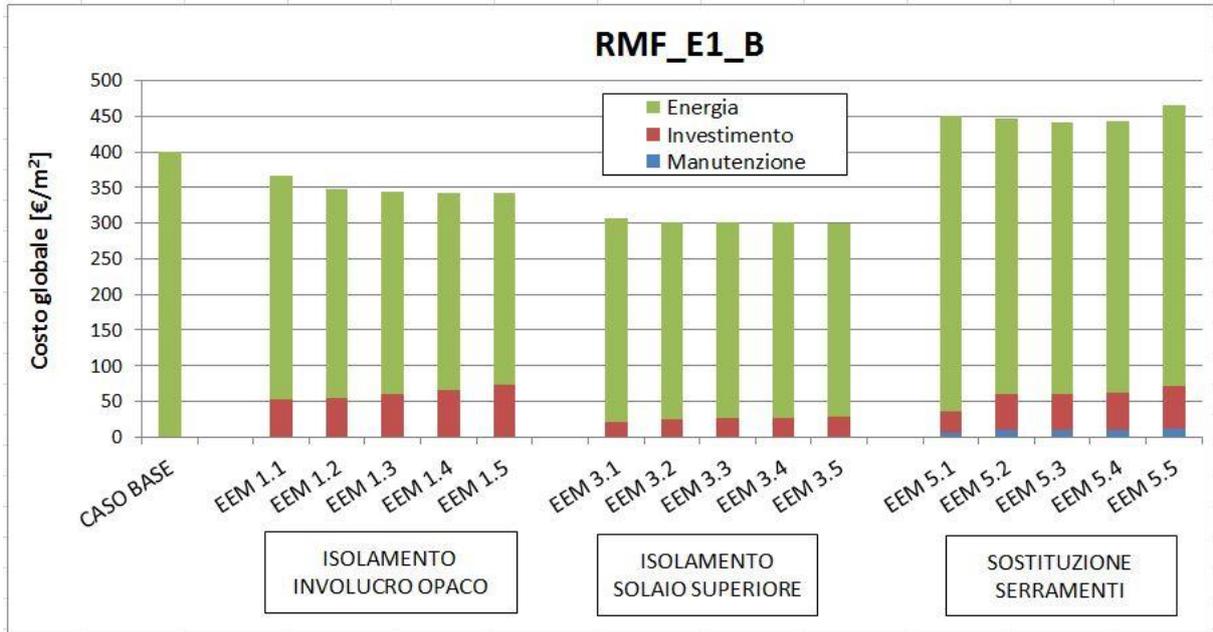
EDIFICIO RESIDENZIALE PICCOLO CONDOMINIO (1977-1990) - ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



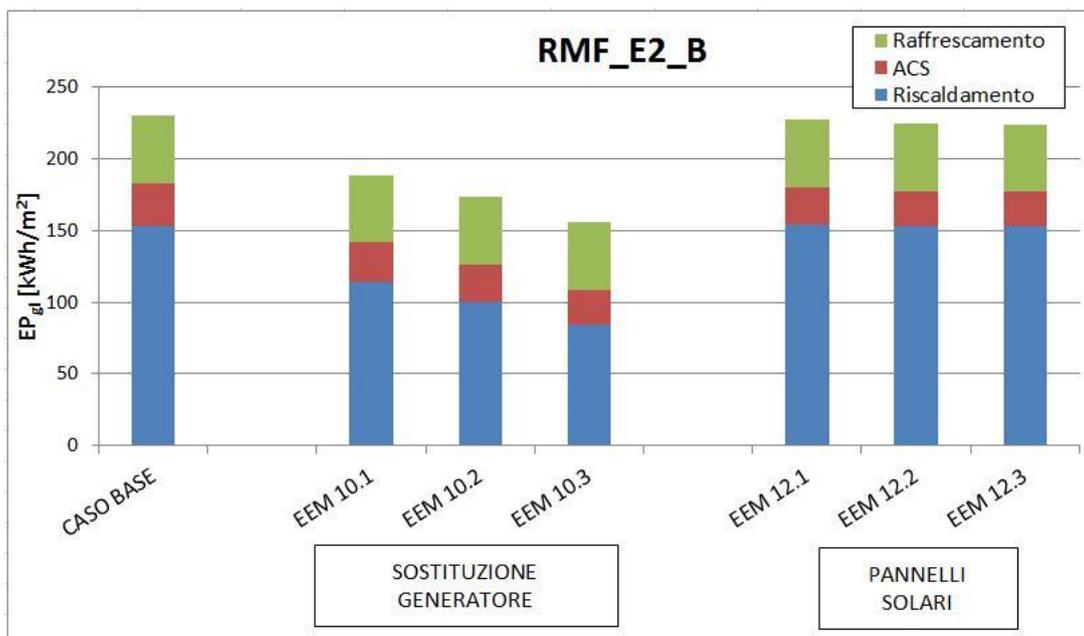
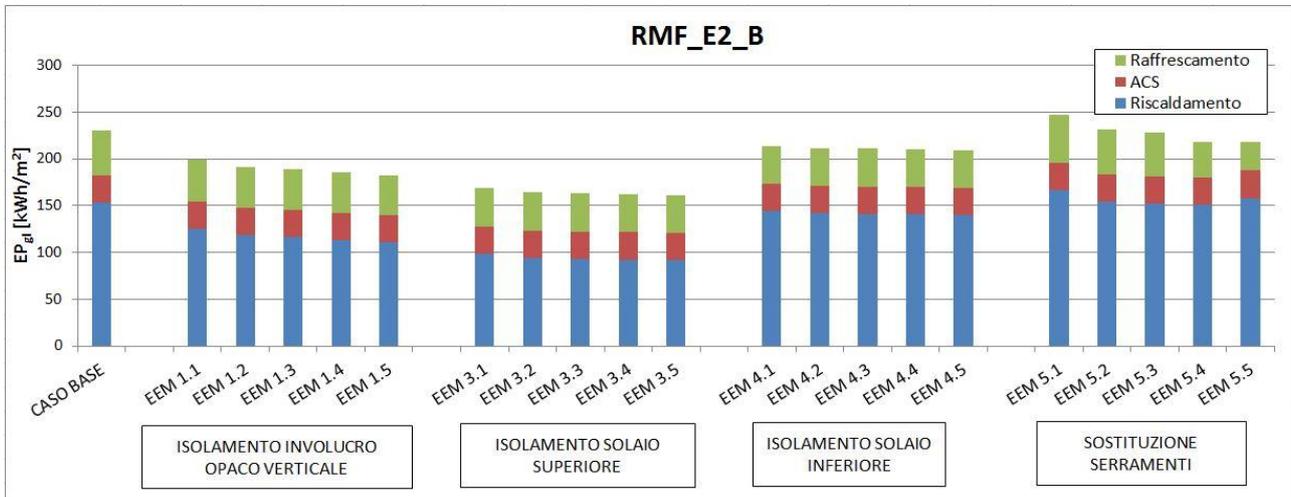


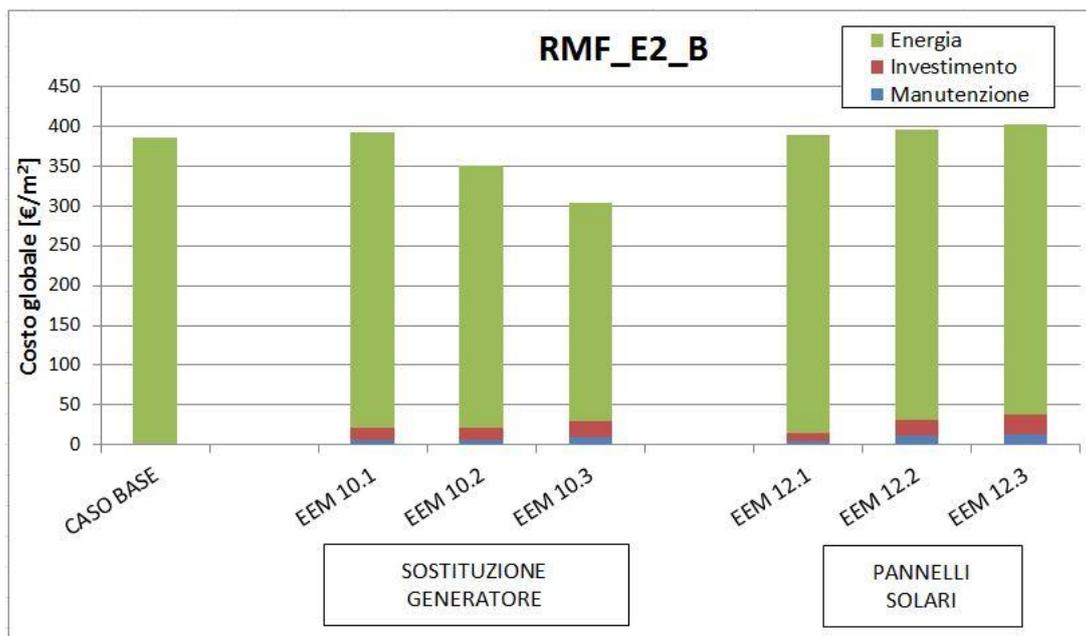
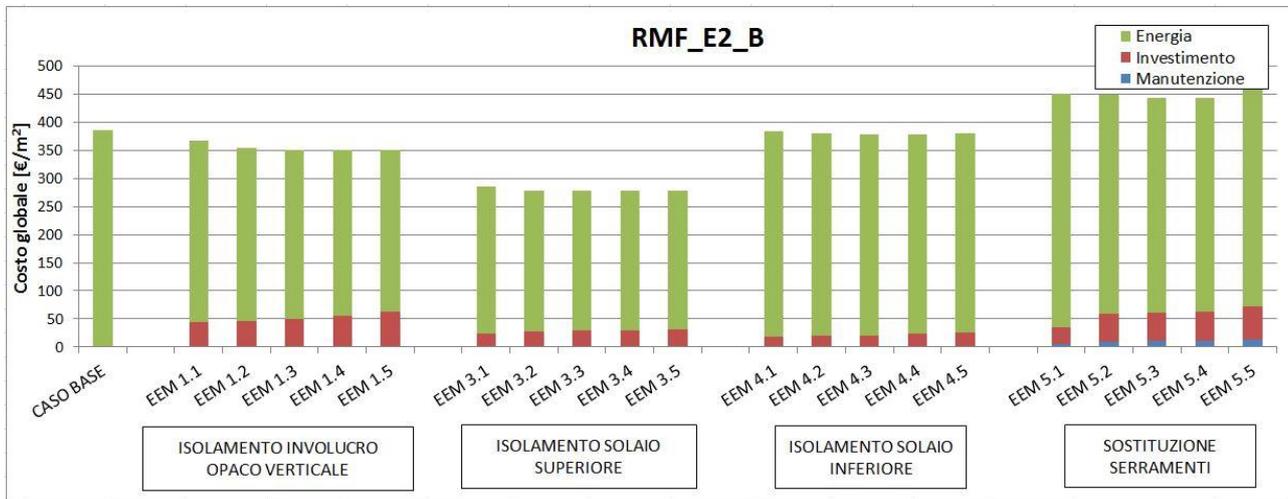
EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE (1946-1976)– ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



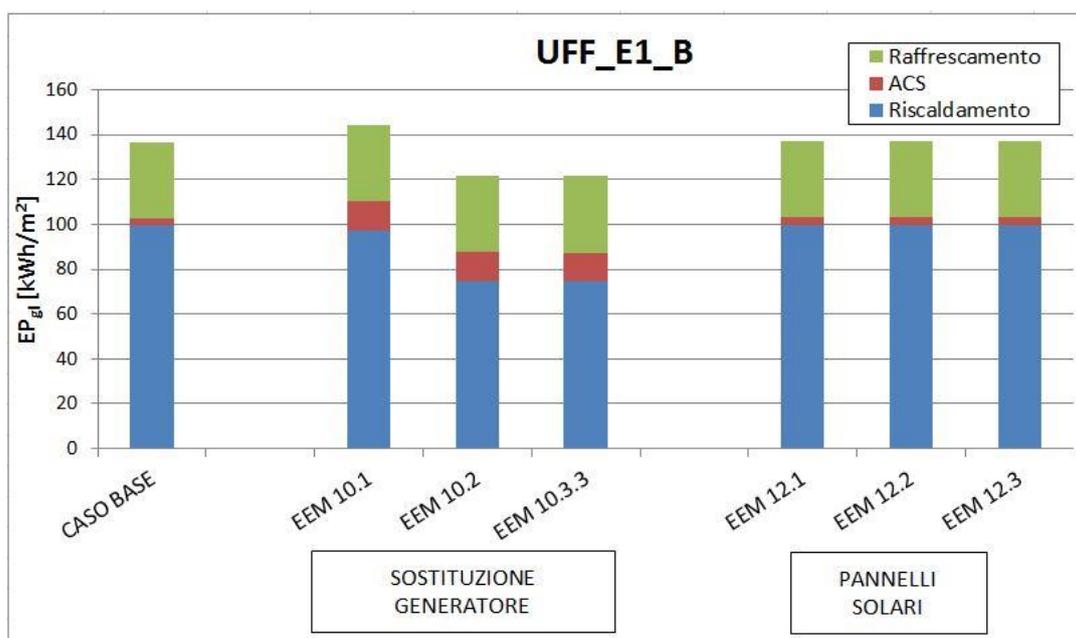
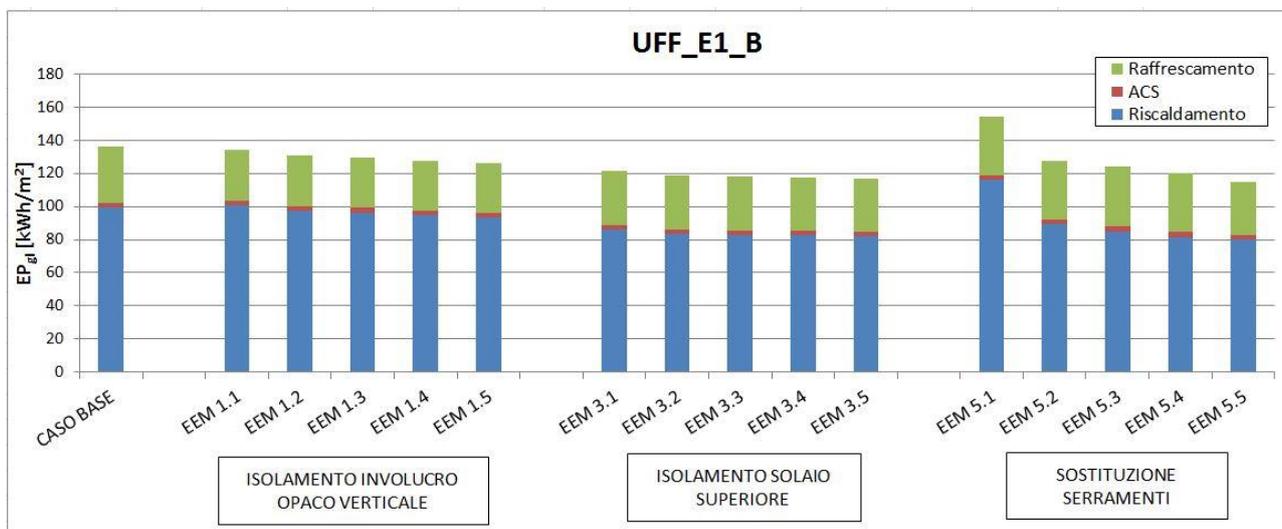


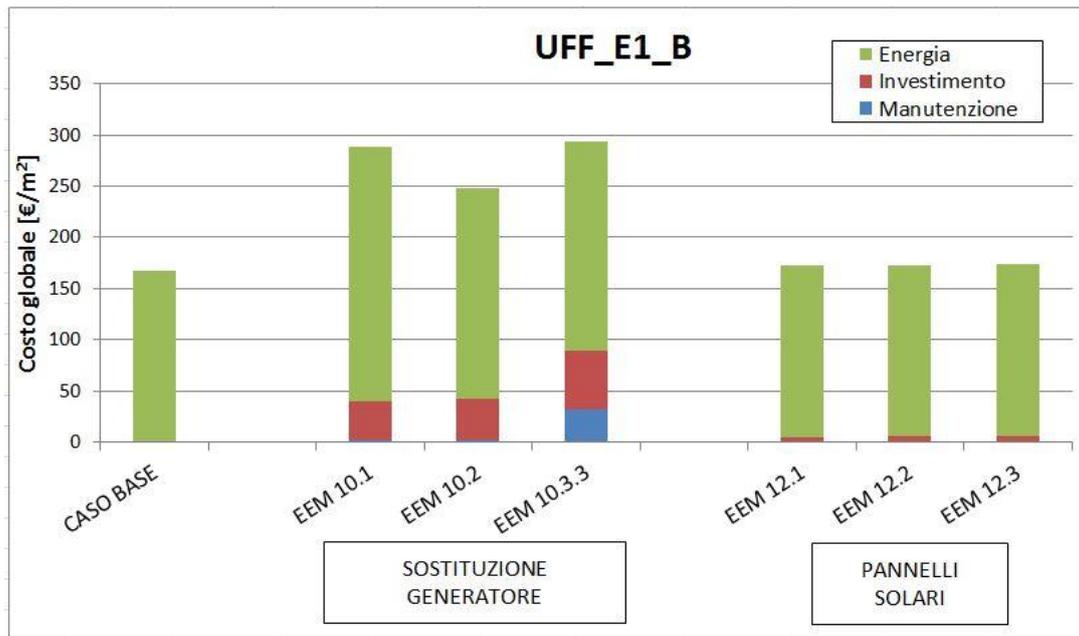
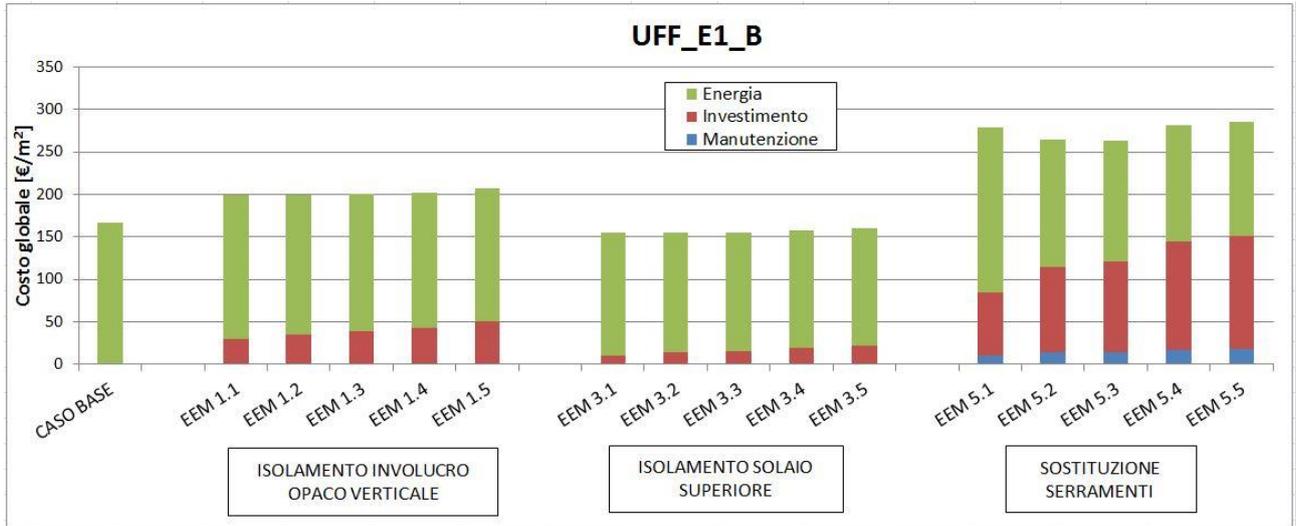
EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE (1977-1990)– ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



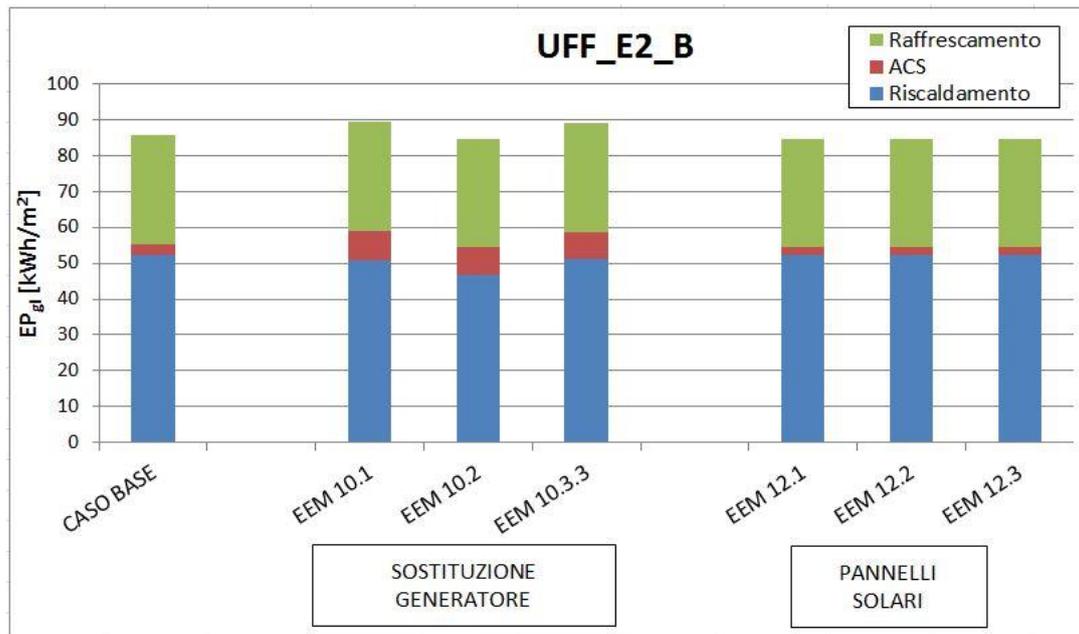
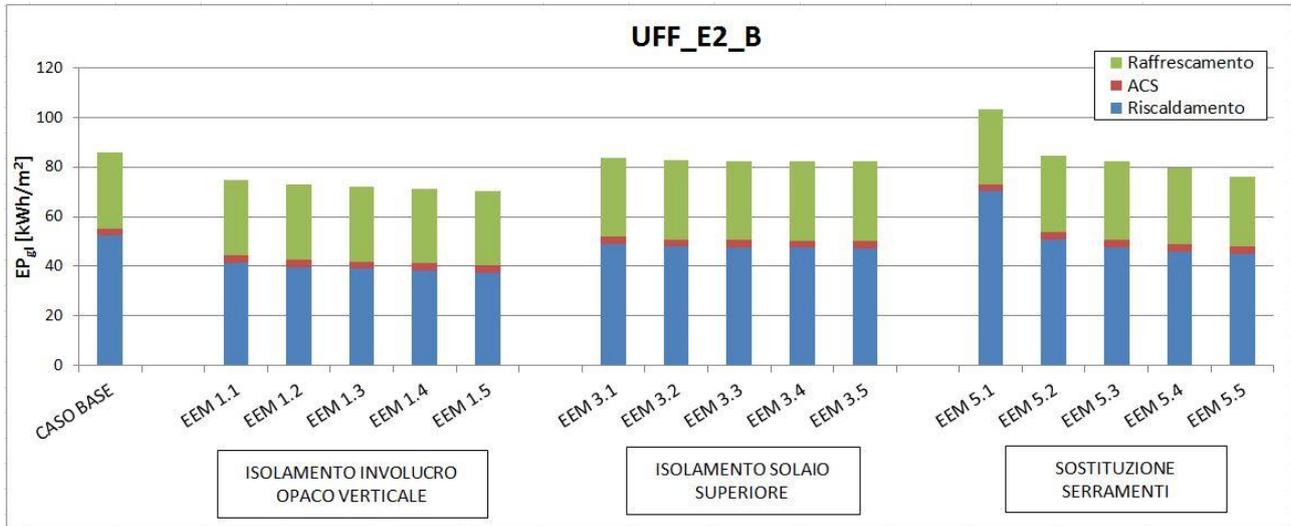


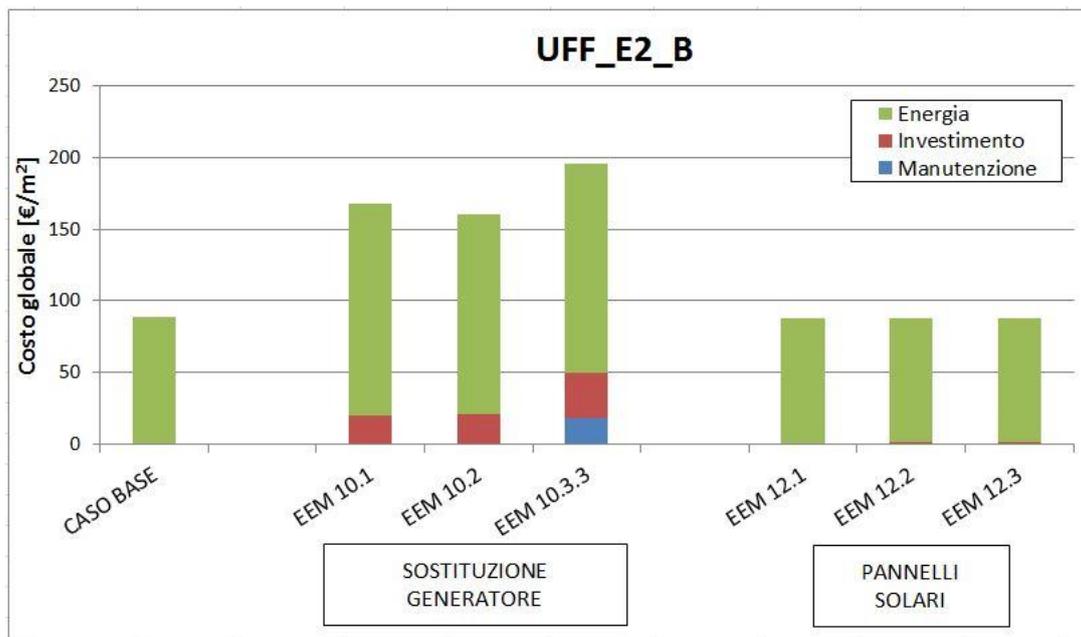
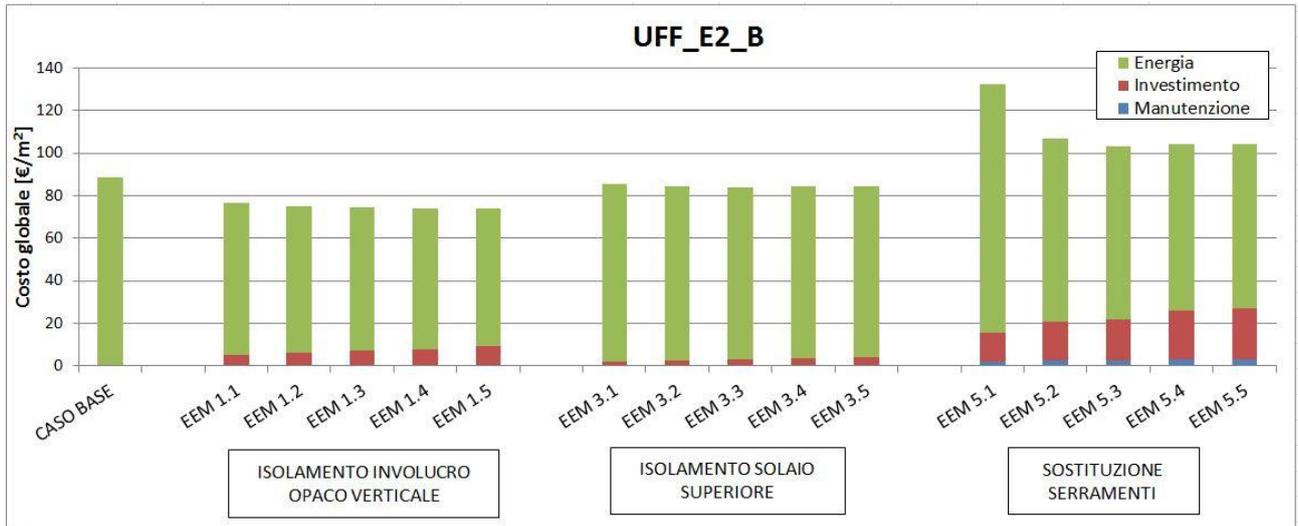
EDIFICIO PER UFFICI (1946-1976) – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)





EDIFICIO PER UFFICI (1977-1990) – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)





2.3.6 Analisi di sensibilità

Oggetto e finalità

La presente analisi costituisce l'ultima fase del precedente progetto ENEA [38]. Per singolo edificio, a partire dal pacchetto di misure di efficienza energetica ottimale ottenuti dal processo cost optimality, si è fatto variare il livello di prestazione EEL per singola misura di riqualificazione EEM e si sono riportati i risultati in termini di energia primaria suddivisa in usi finali (riscaldamento, ACS, raffrescamento e illuminazione per gli uffici) e costo globale suddiviso per singole voci (investimento iniziale, manutenzione, energia). Lo scopo è verificare in termini di costi/benefici lo scostamento dal valore ottimale al variare del livello di efficienza energetica del singolo intervento di riqualificazione.

Risultati

Grafici EEM- EP_{gl}

Le immagini seguenti riportano il valore dell'indice di prestazione energetica globale (EP_{gl}), calcolato per ogni livello prestazionale e per ogni misura di efficienza energetica, in relazione al pacchetto ottimale individuato dal precedente studio [38]. Il livello ottimale è rappresentato dalla prima barra nell'istogramma, e costituisce termine di paragone per tutti gli elementi del grafico riportati di seguito ad essa.

Ogni raggruppamento di barre sul grafico rappresenta una misura di efficienza energetica, ad es. EEM 3 rappresenta la misura numero tre, corrispondente alla misura di isolamento termico della copertura, come descritto al precedente paragrafo 2.3.1. Il numero che segue dopo il trattino nell'intestazione dell'asse delle ascisse indica il livello di efficienza energetica EEL adottato per il calcolo dell'indice di prestazione energetica.

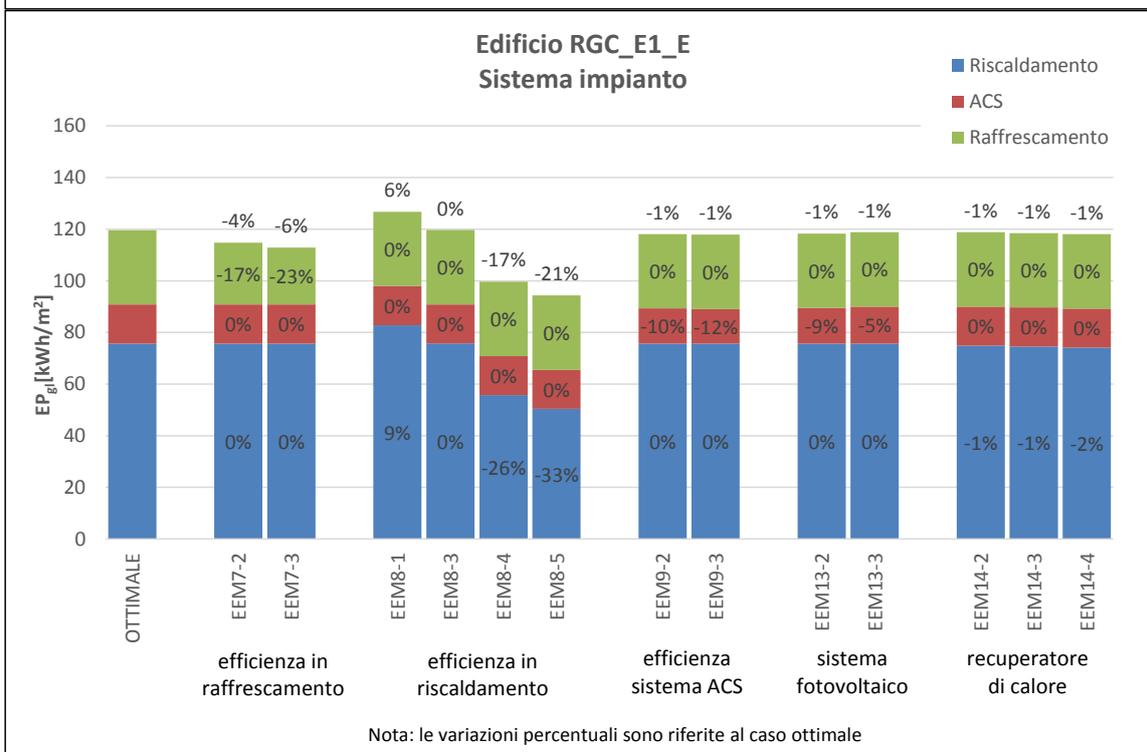
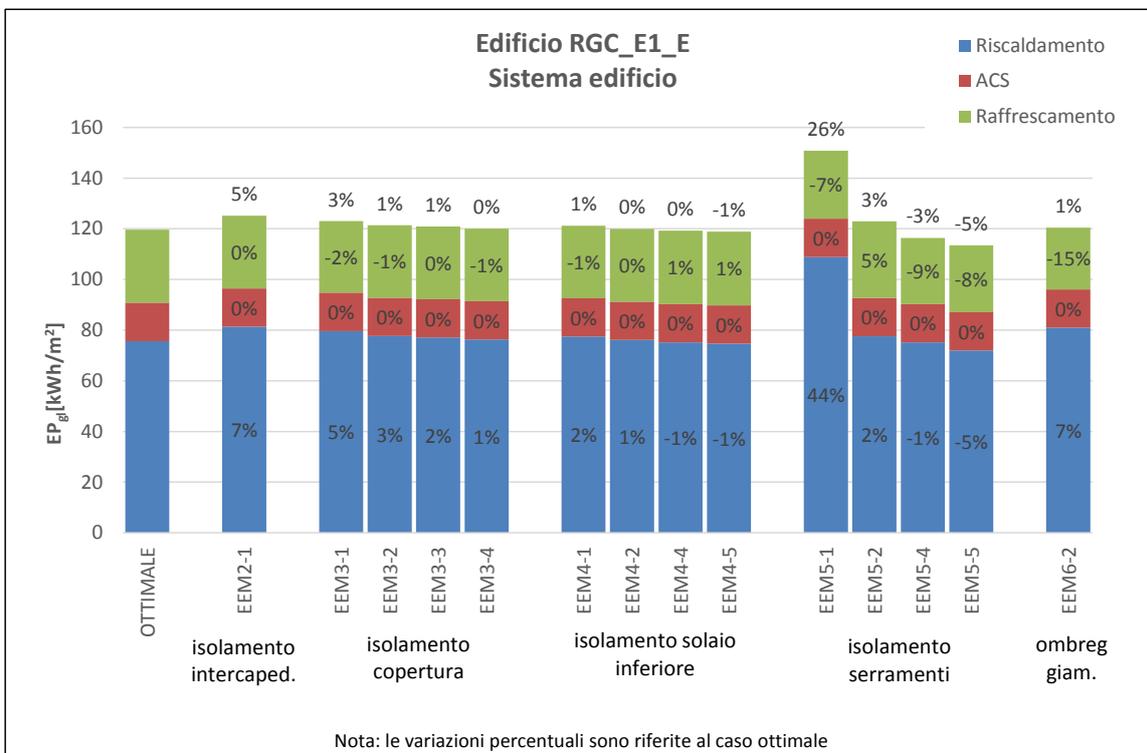
Il valore dell'indice di prestazione energetica calcolato è suddiviso nelle tre quote relative al riscaldamento (EP_i), al raffrescamento (EP_e) e all'acqua calda sanitaria (EP_{ACS}). Il valore dell'indice di prestazione energetica è espresso in kWh/m² di superficie utile.

I valori percentuali espressi per riscaldamento, acs, raffrescamento (al centro di ogni barra) e globale (riportato sulla sommità della barra) fanno riferimento alla variazione percentuale rispetto al caso ottimale dell'indice di prestazione energetica riportato in ordinata.

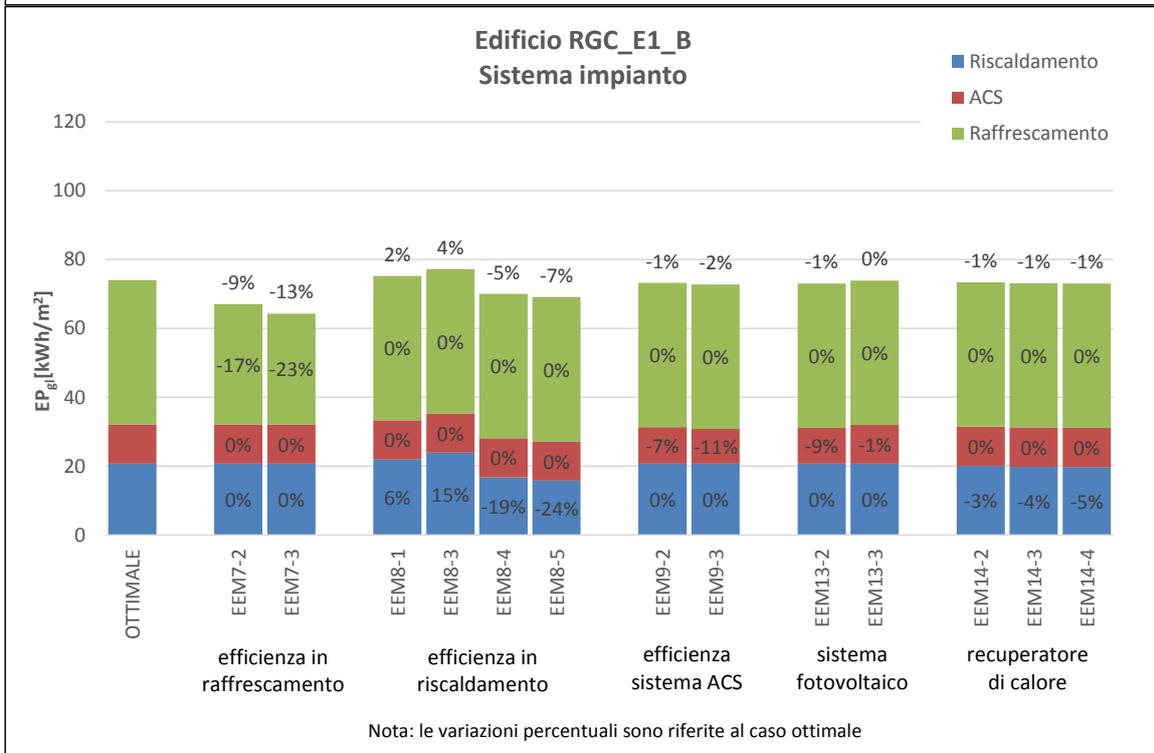
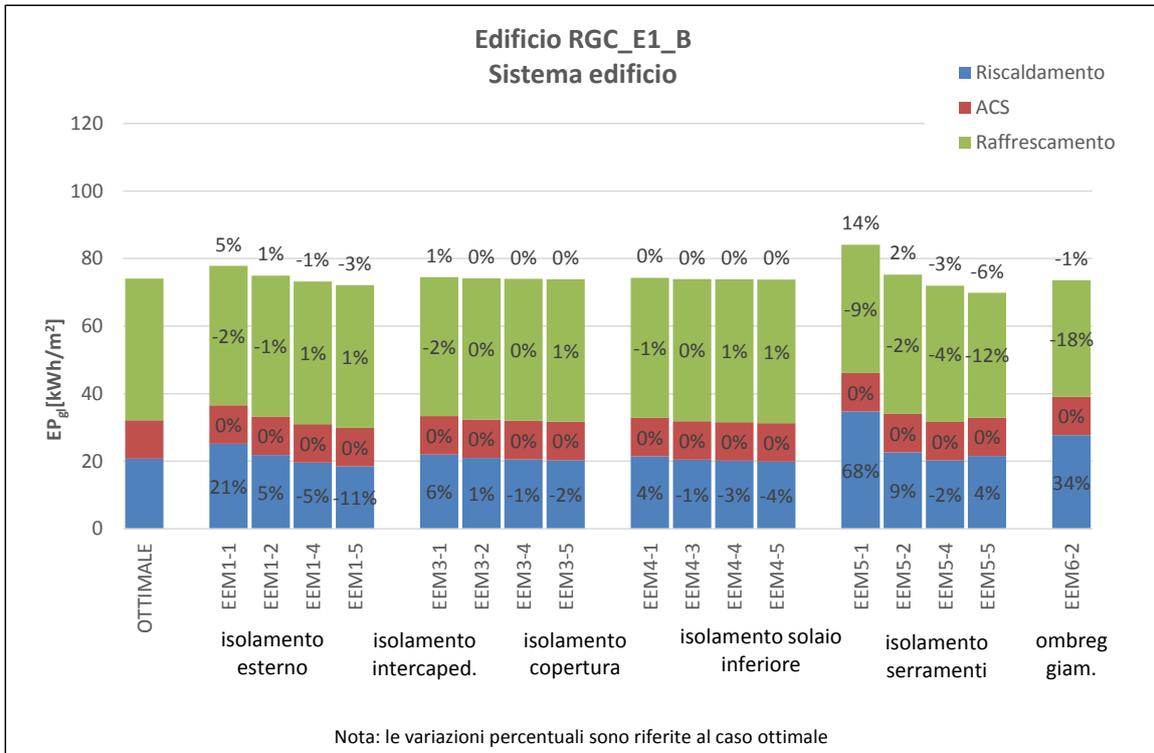
Per facilità di rappresentazione le misure di efficienza energetica sono state raggruppate in due sottoinsiemi, e sono riportate in due figure per ogni caso studio: un primo grafico è relativo alle misure che coinvolgono l'involucro edilizio, e il secondo alle misure che riguardano il sistema impianto.

Come si nota dai grafici seguenti, le barre dell'istogramma rappresentative del livello prestazionale i-esimo relativo alla j-esima misura di efficienza energetica sono per la maggior parte più alte della barra "Ottimale". Questo evidenzia l'incremento del valore di indice di prestazione energetica globale rispetto alla soluzione ottimale individuata dal precedente studio, ovvero un peggioramento della prestazione energetica. Si noterà che alcuni livelli di prestazione relativi ad alcune EEM rappresentano un miglioramento della prestazione energetica rispetto al caso ottimale e riportano delle percentuali negative ma presentano un livello di costo maggiore rispetto al livello ottimale.

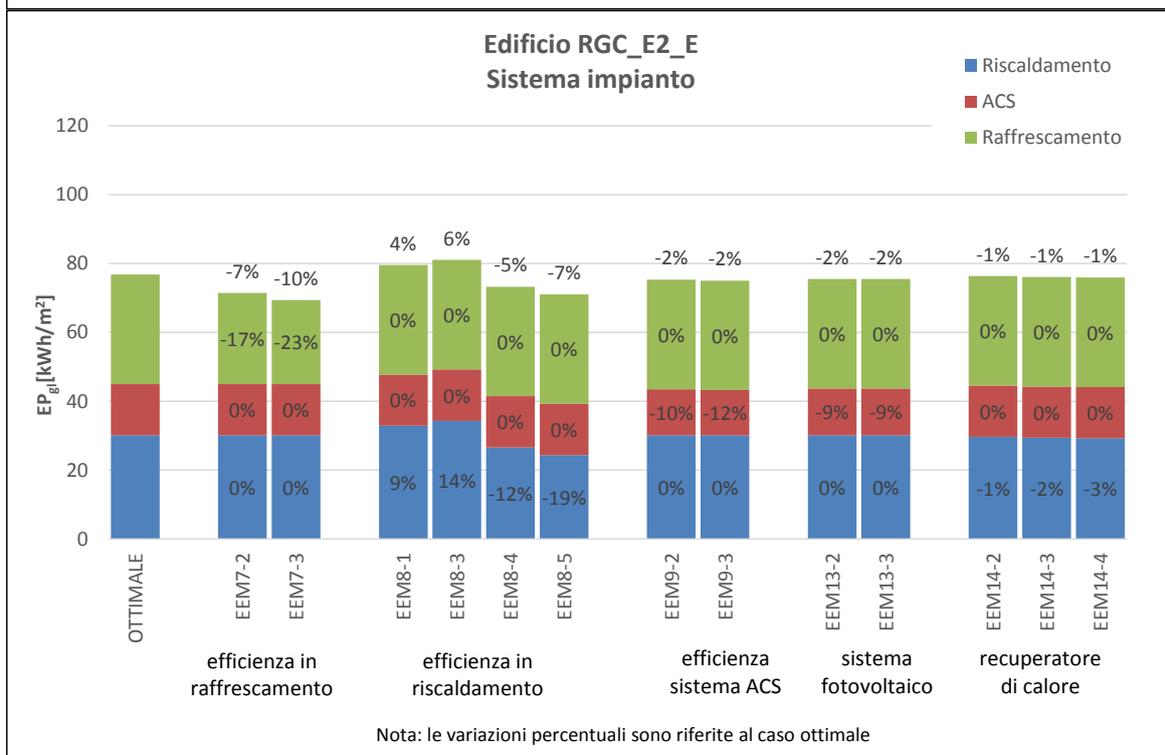
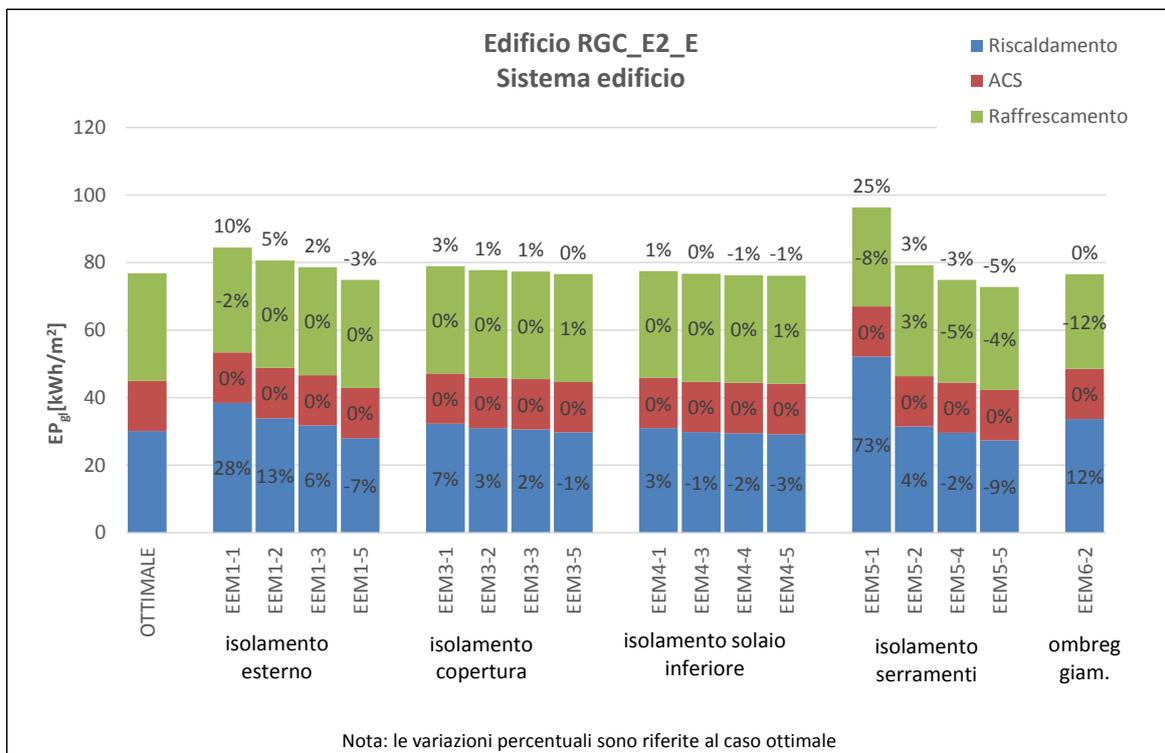
EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO (1946-1976) – ZONA CLIMATICA E (MILANO)



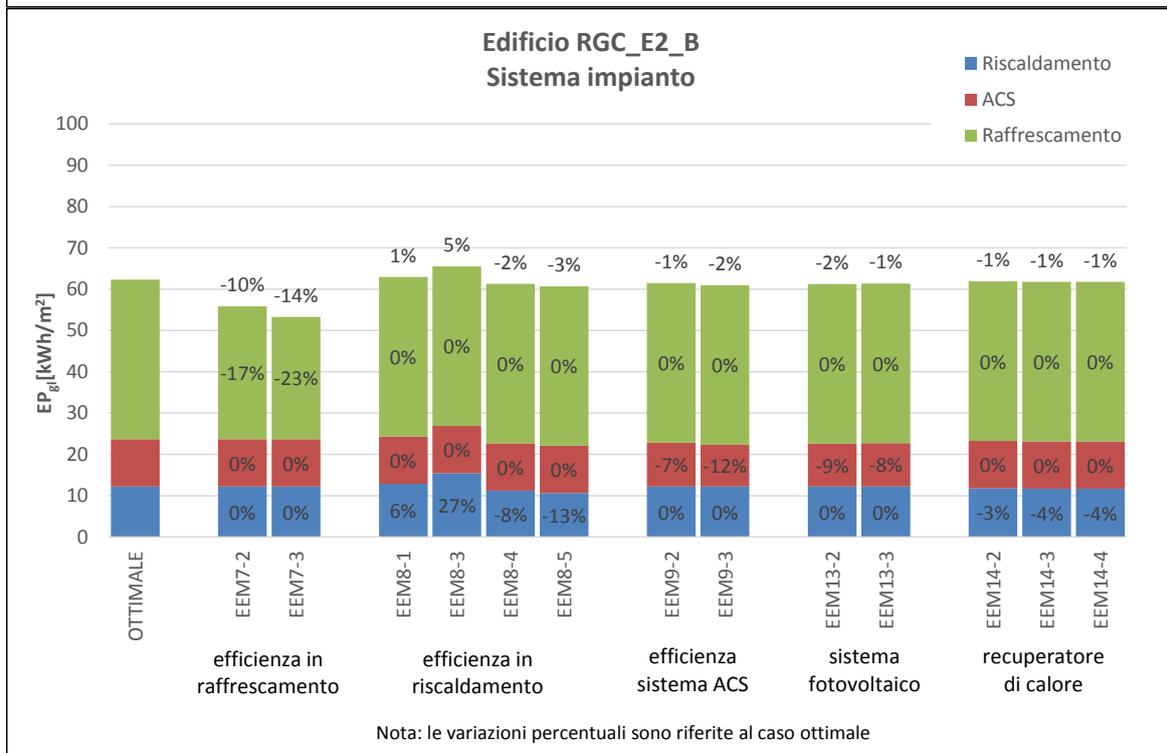
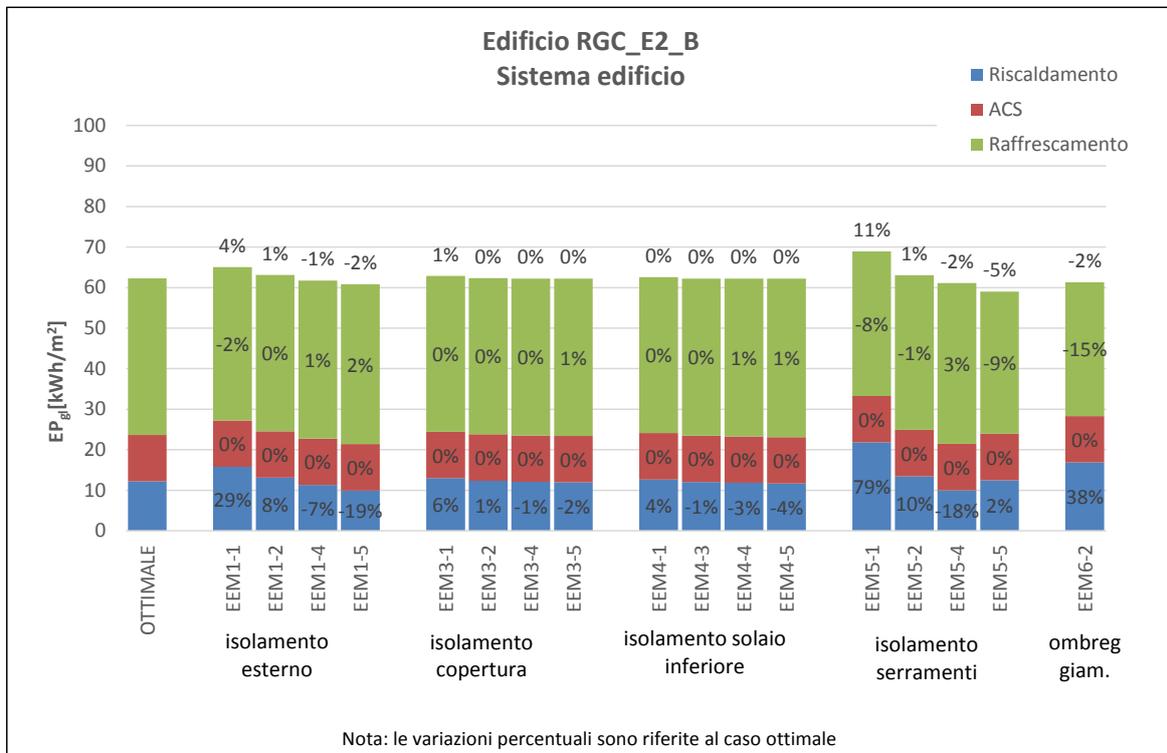
EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO (1946-1976) – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



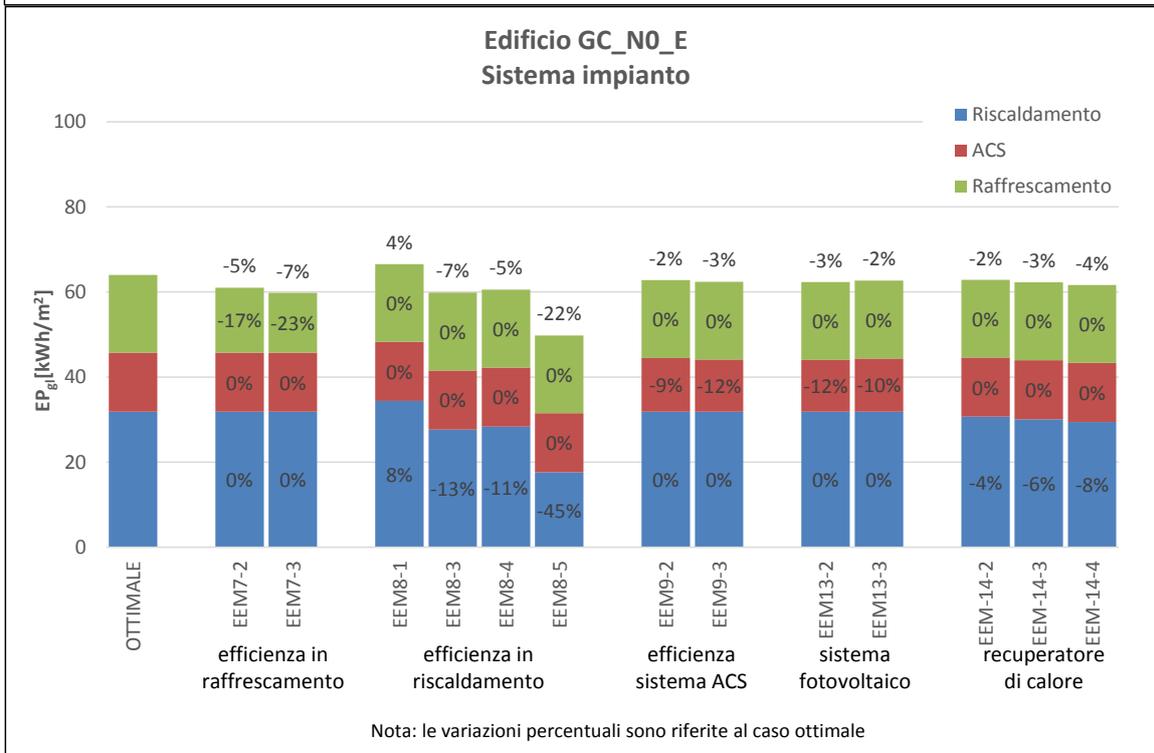
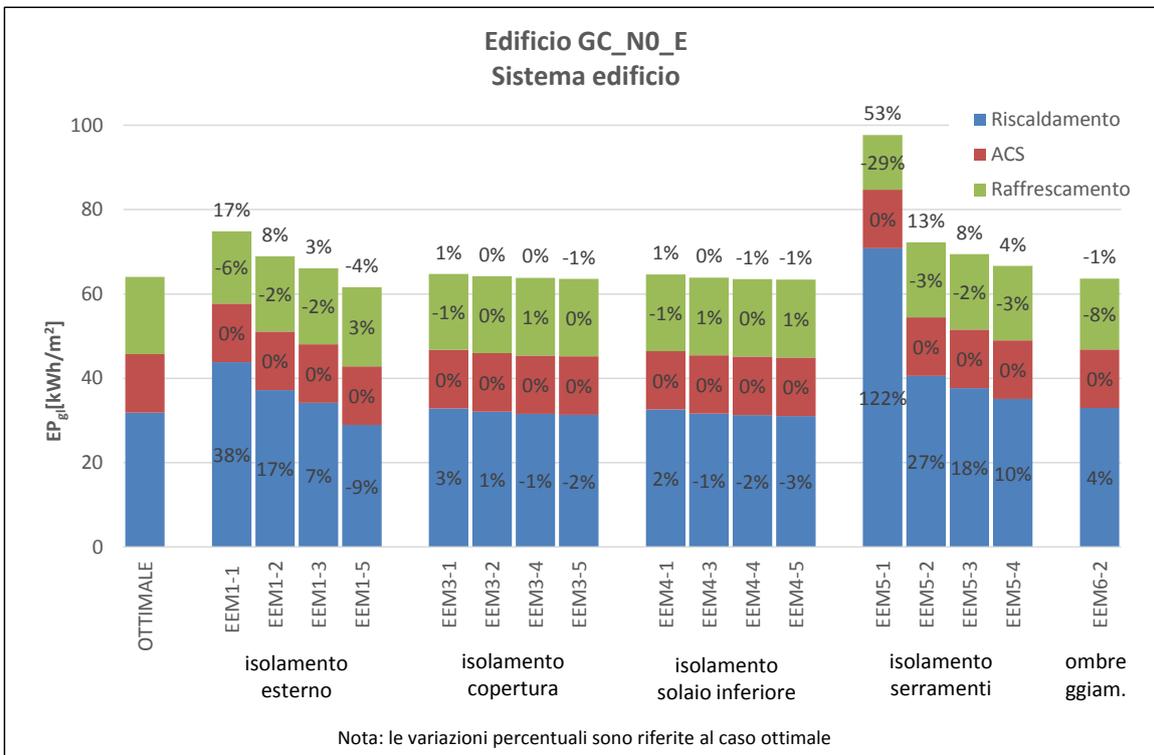
EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO (1977-1990) – ZONA CLIMATICA E (MILANO)



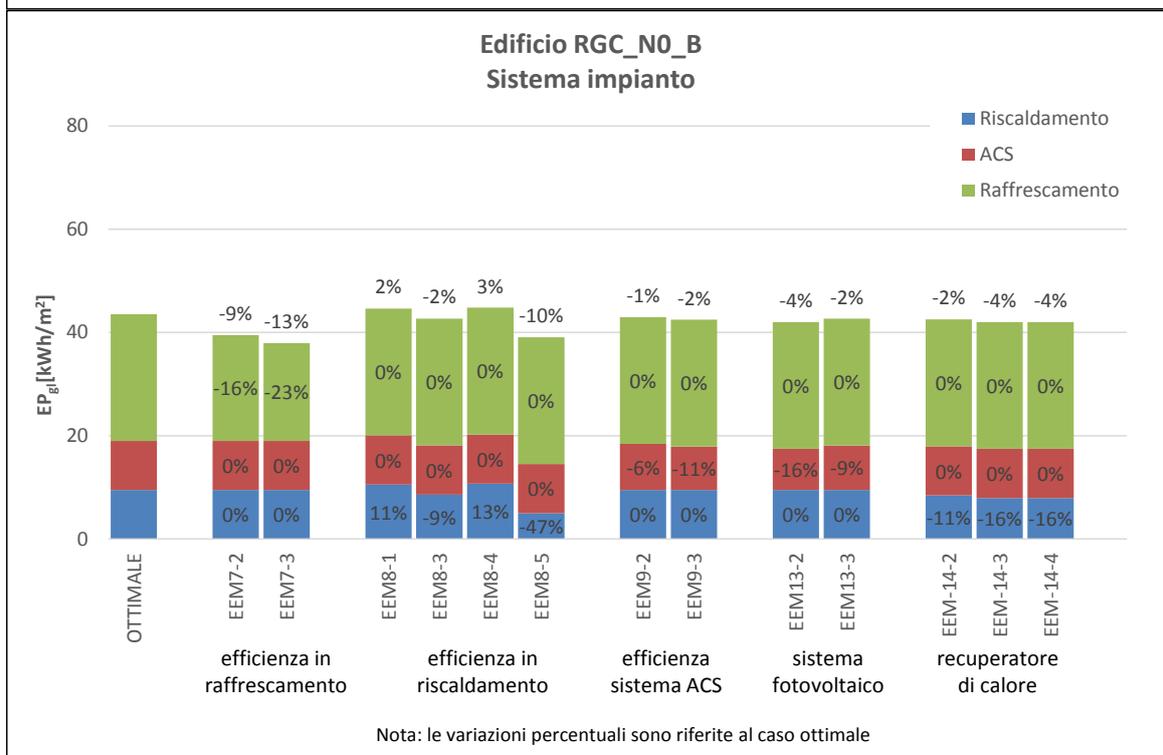
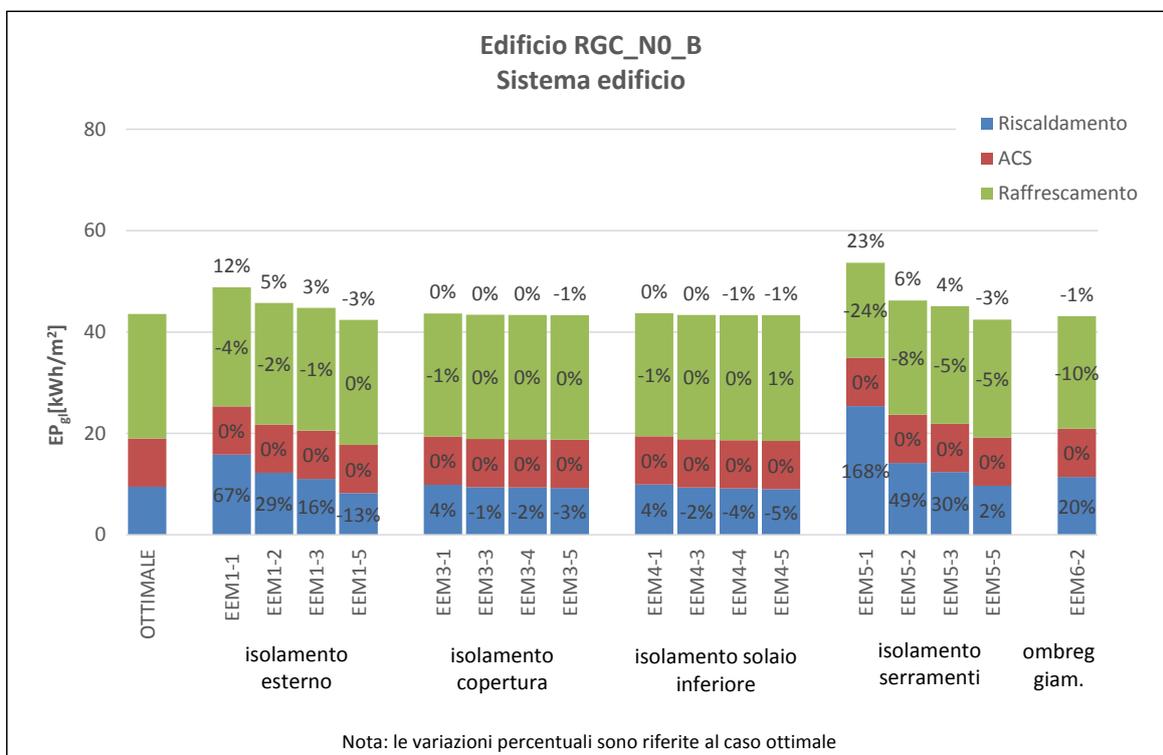
EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO (1977-1990) – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



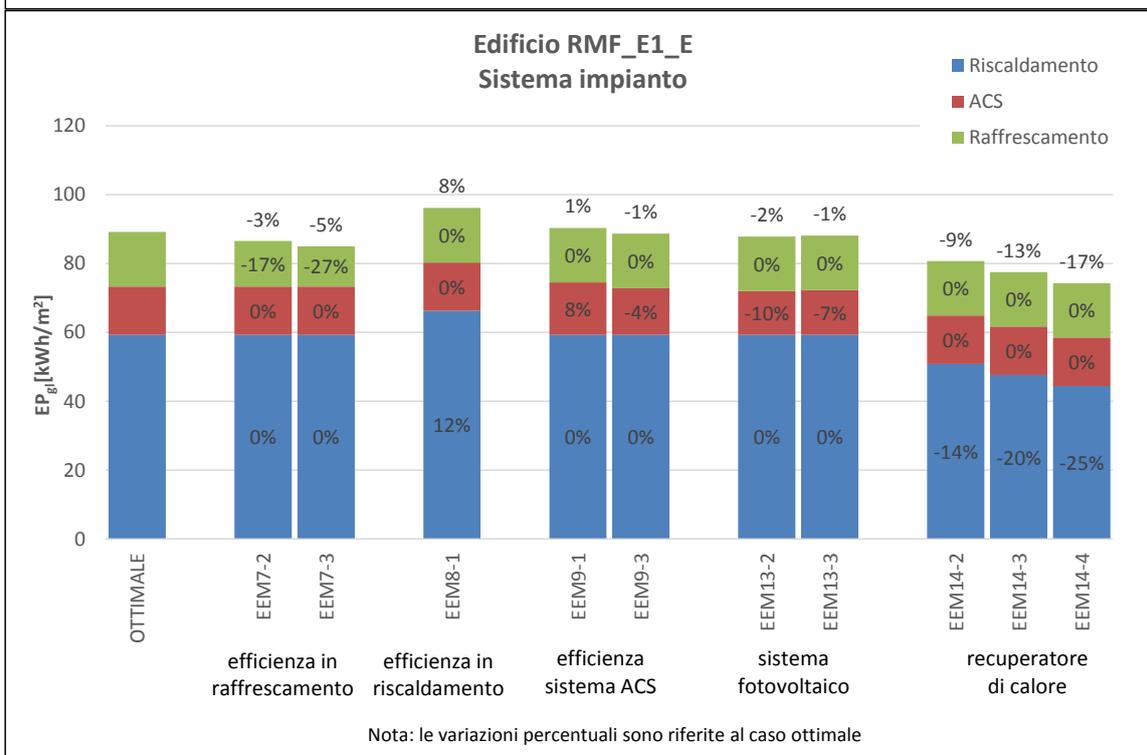
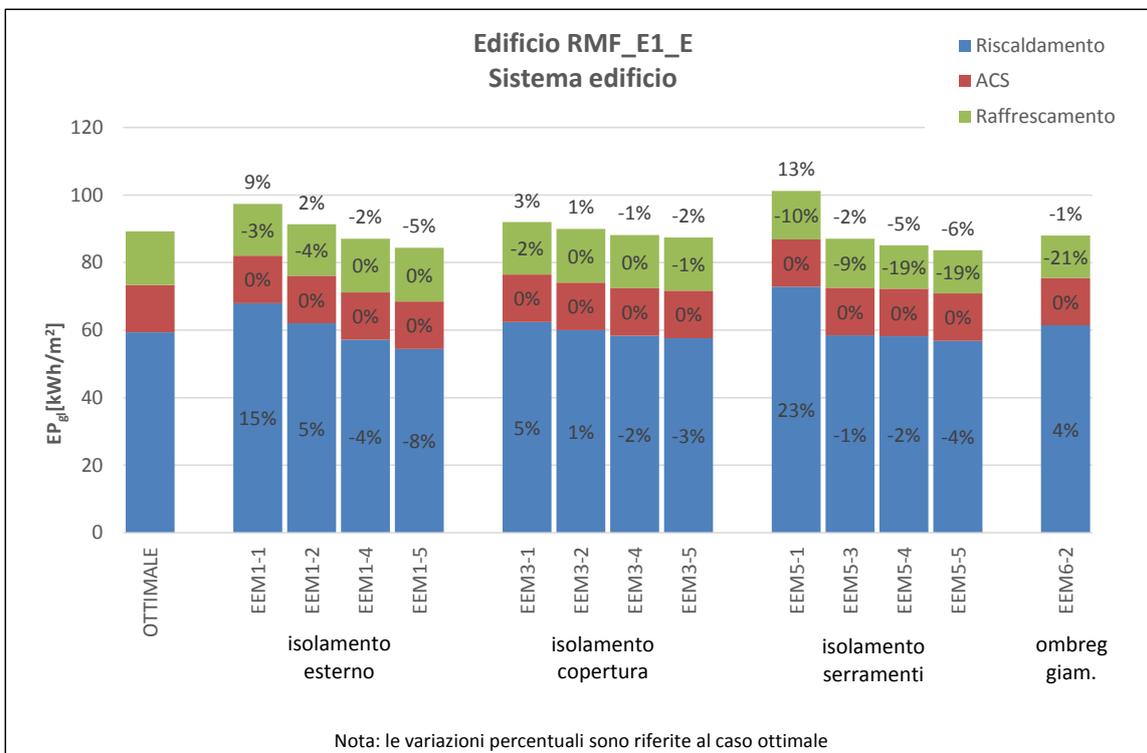
EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO NUOVO – ZONA CLIMATICA E (MILANO)



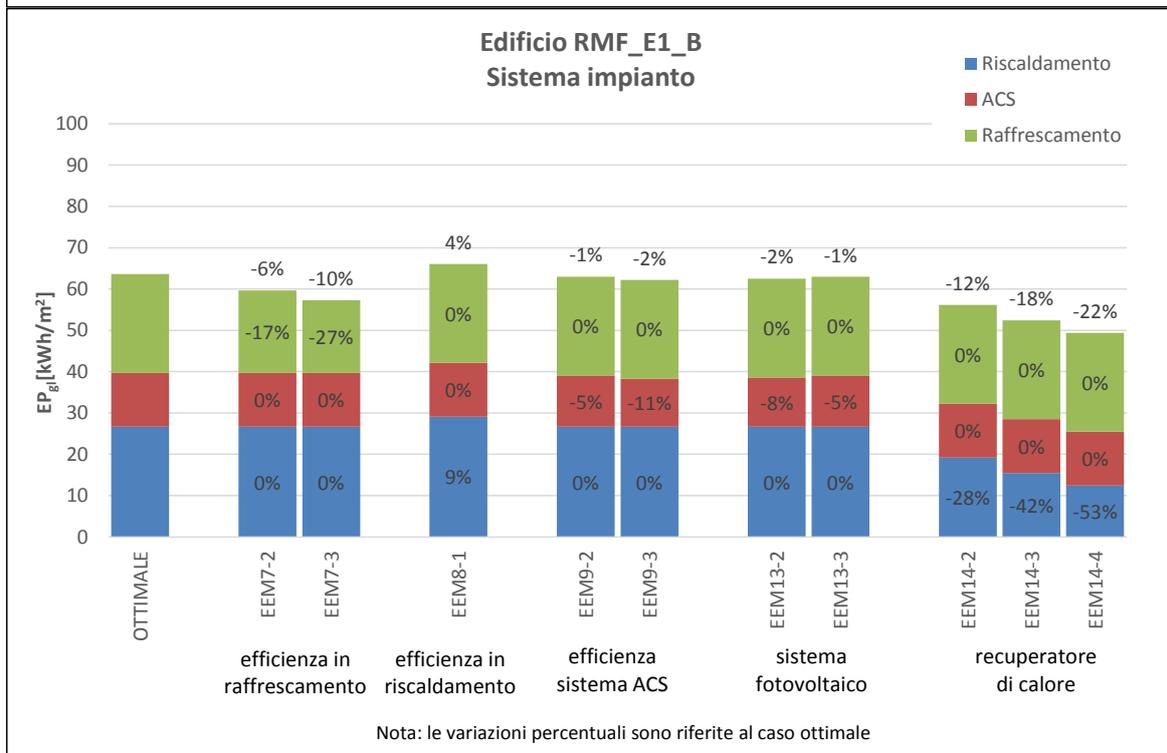
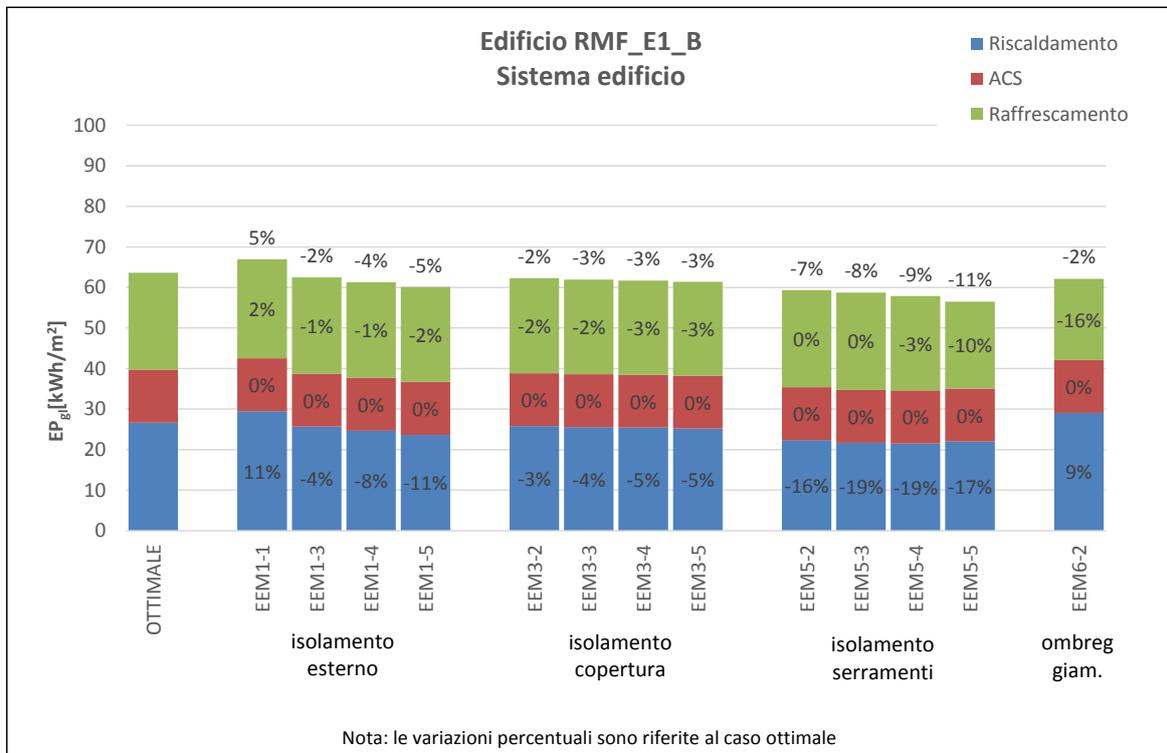
EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO NUOVO – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



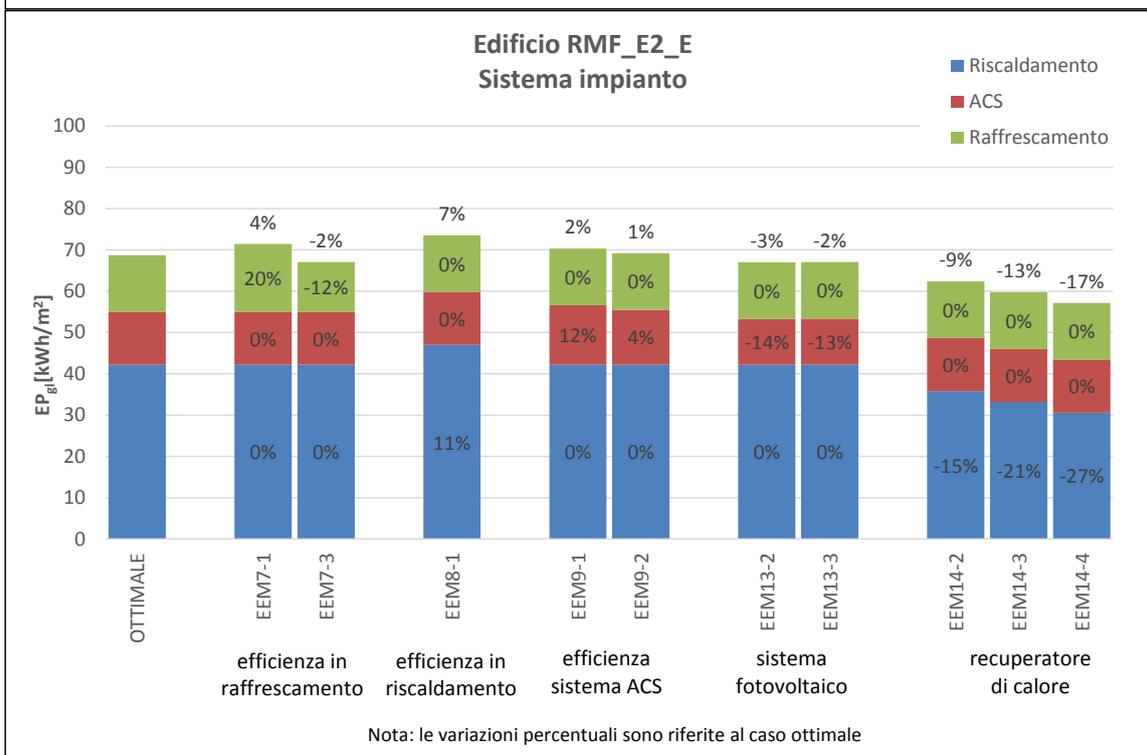
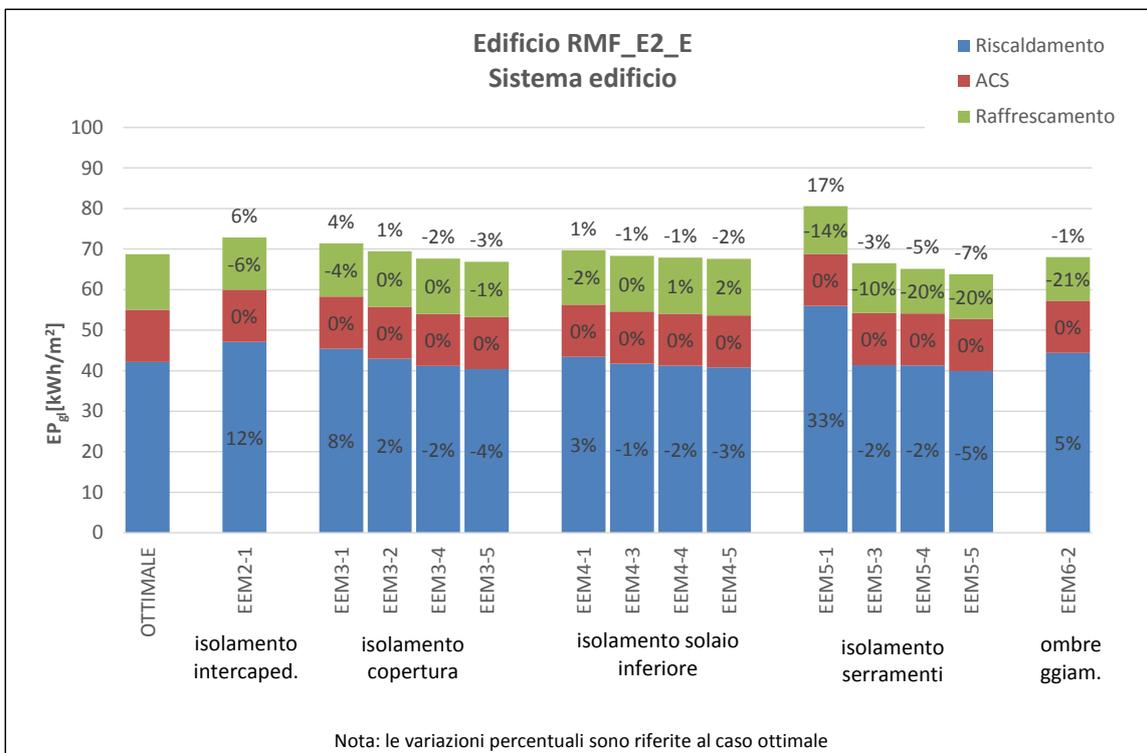
EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE (1946-1976)– ZONA CLIMATICA E (MILANO)



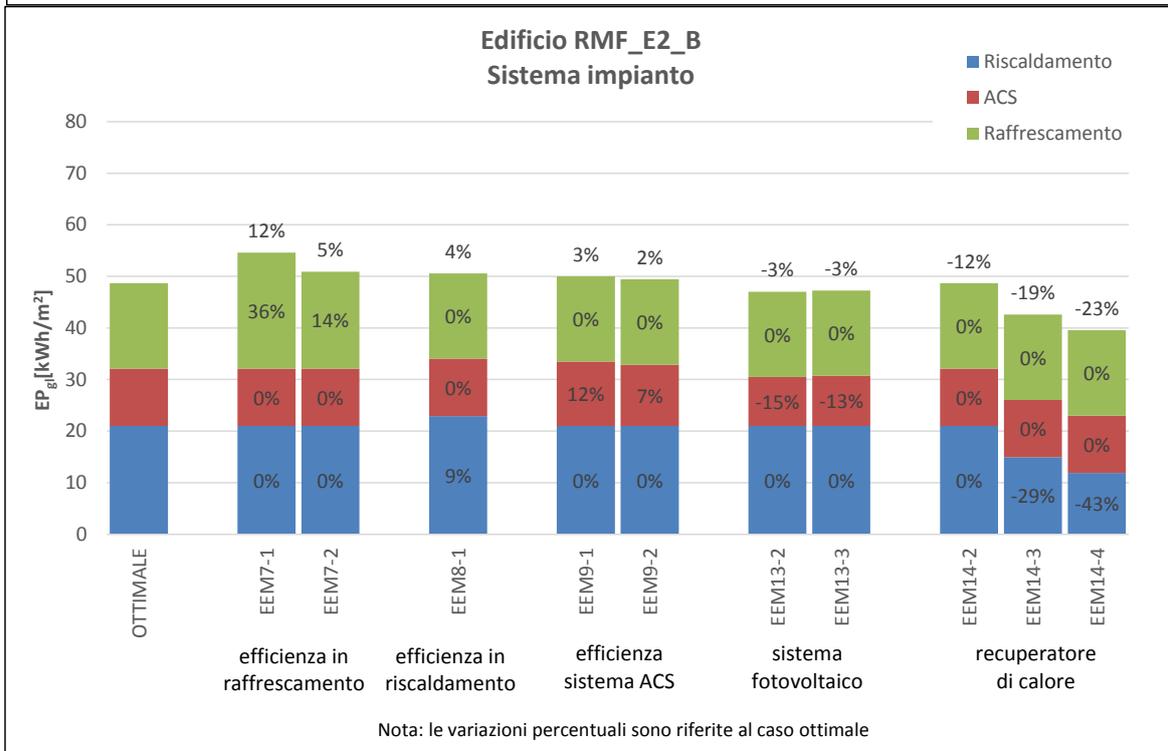
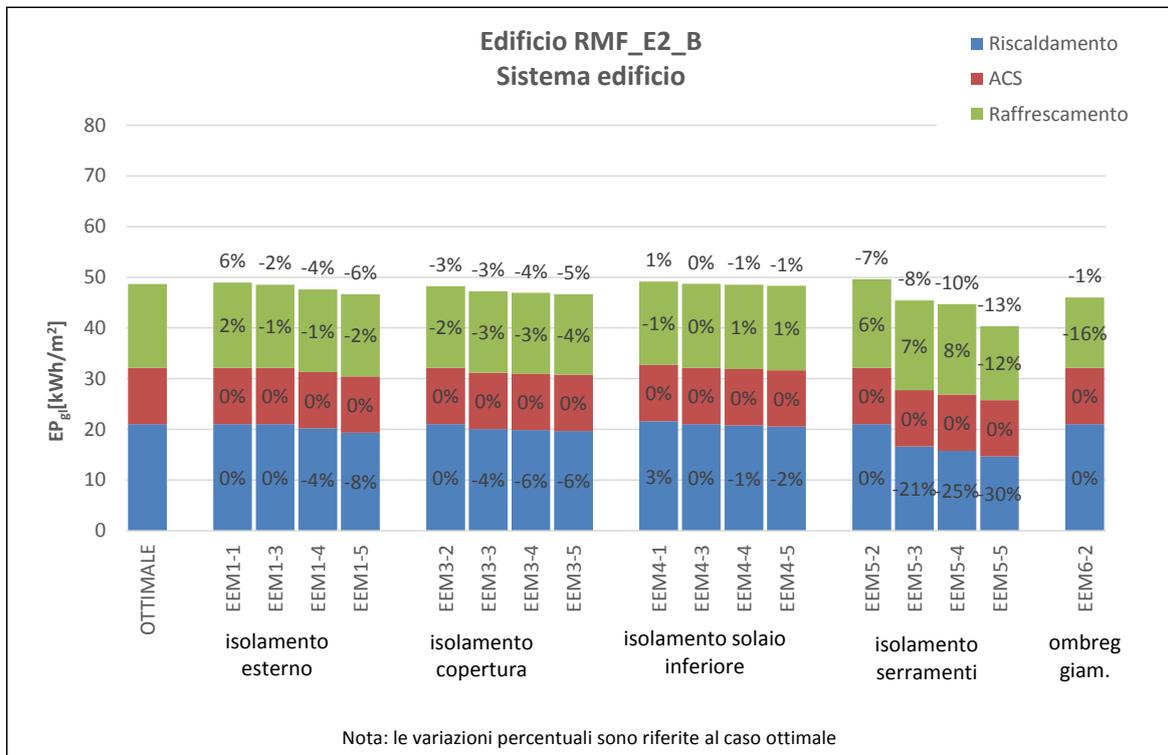
EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE (1946-1976)– ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



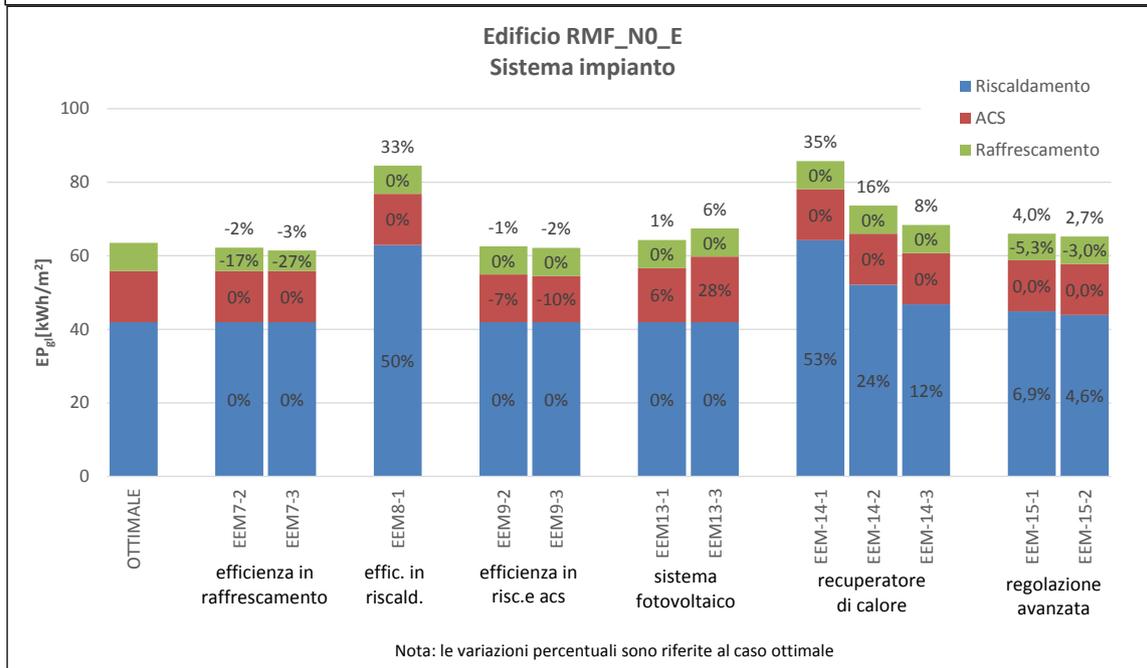
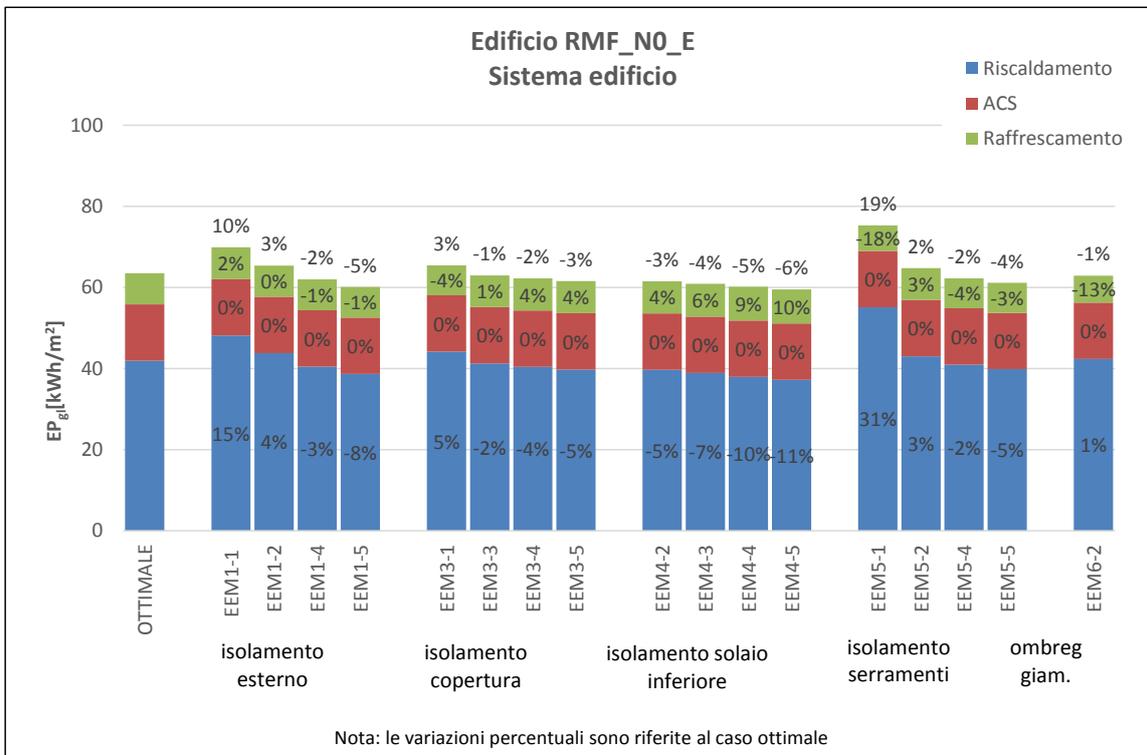
EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE (1977-1990)– ZONA CLIMATICA E (MILANO)



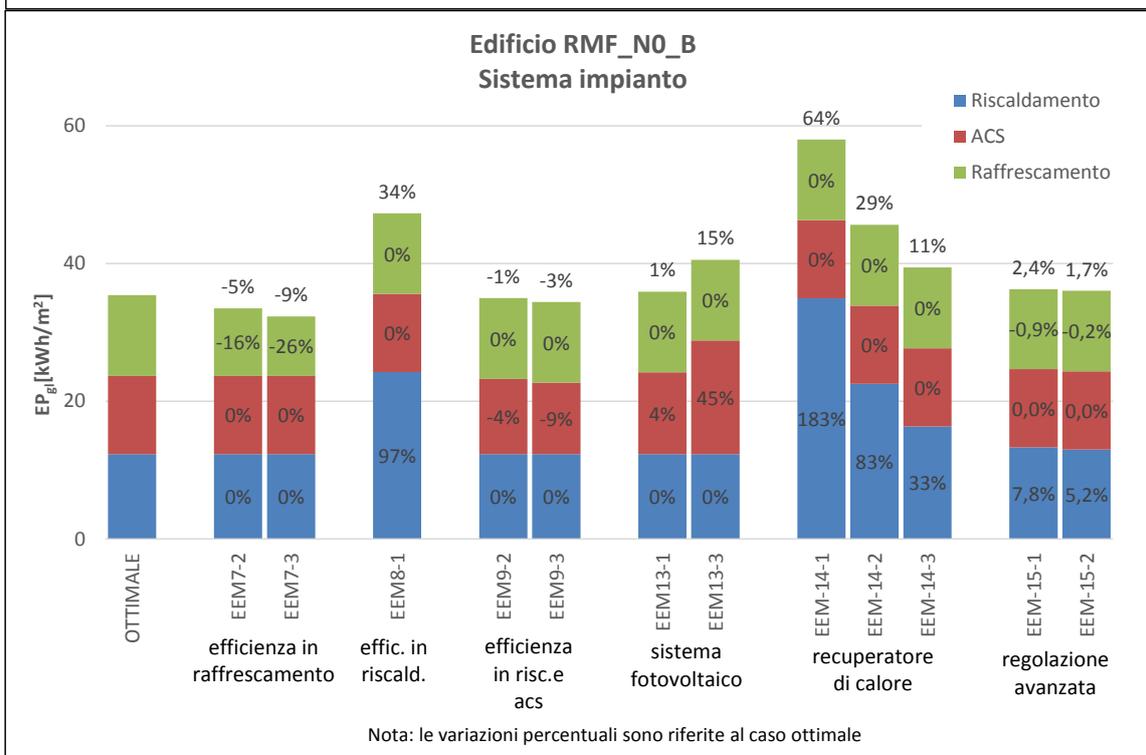
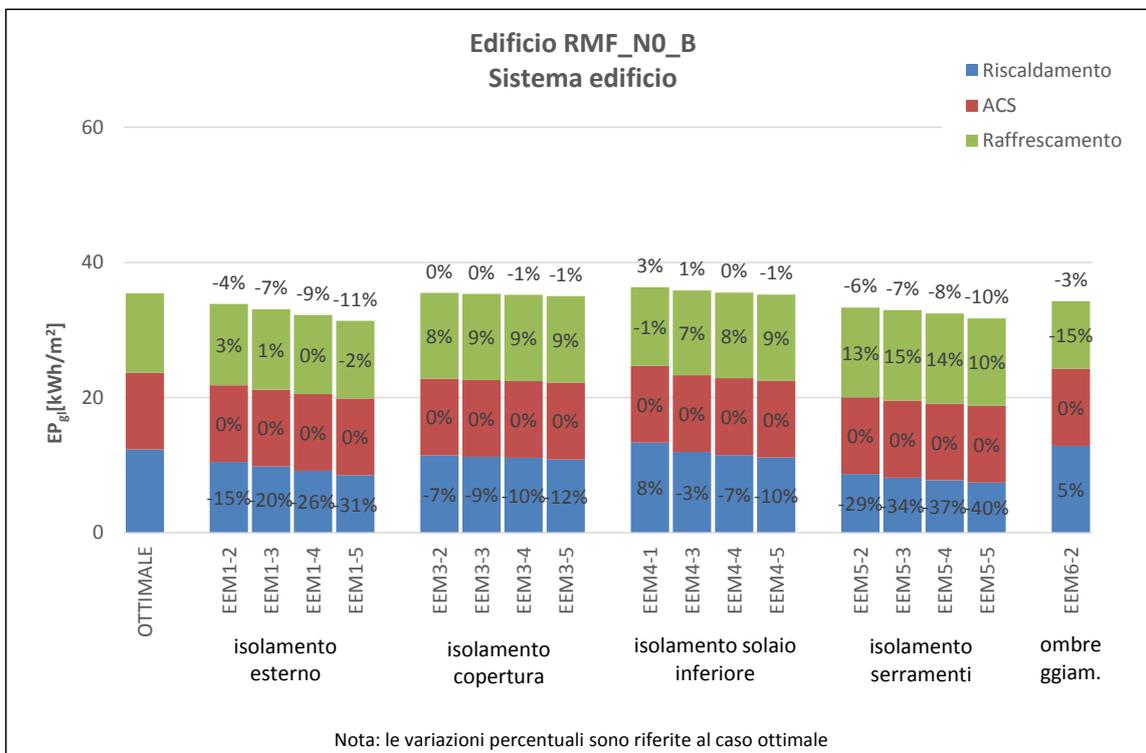
EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE (1977-1990)– ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



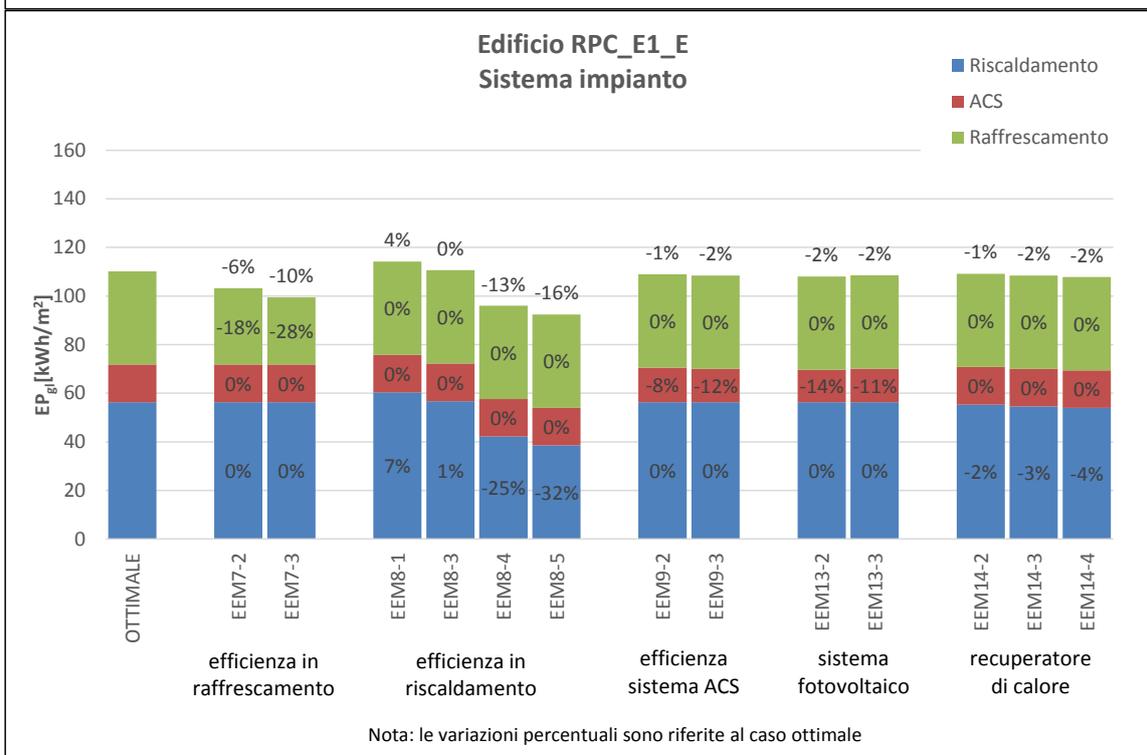
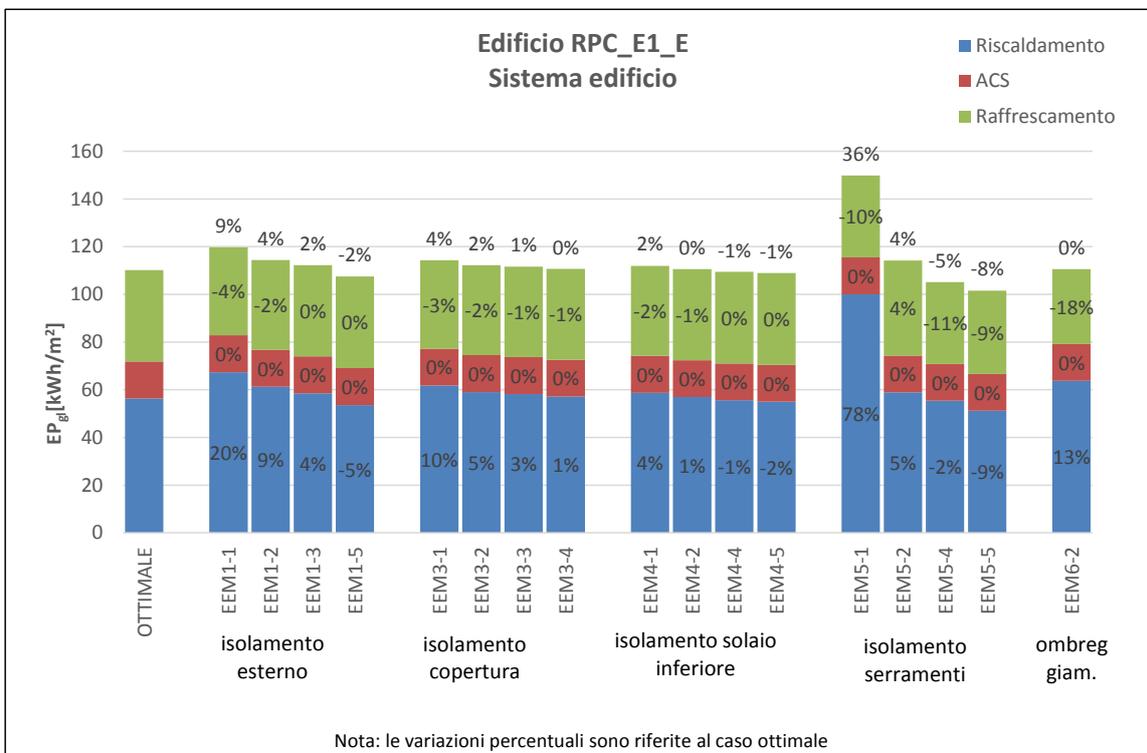
EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE NUOVO - ZONA CLIMATICA E (MILANO)



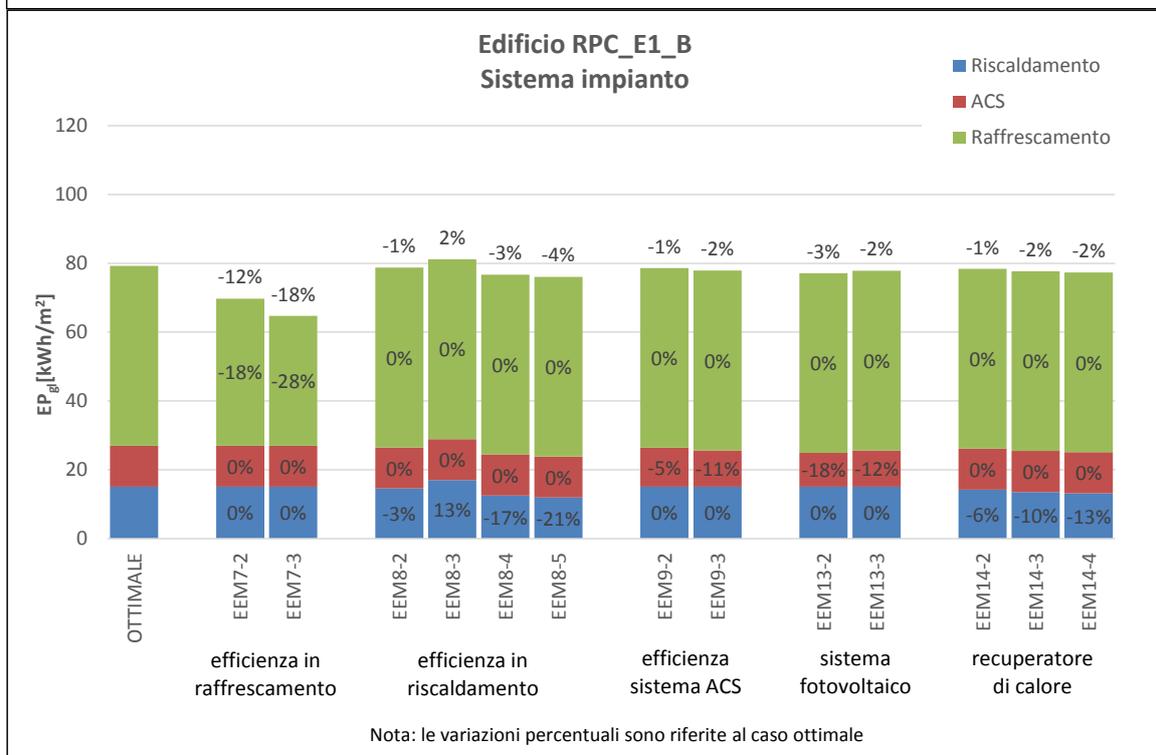
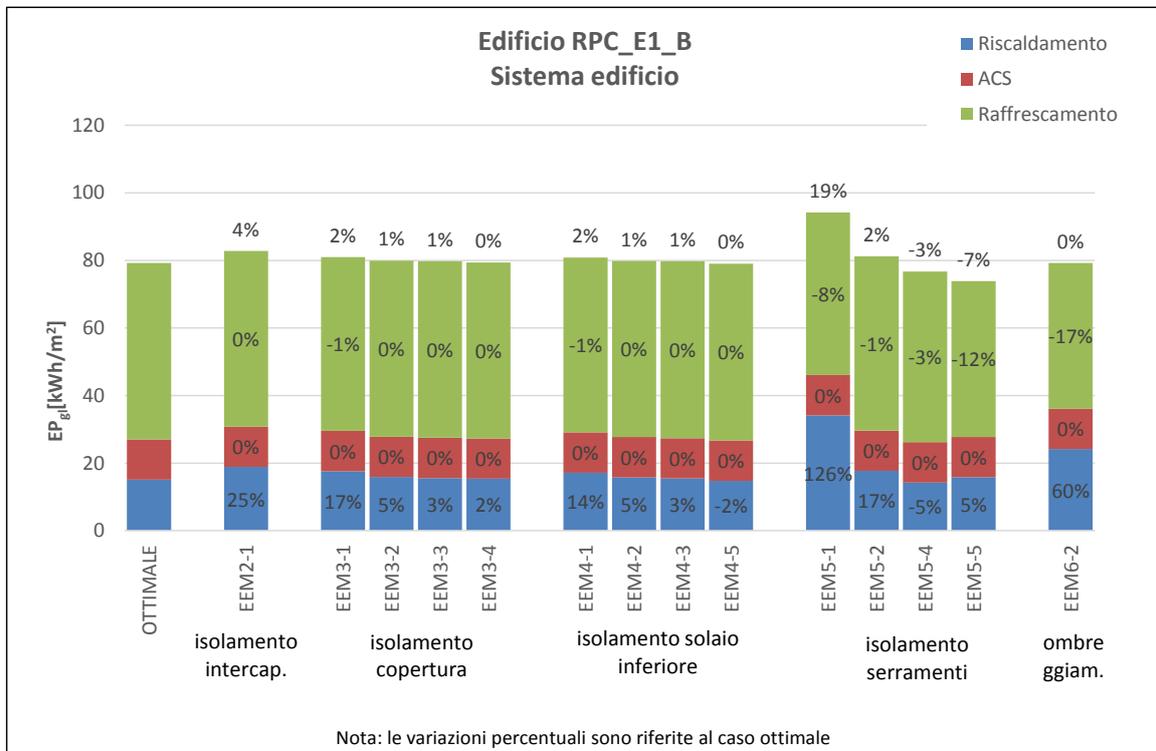
EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE NUOVO - ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



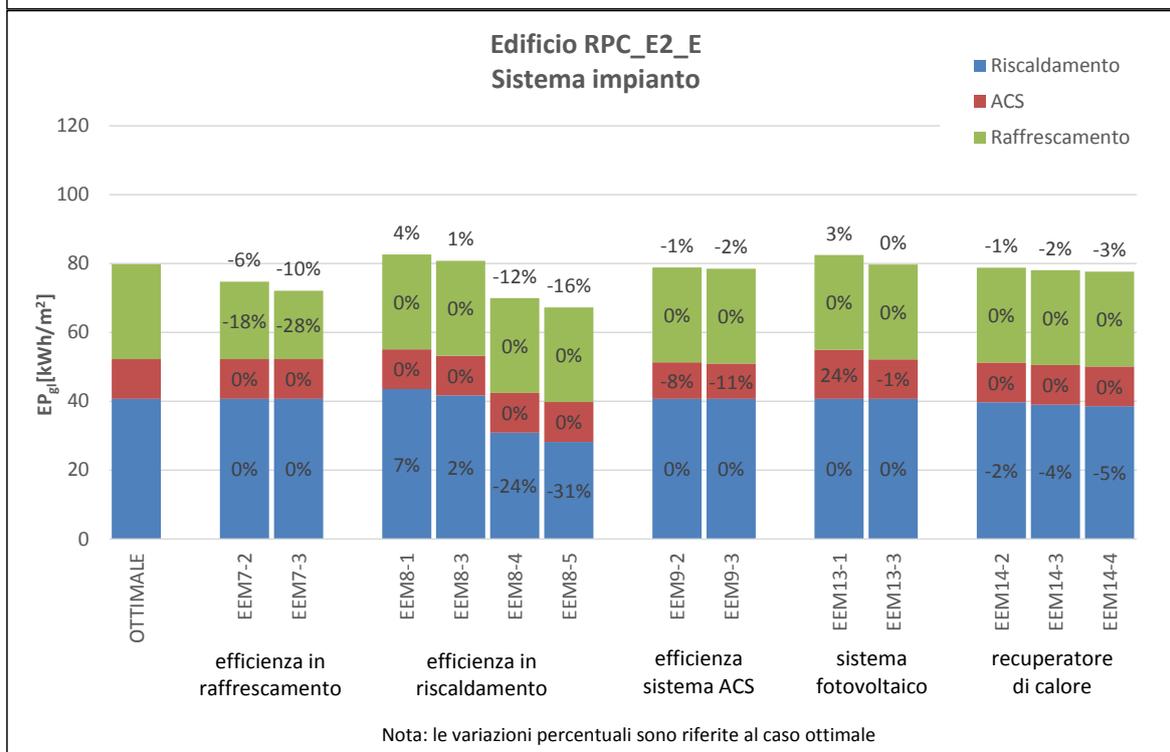
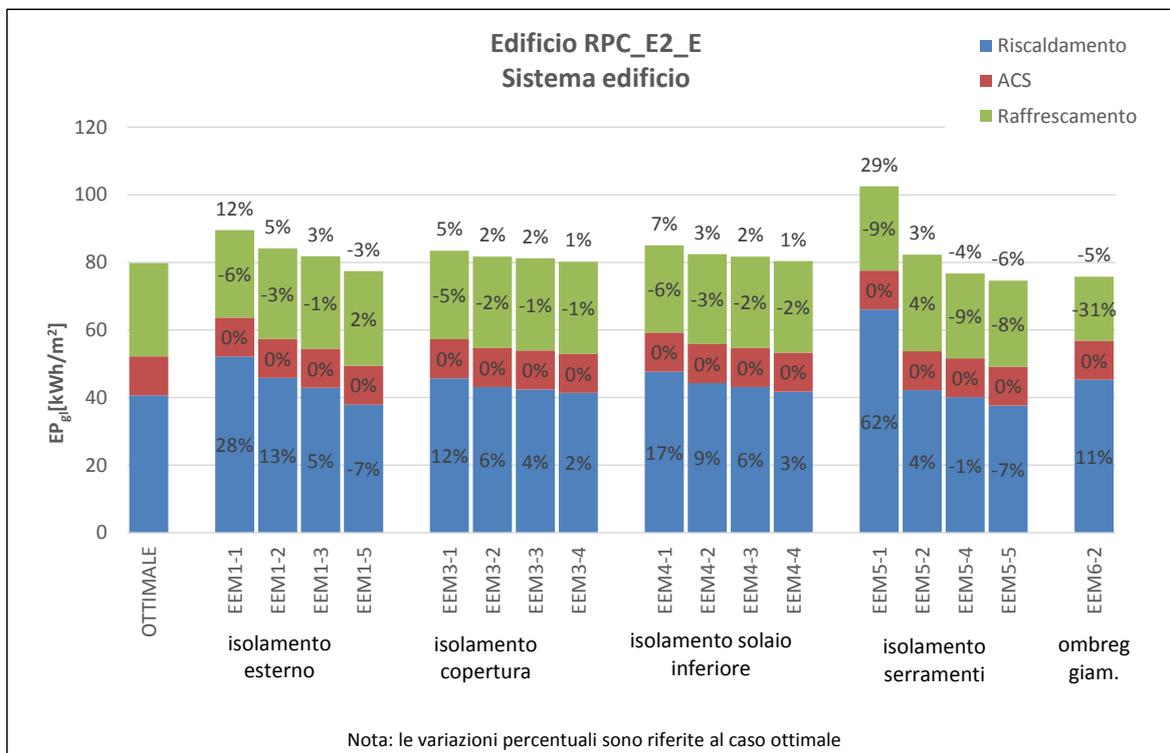
EDIFICIO RESIDENZIALE PICCOLO CONDOMINIO (1946-1976) - ZONA CLIMATICA E (MILANO)



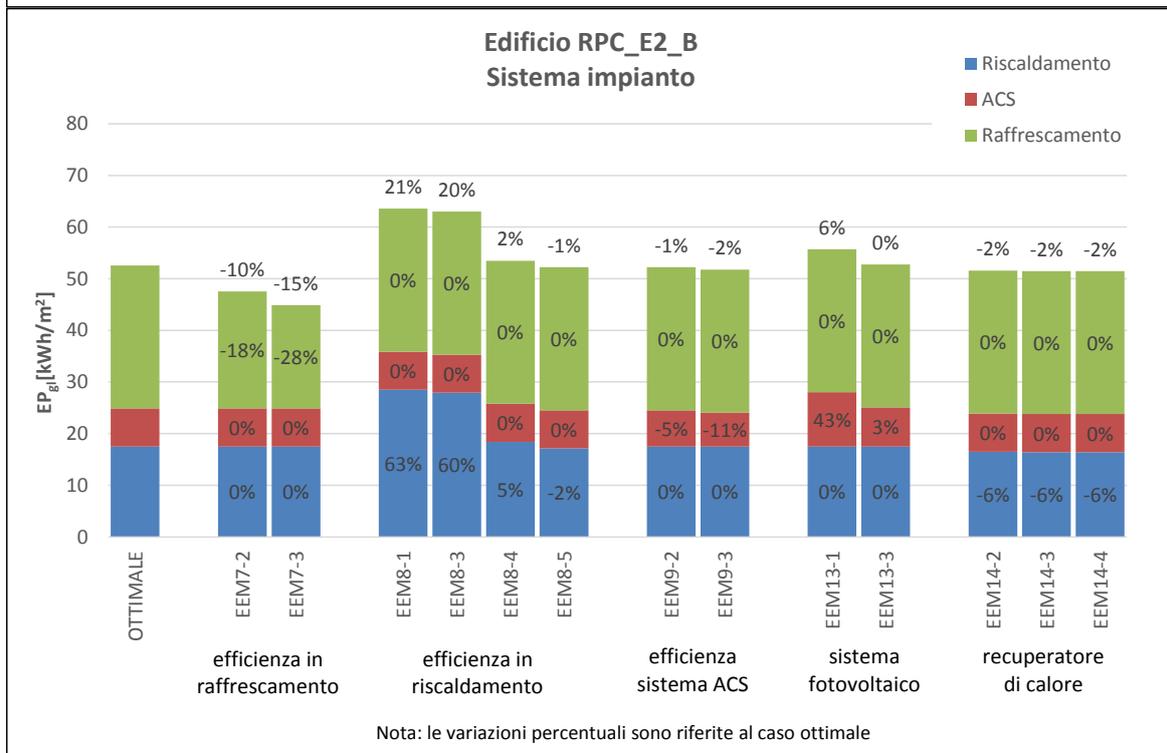
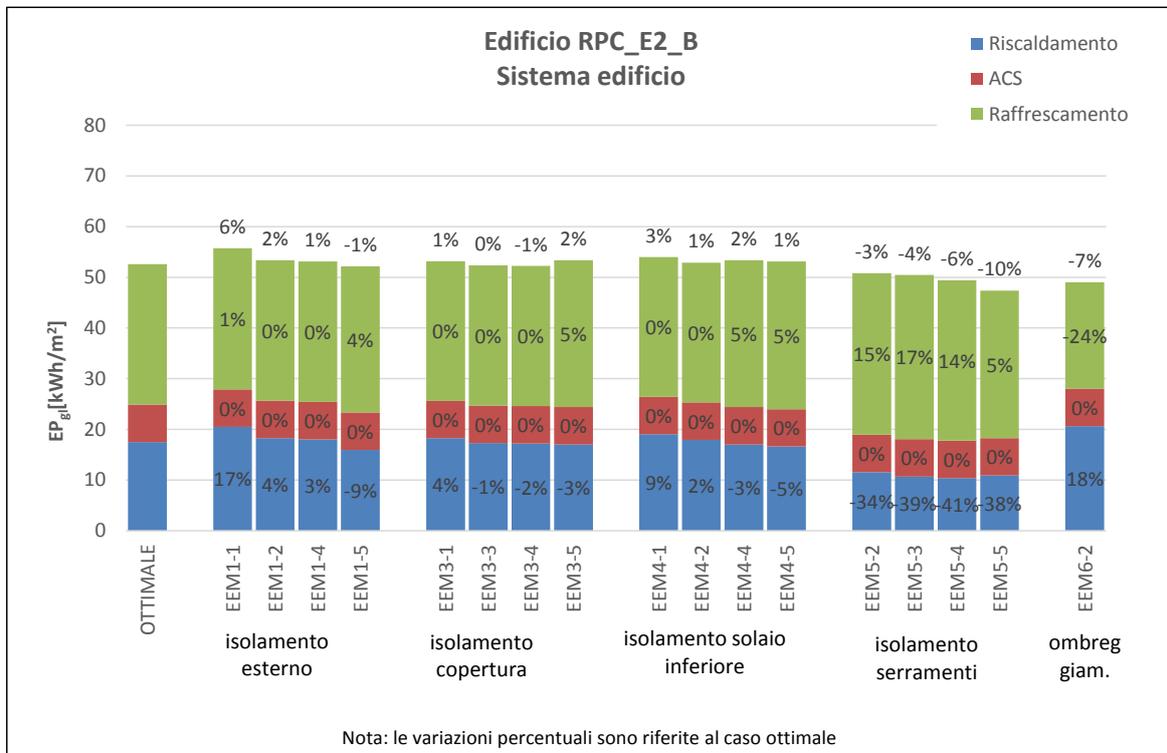
EDIFICIO RESIDENZIALE PICCOLO CONDOMINIO (1946-1976) - ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



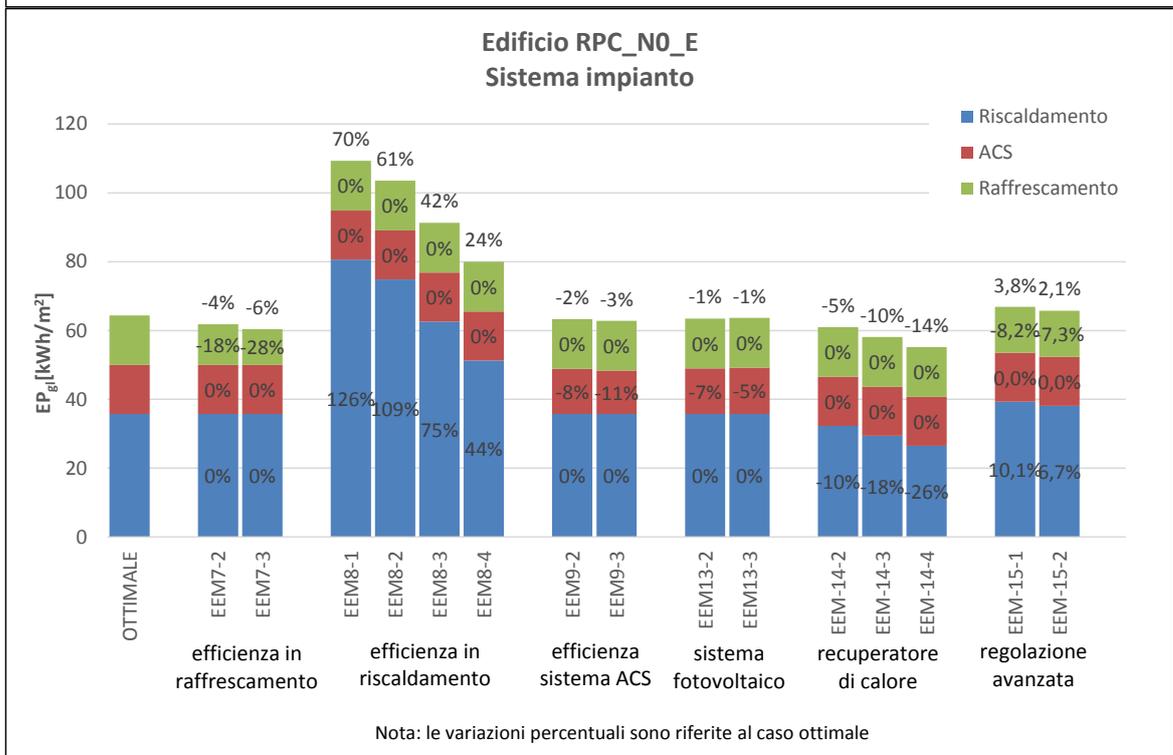
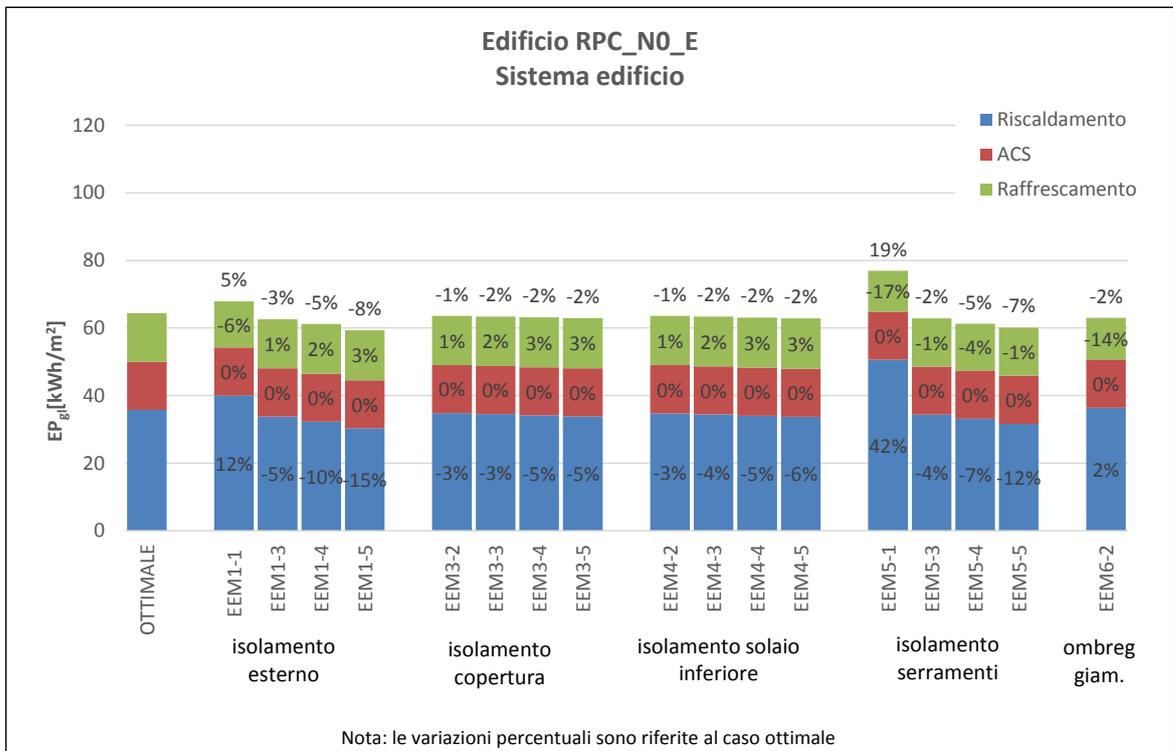
EDIFICIO RESIDENZIALE PICCOLO CONDOMINIO (1977-1990) - ZONA CLIMATICA E (MILANO)



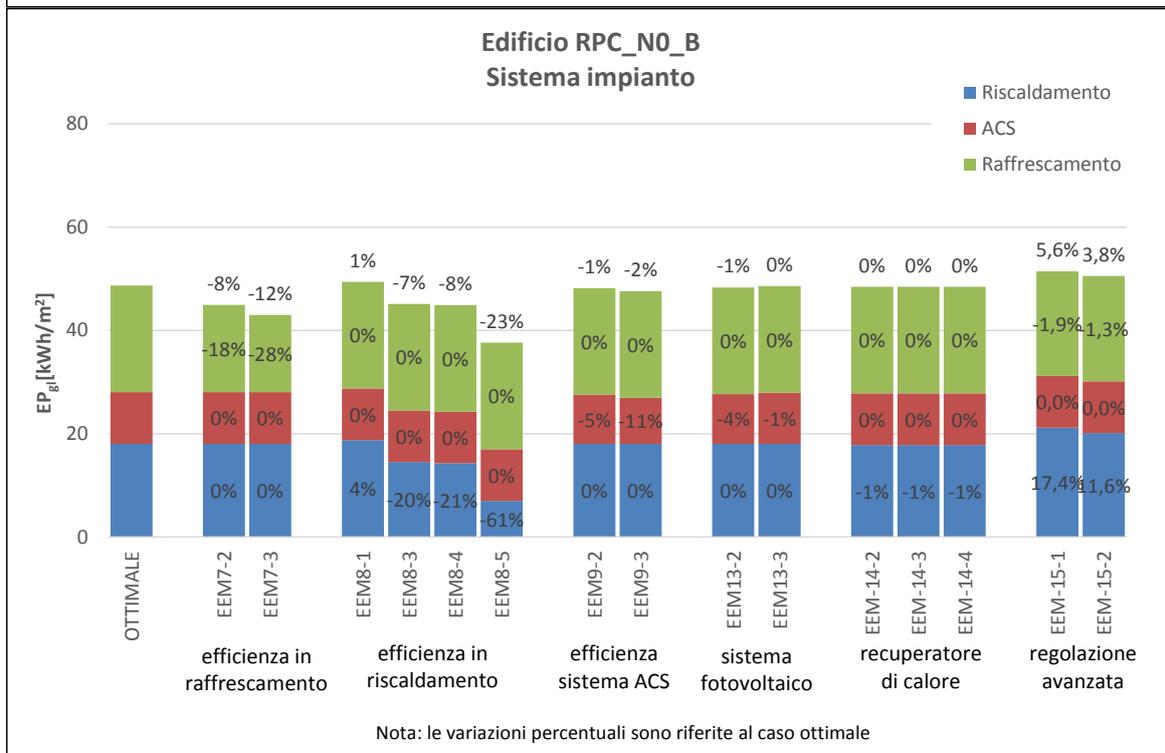
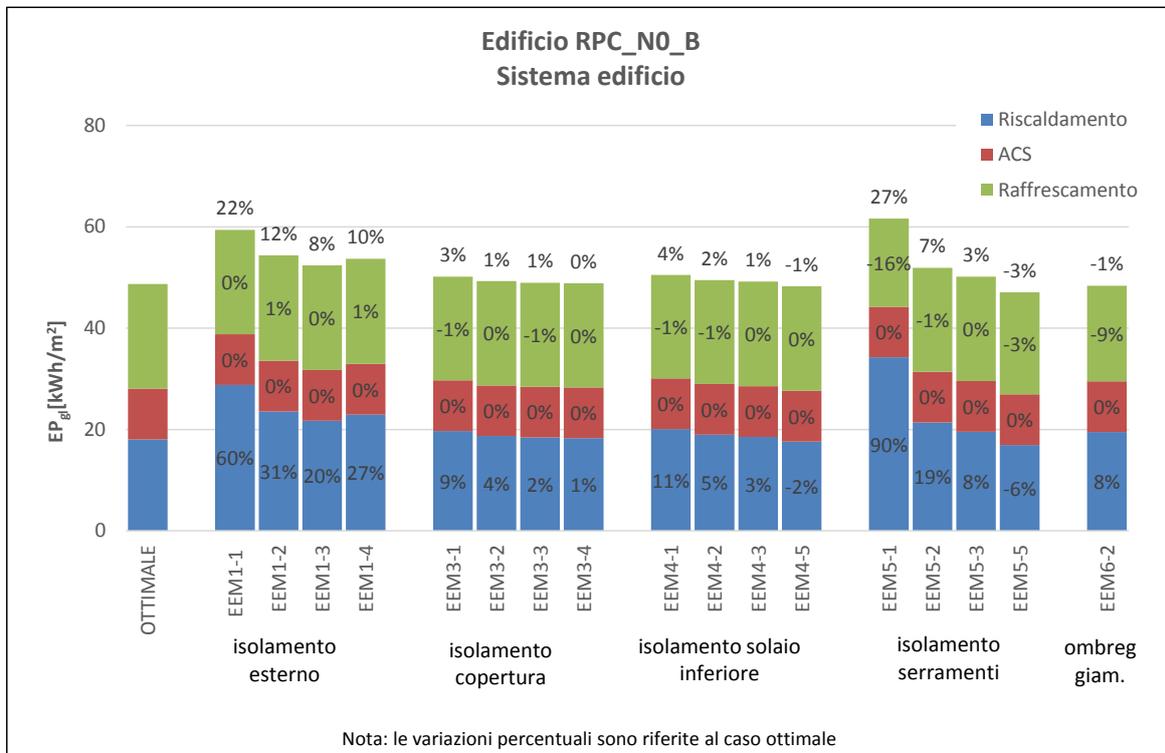
EDIFICIO RESIDENZIALE PICCOLO CONDOMINIO (1977-1990) - ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



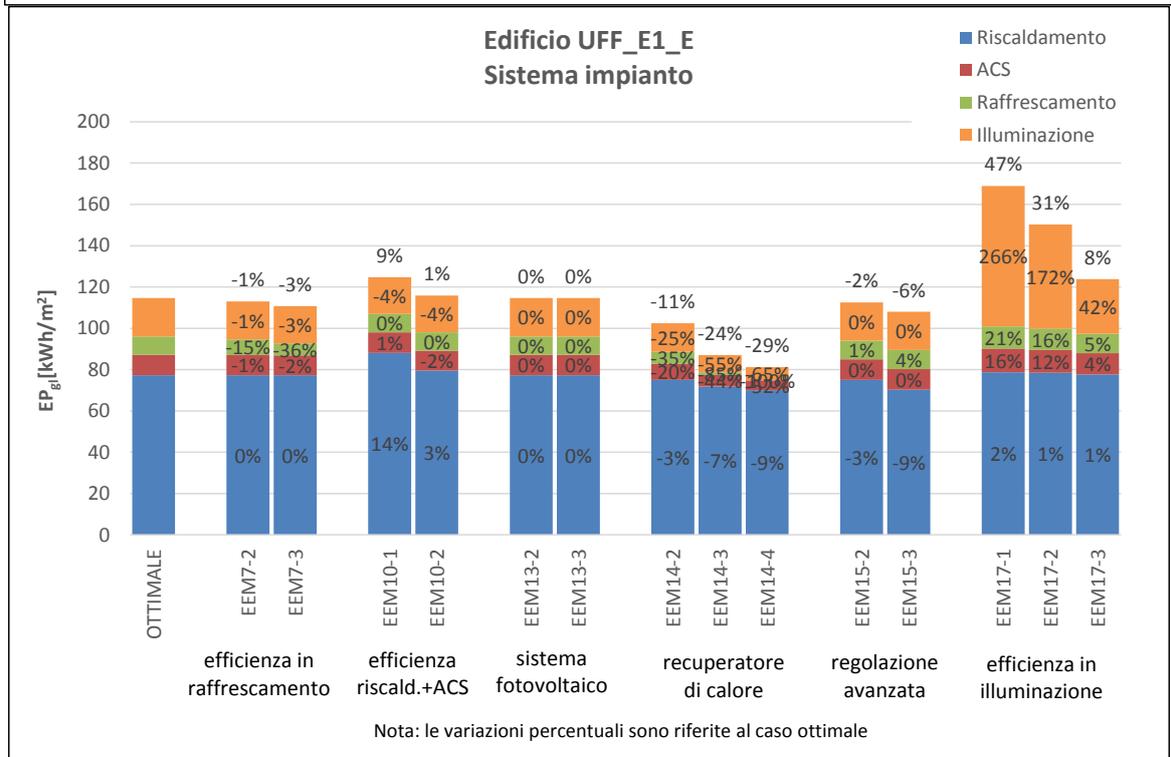
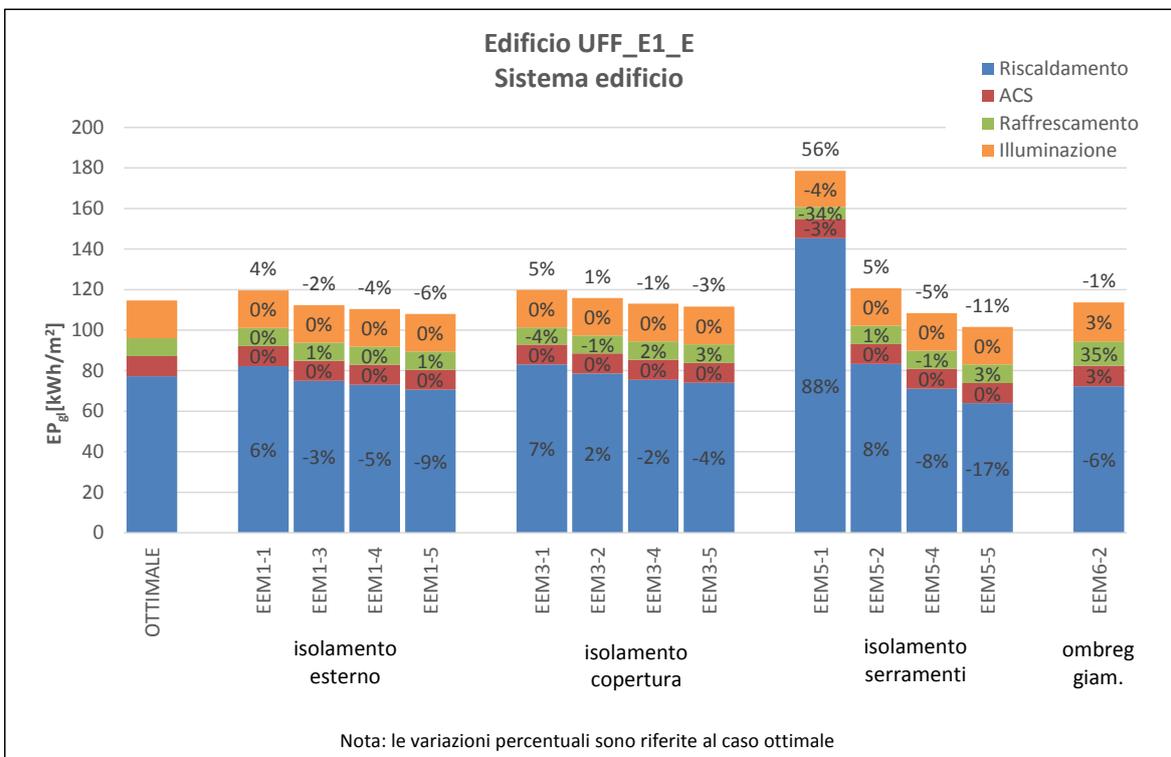
EDIFICIO RESIDENZIALE PICCOLO CONDOMINIO NUOVO - ZONA CLIMATICA E (MILANO)



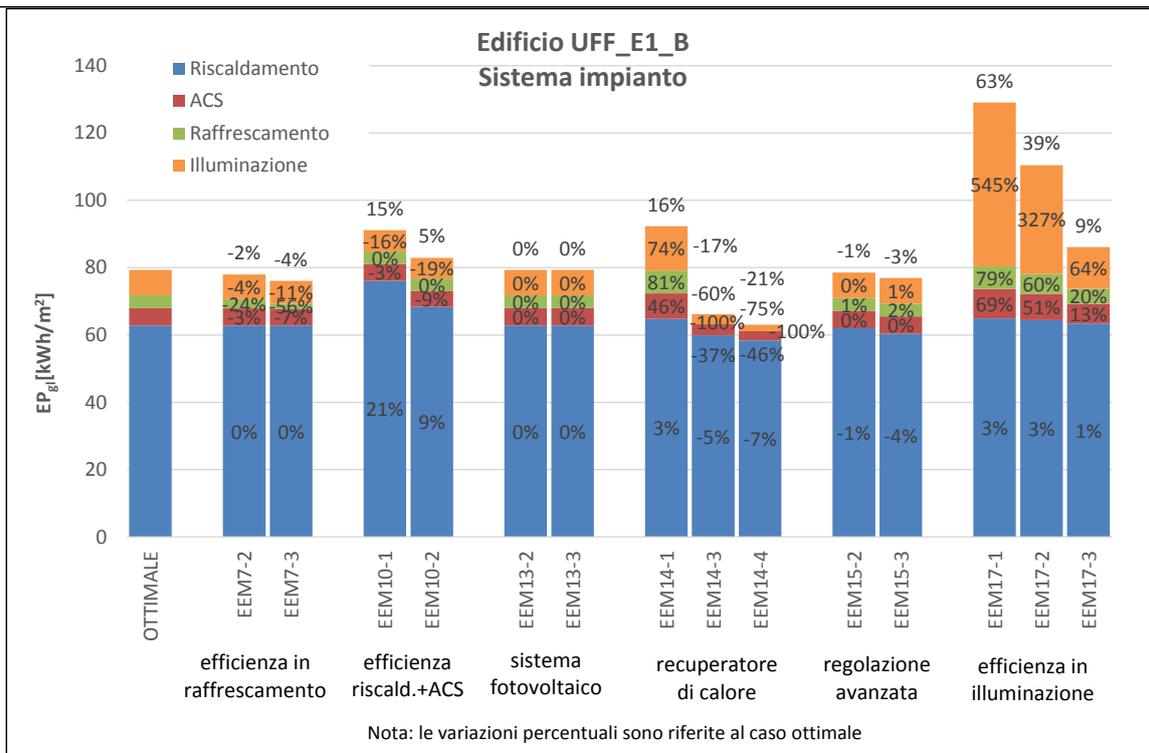
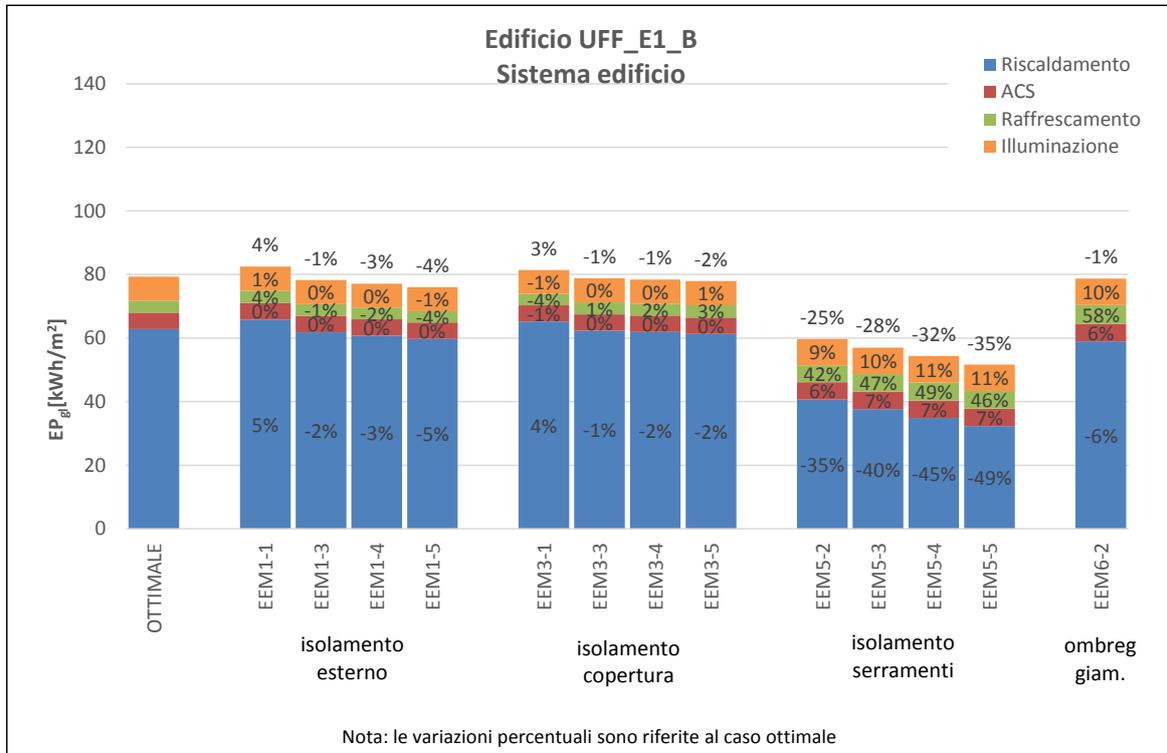
EDIFICIO RESIDENZIALE PICCOLO CONDOMINIO NUOVO - ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



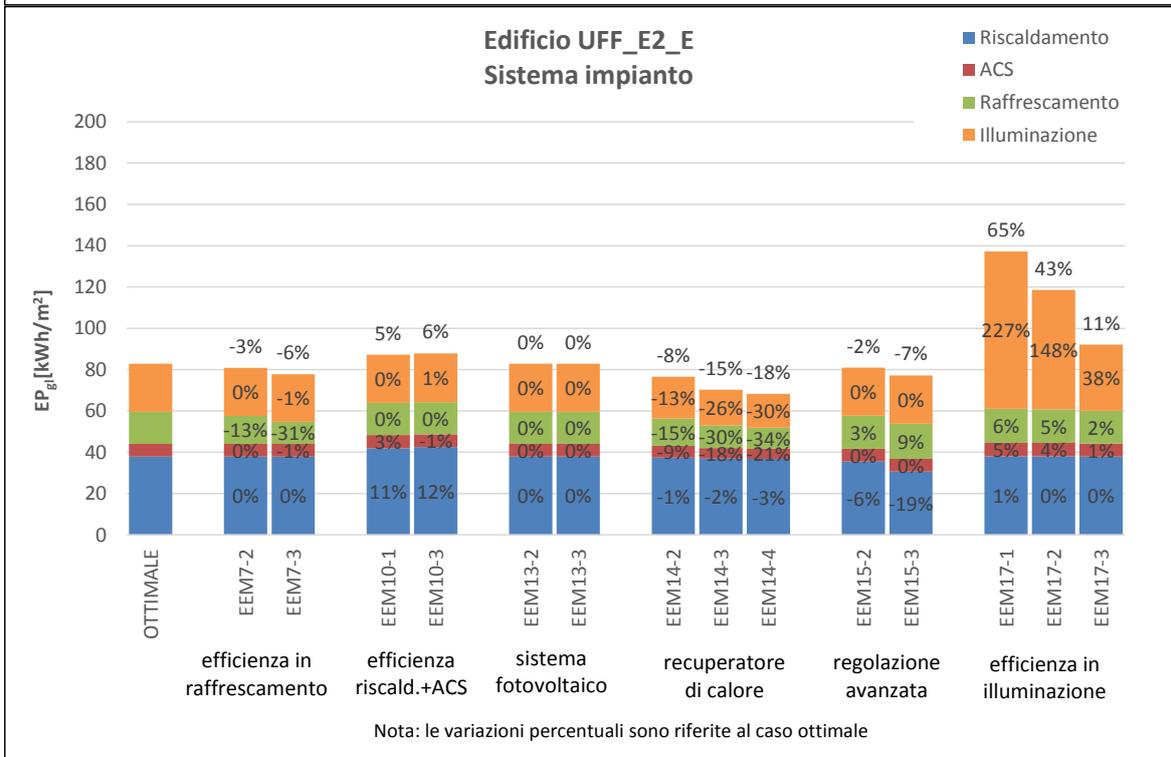
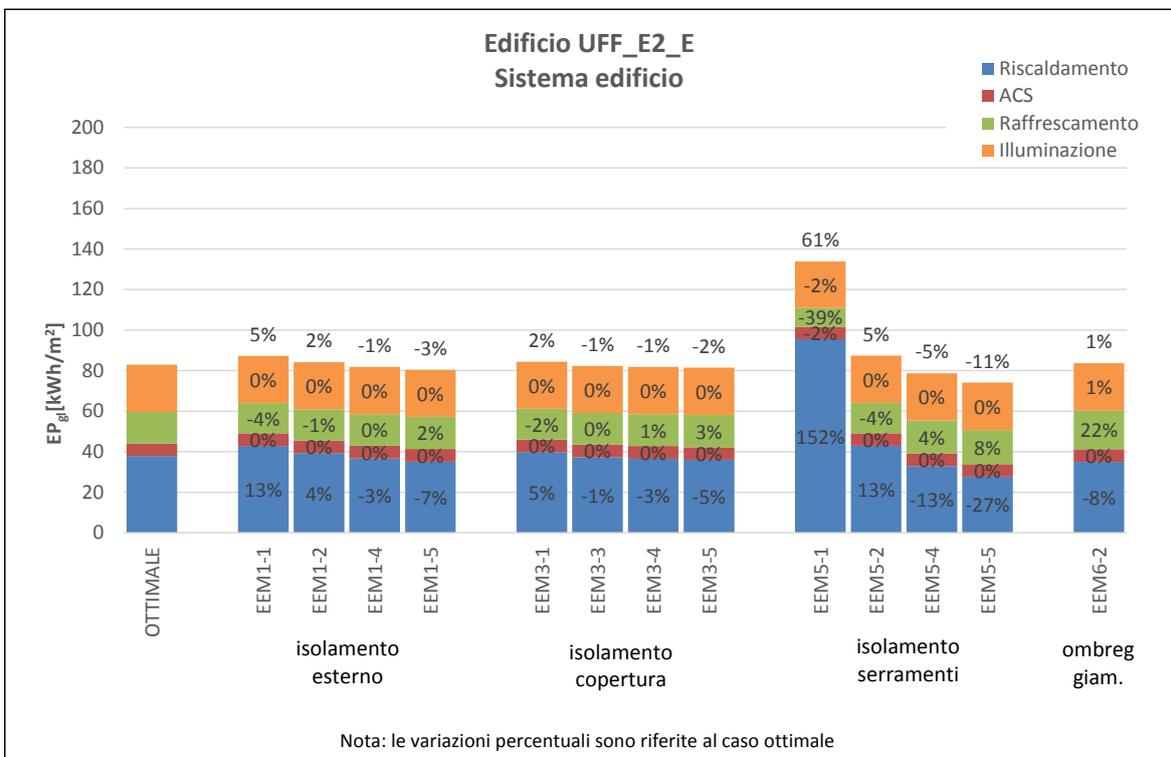
EDIFICIO PER UFFICI (1946-1976) – ZONA CLIMATICA E (MILANO)



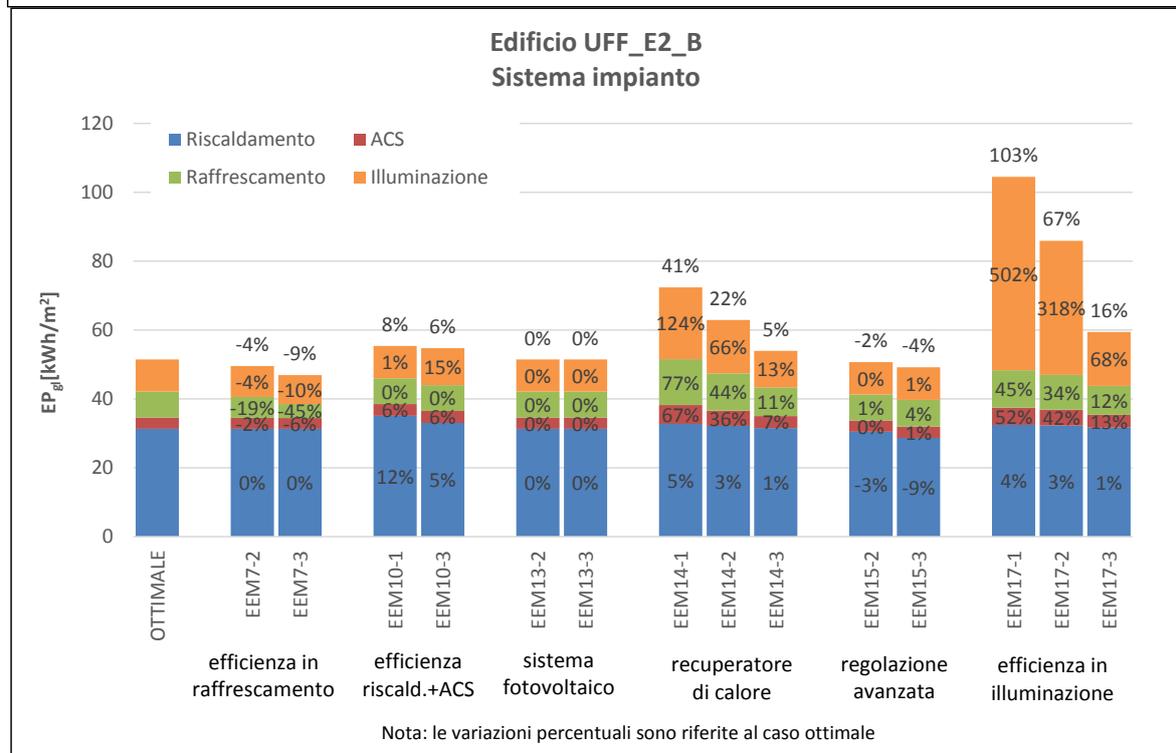
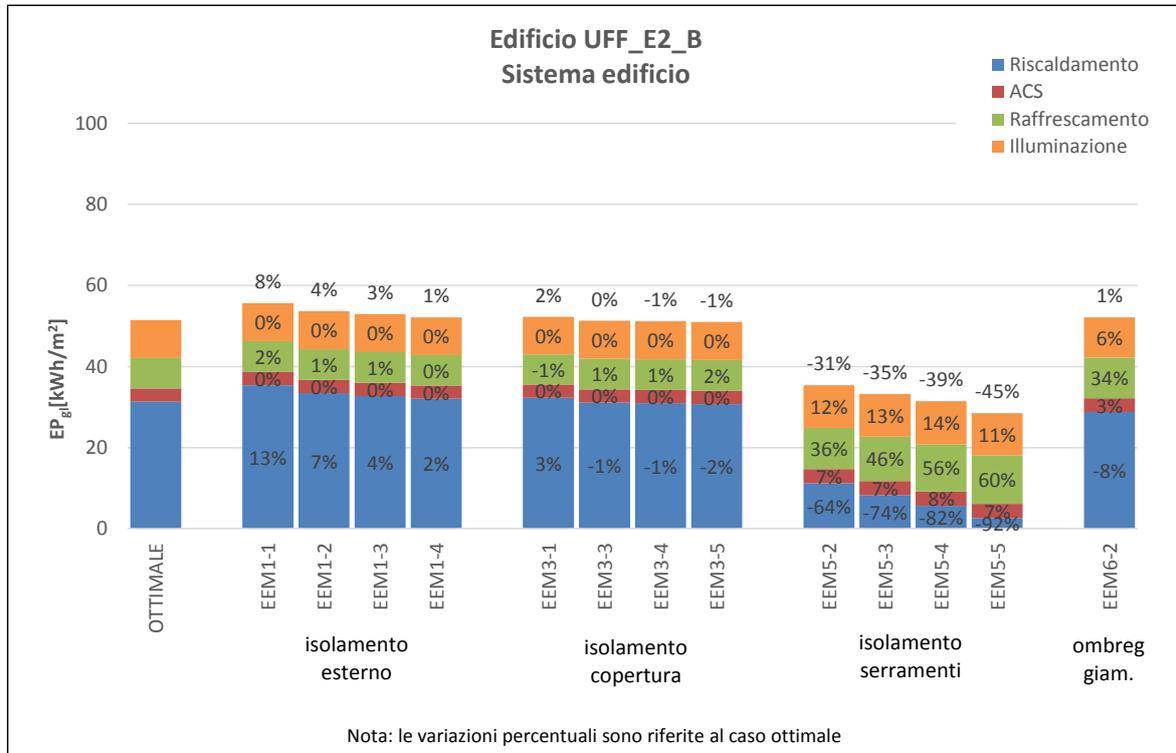
EDIFICIO PER UFFICI (1946-1976) – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



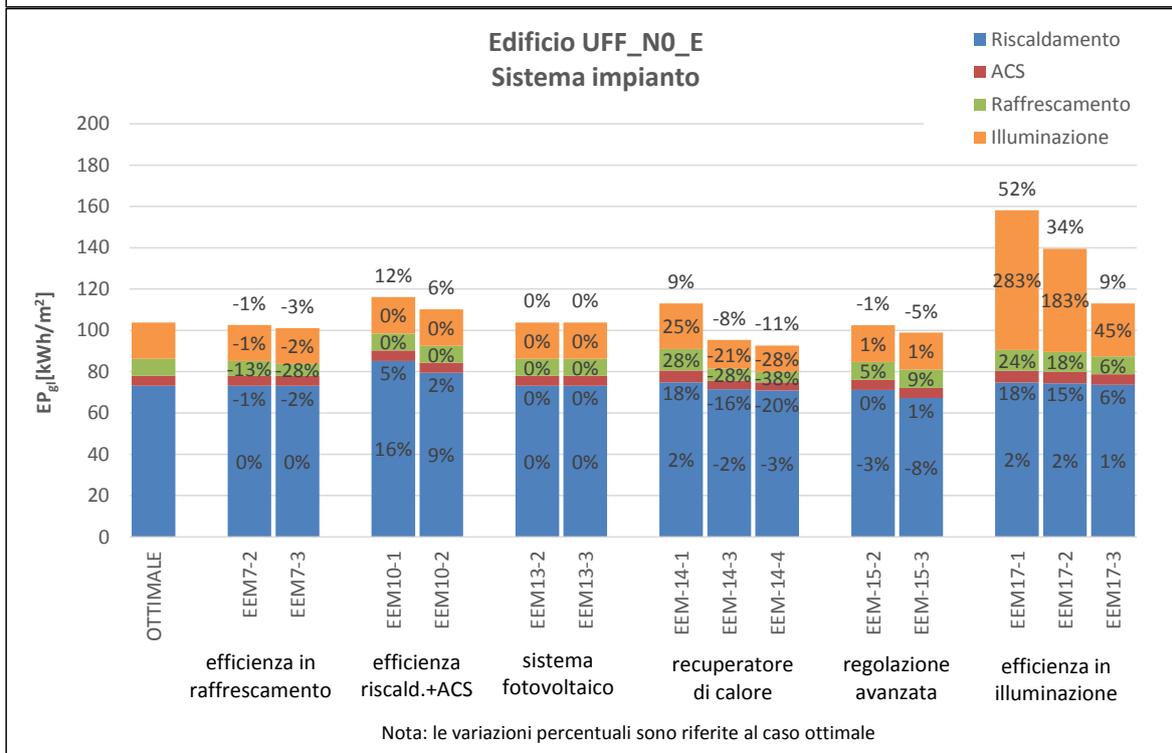
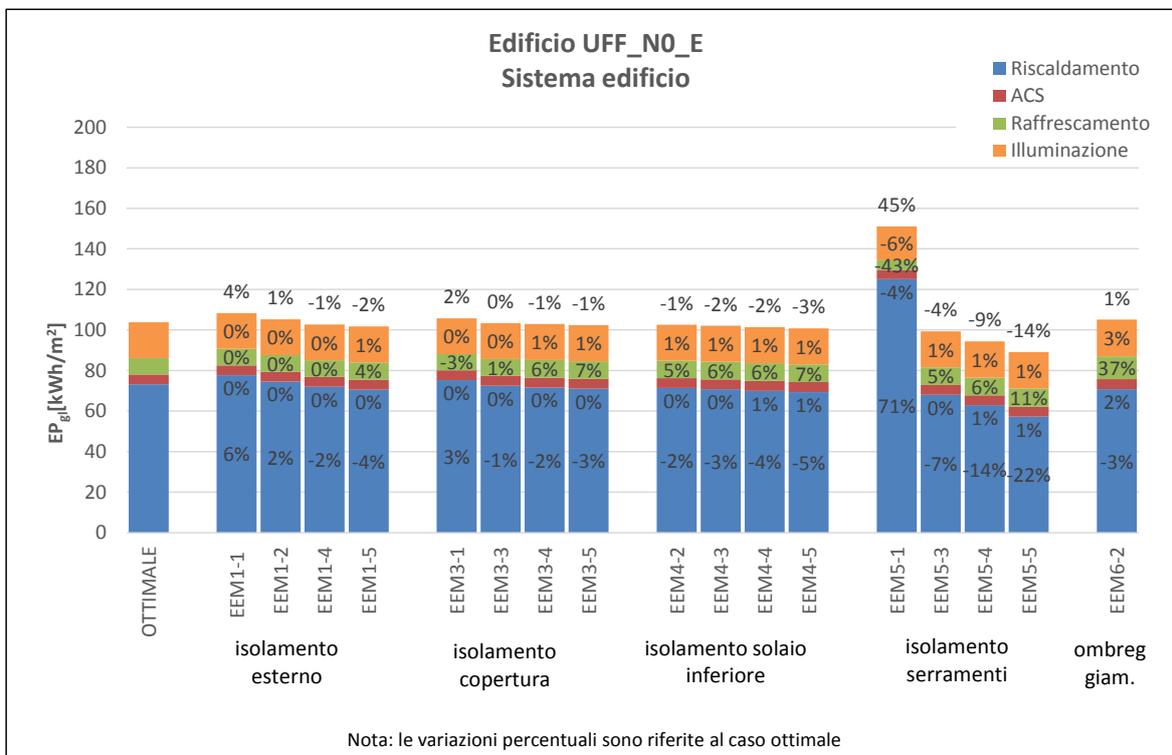
EDIFICIO PER UFFICI (1977-1990) – ZONA CLIMATICA E (MILANO)



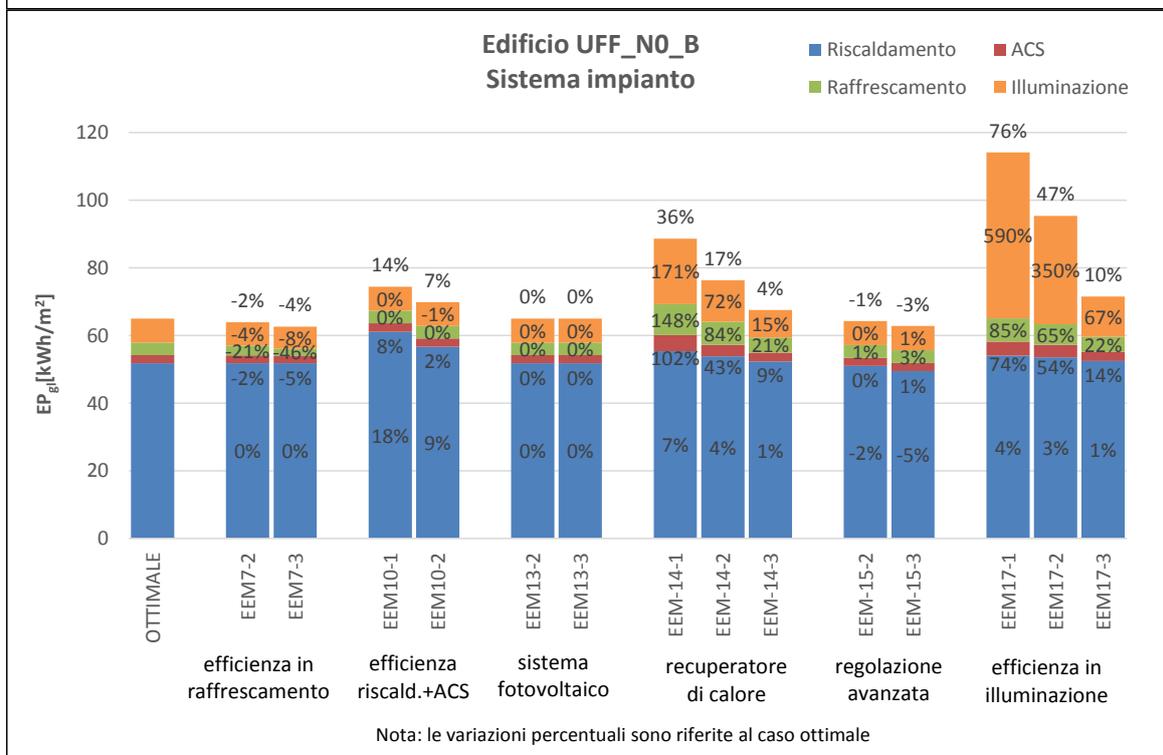
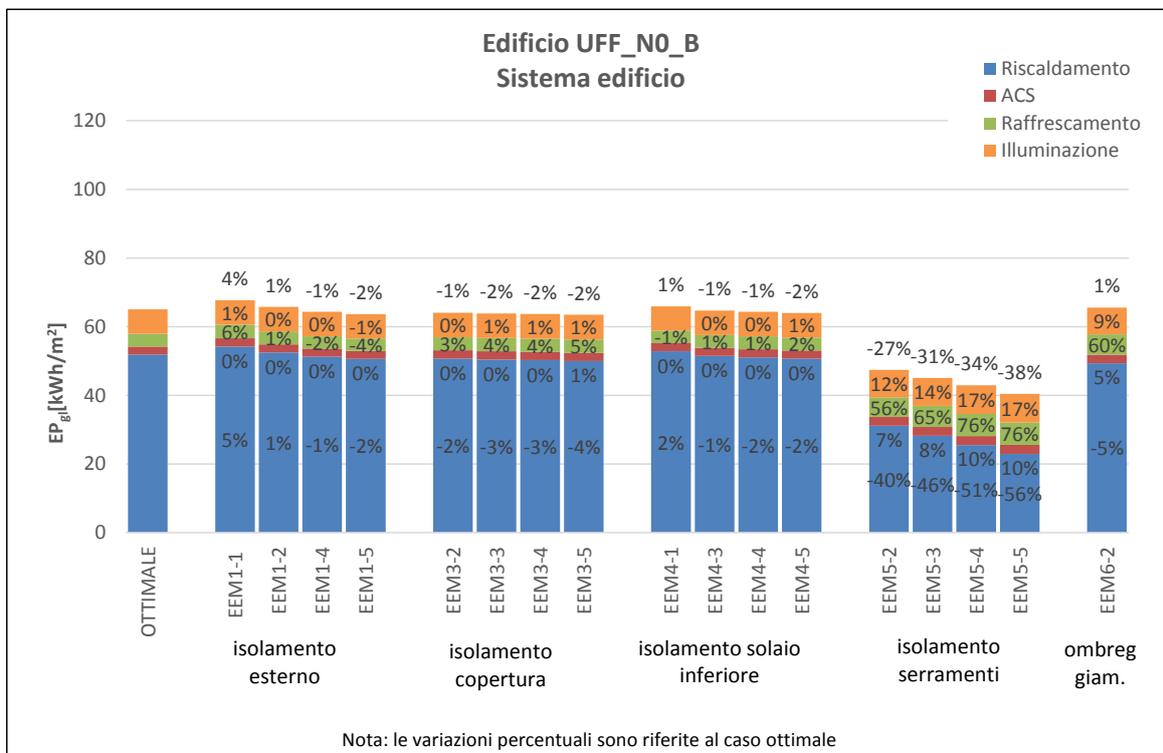
EDIFICIO PER UFFICI (1977-1990) – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



EDIFICIO PER UFFICI NUOVO- ZONA CLIMATICA E (MILANO)



EDIFICIO PER UFFICI NUOVO- ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



Grafici EEM-costo specifico

Le immagini seguenti riportano il valore di costo specifico calcolato per ogni livello prestazionale e per ogni misura di efficienza energetica, in relazione al pacchetto ottimale individuato dal precedente studio [38]. Il livello ottimale è rappresentato dalla prima barra nell'istogramma, e costituisce termine di paragone per tutti gli elementi del grafico riportati di seguito.

Parimenti ai precedenti grafici, ogni raggruppamento di barre sul grafico rappresenta una misura di efficienza energetica ed il numero che segue dopo il trattino nell'intestazione dell'asse delle ascisse indica il livello di efficienza energetica adottato EEL.

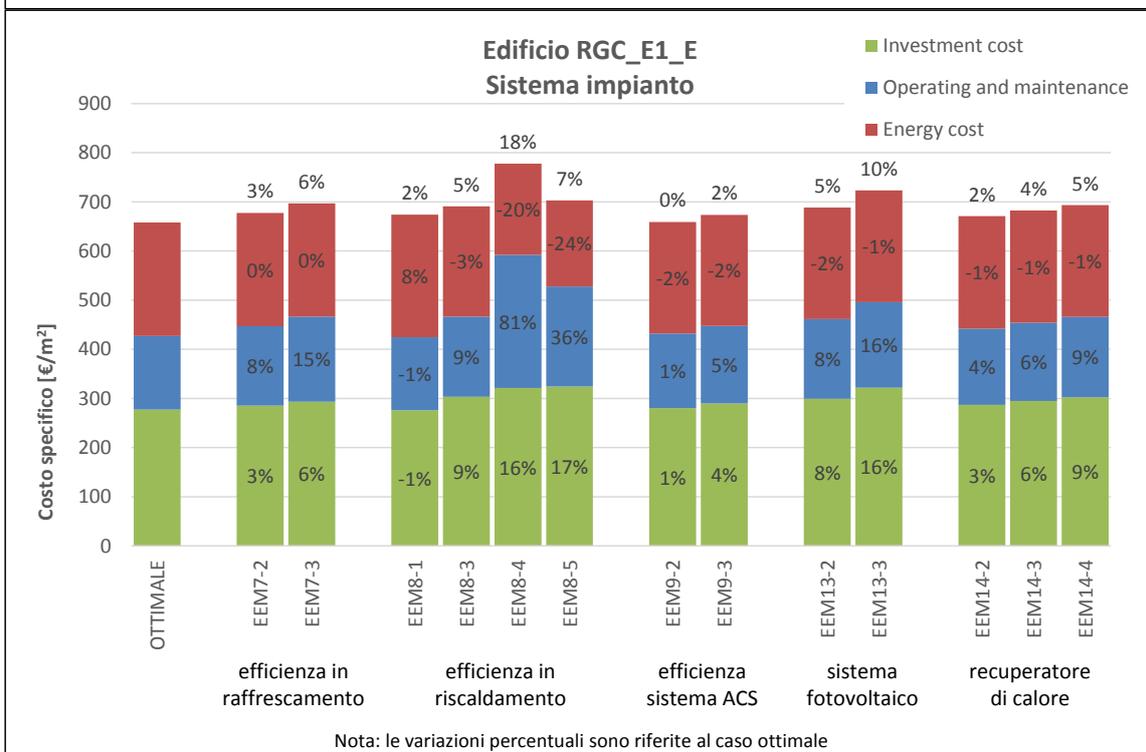
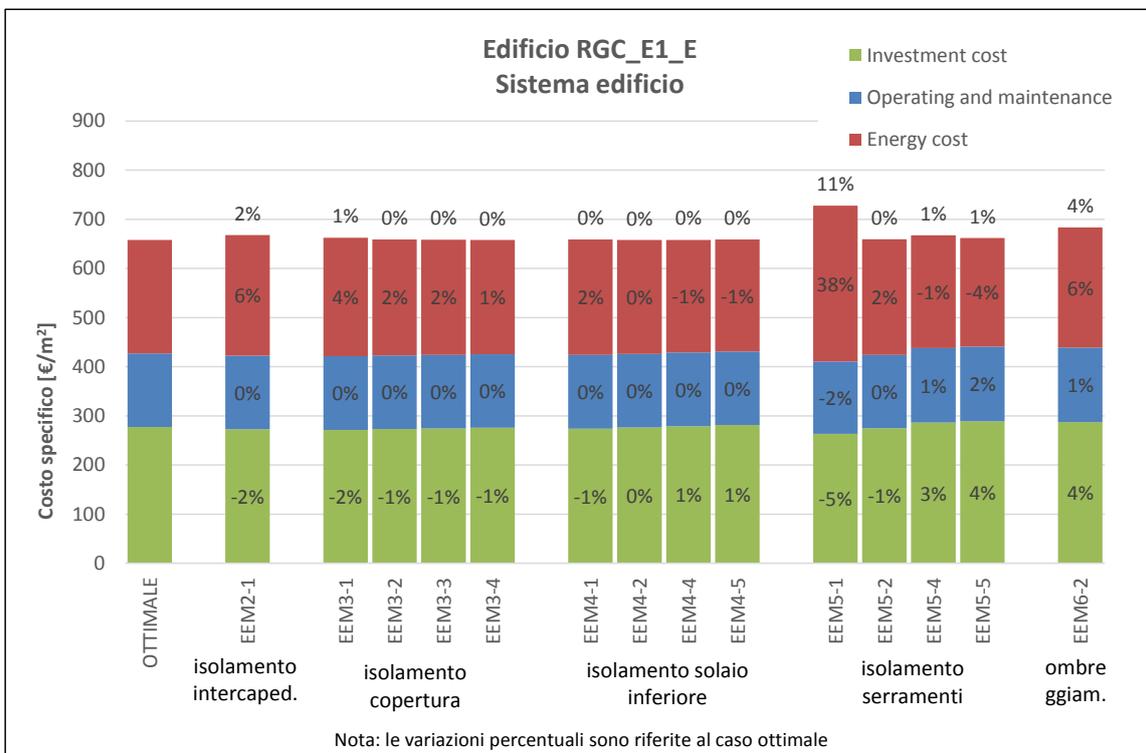
Il costo globale è suddiviso in tre voci di costo: energy cost, investment cost e operation & maintenance cost. Per energy cost si intende il costo legato all'acquisto dell'energia, per investment cost il costo legato all'intervento di efficienza energetica, per operating & maintenance cost il costo legato alla gestione e alla manutenzione dell'intervento.

I valori percentuali espressi per riscaldamento, acs, raffrescamento (riportato al centro di ogni barra) e globale (riportato sulla sommità della barra) fanno riferimento alla variazione percentuale rispetto al caso ottimale dell'indice di prestazione energetica riportato in ordinata.

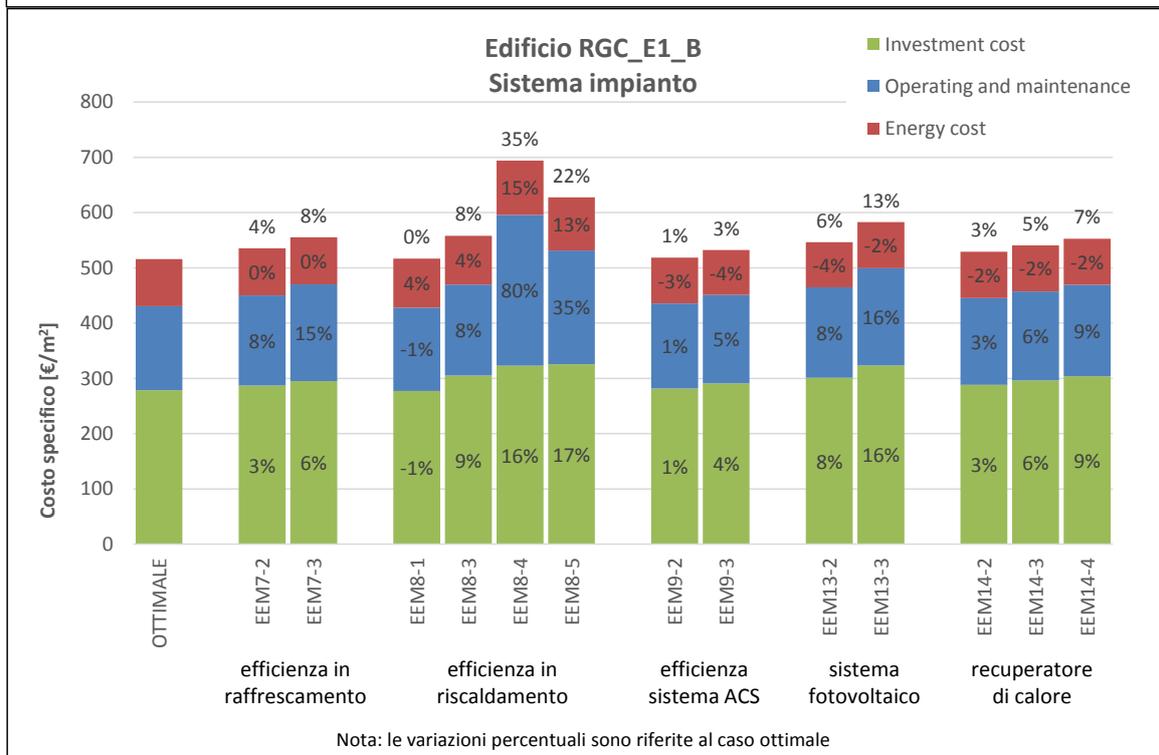
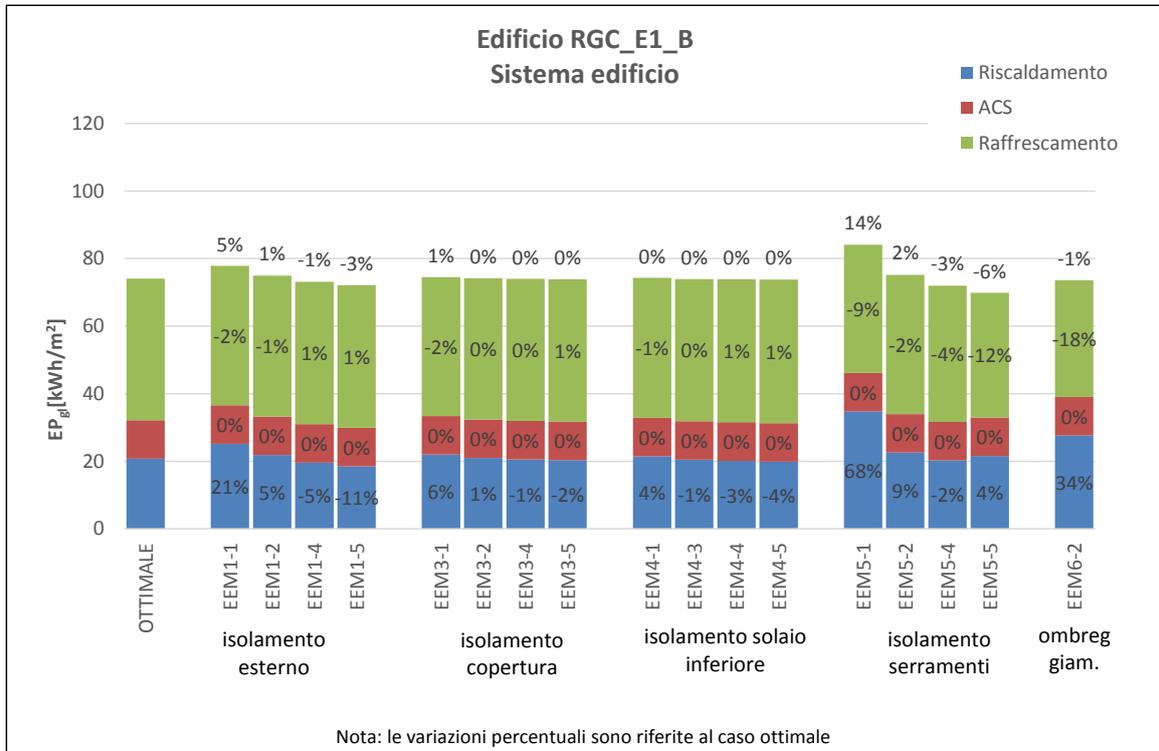
Per facilità di rappresentazione le misure di efficienza energetica sono state raggruppate in due sottoinsiemi, e sono riportate in due figure per ogni caso studio: un primo grafico è relativo alle misure che coinvolgono l'involucro edilizio, e il secondo alle misure che riguardano il sistema impianto.

Come si nota dai grafici seguenti, le barre dell'istogramma rappresentative del livello prestazionale i-esimo relativo alla j-esima misura di efficienza energetica sono più alte della barra "Ottimale". Questo evidenzia l'incremento del valore del costo globale rispetto alla soluzione ottimale individuata dal precedente studio.

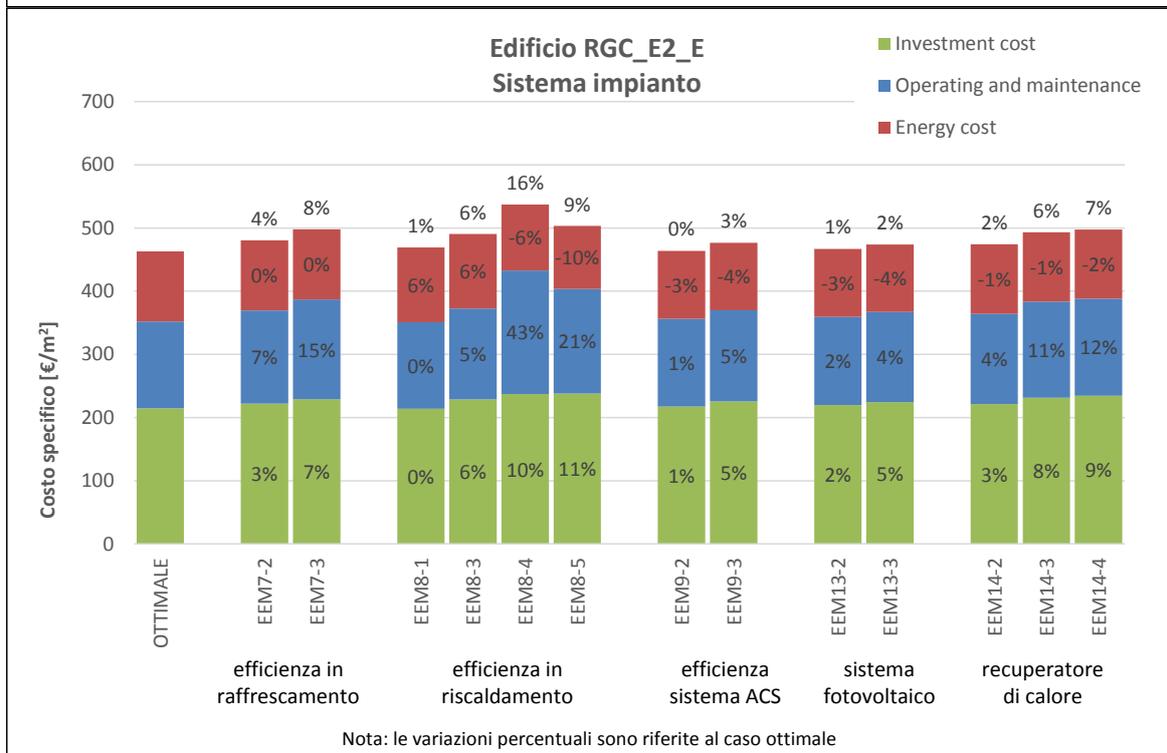
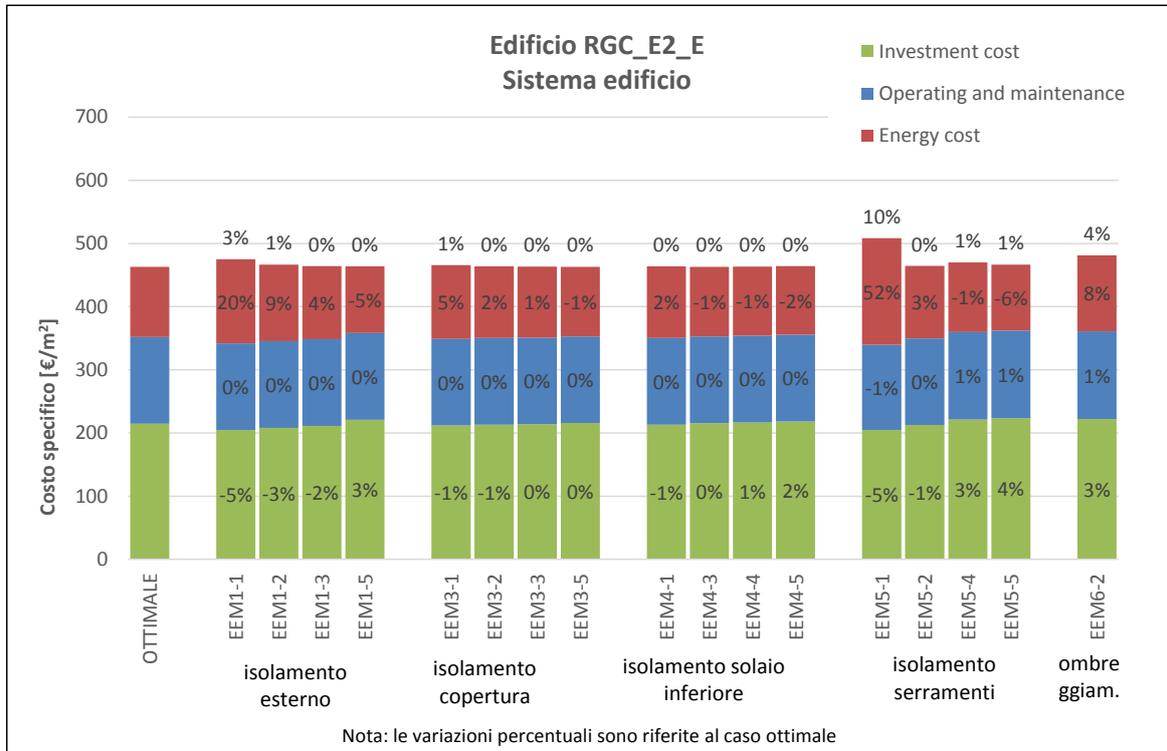
EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO (1946-1976) – ZONA CLIMATICA E (MILANO)



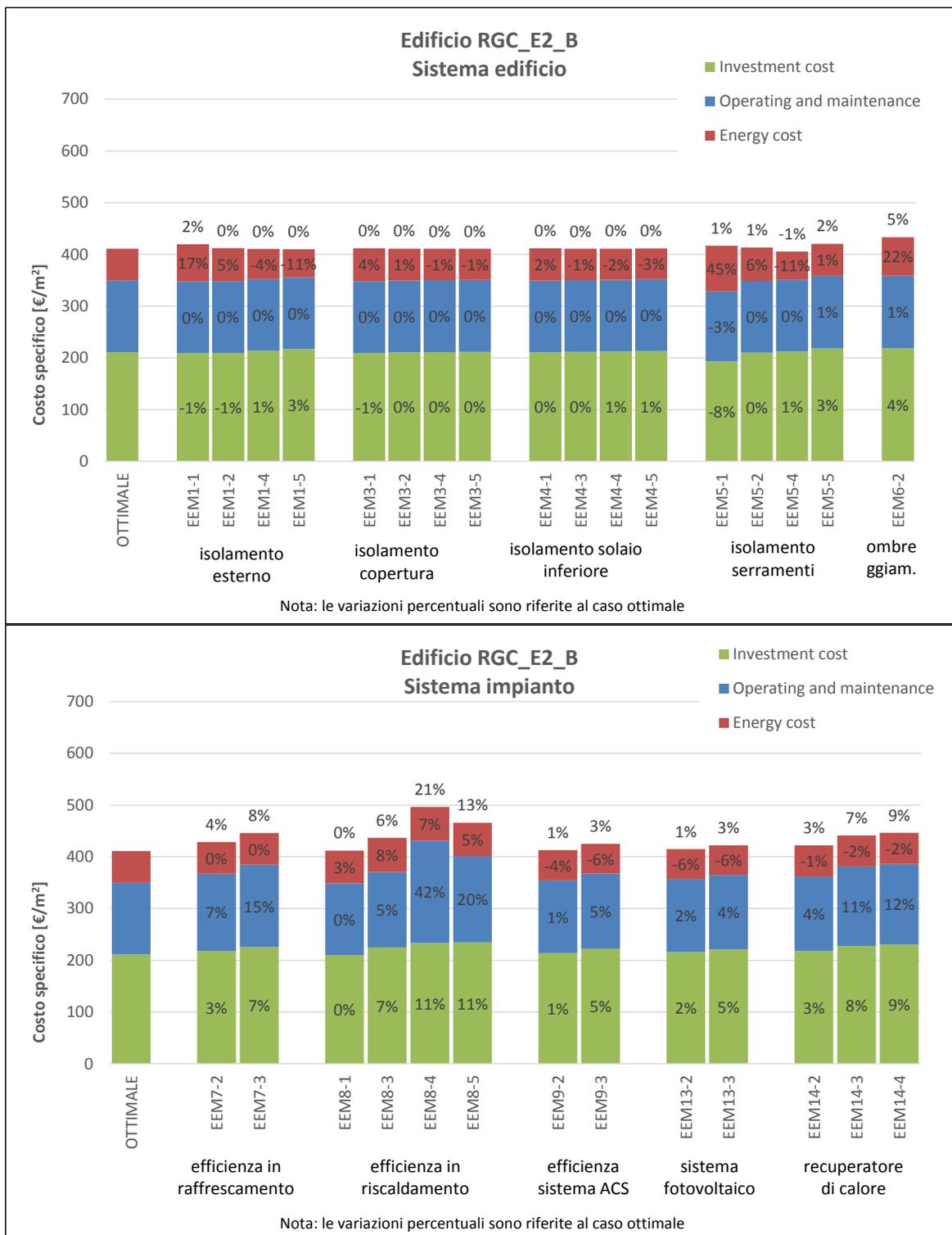
EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO (1946-1976) – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



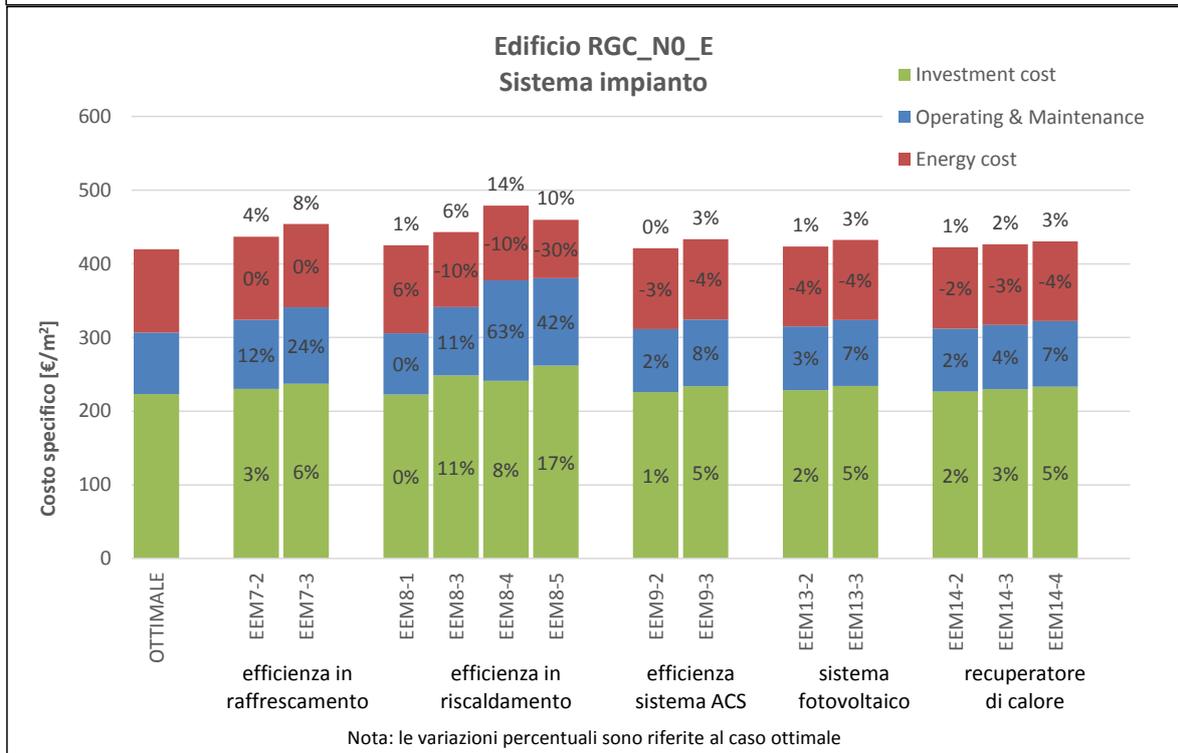
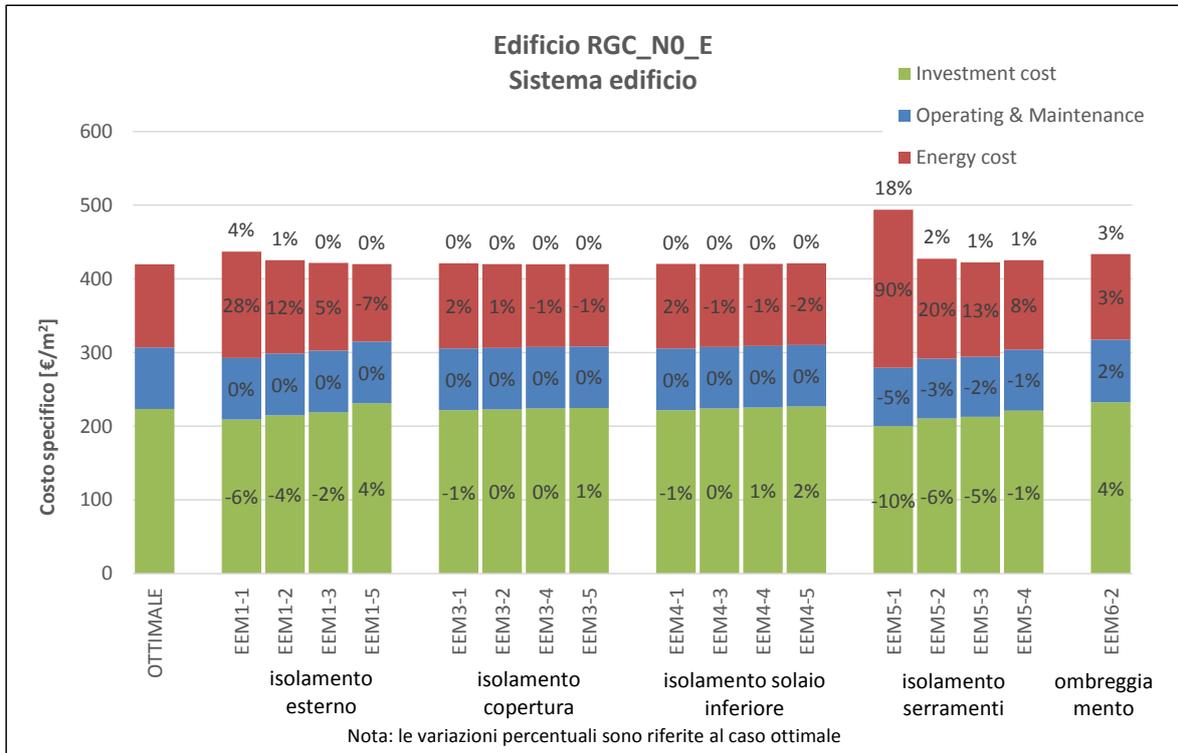
EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO (1977-1990) – ZONA CLIMATICA E (MILANO)



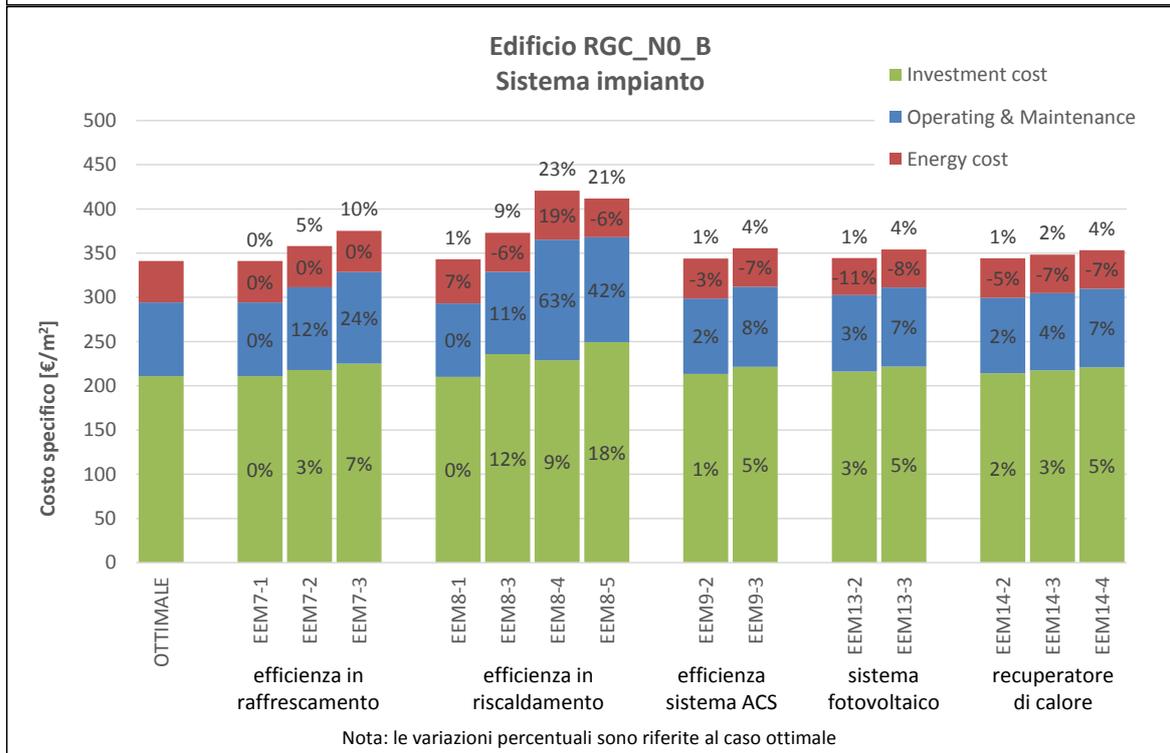
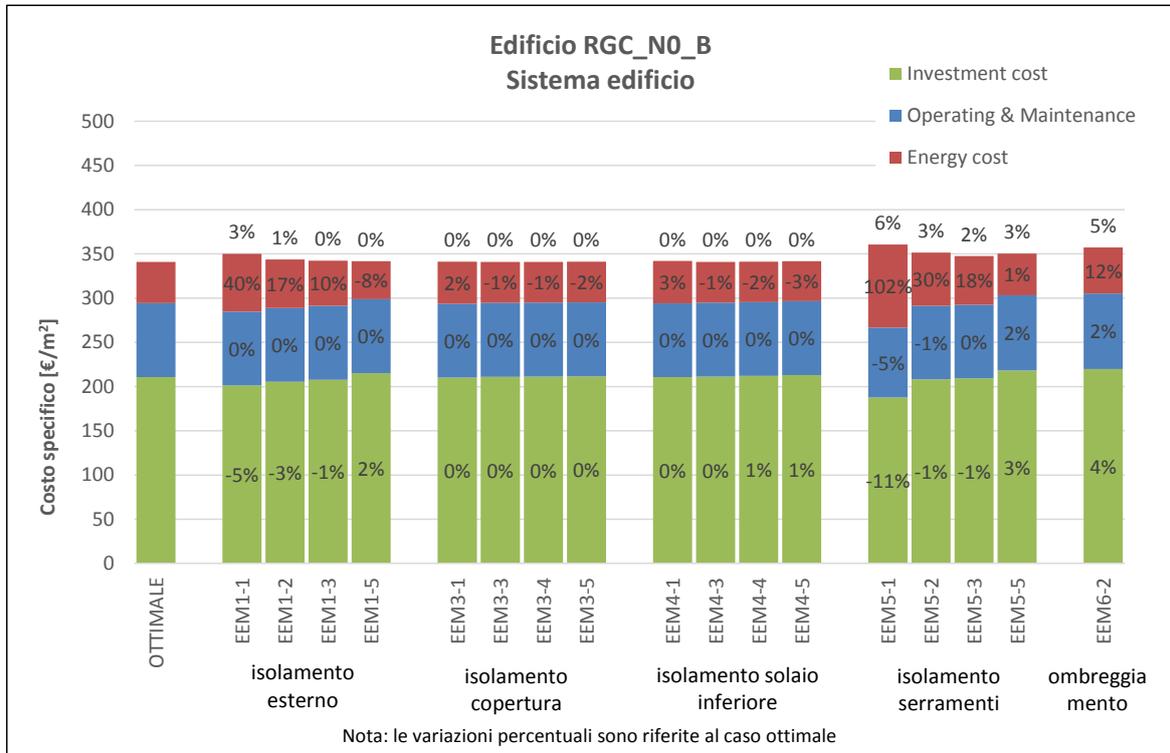
EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO (1977-1990) – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



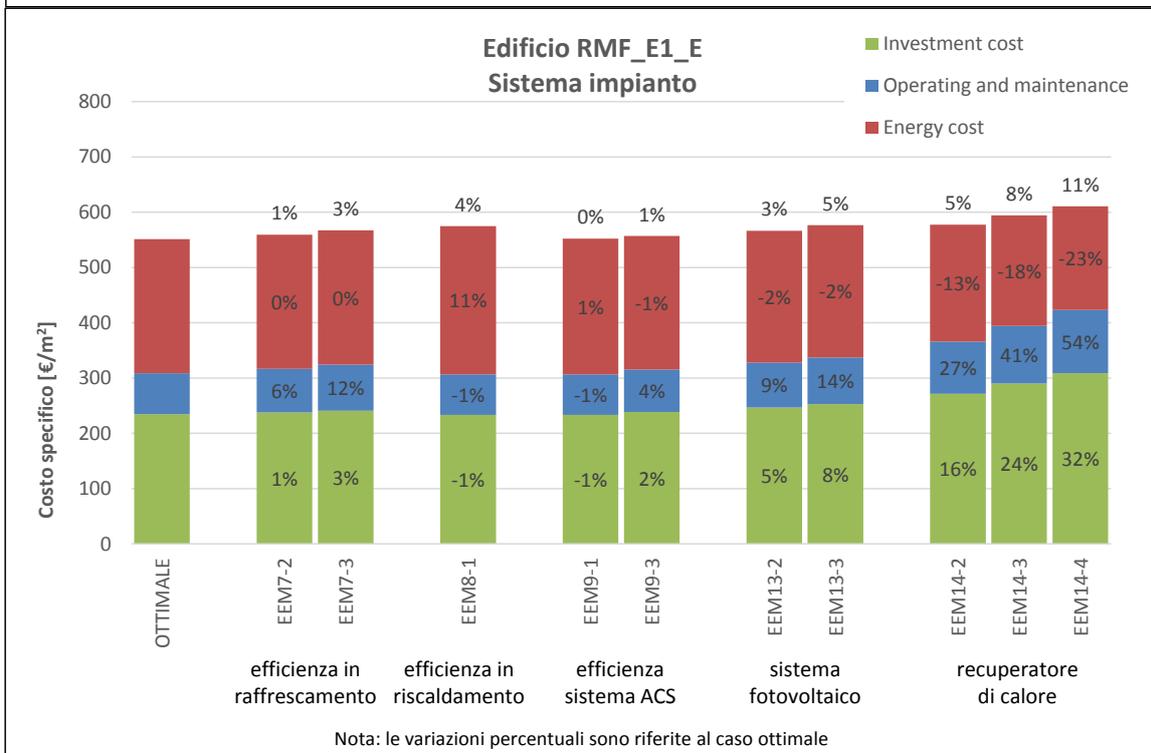
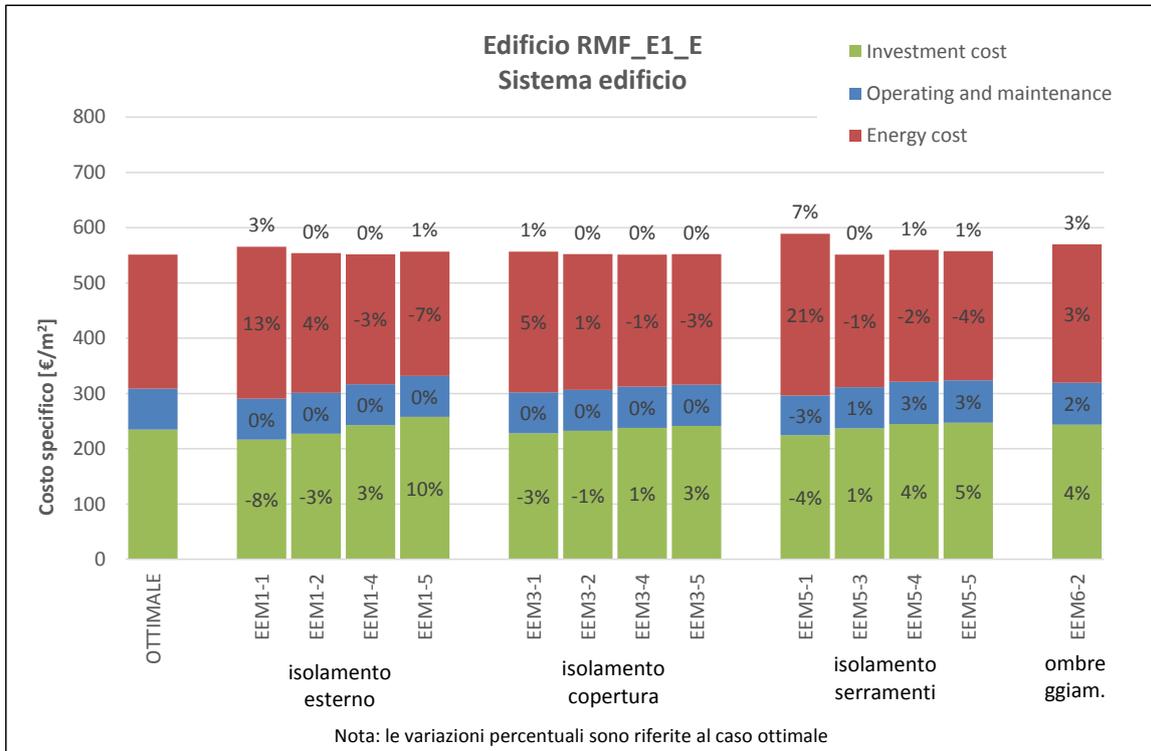
EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO NUOVO – ZONA CLIMATICA E (MILANO)



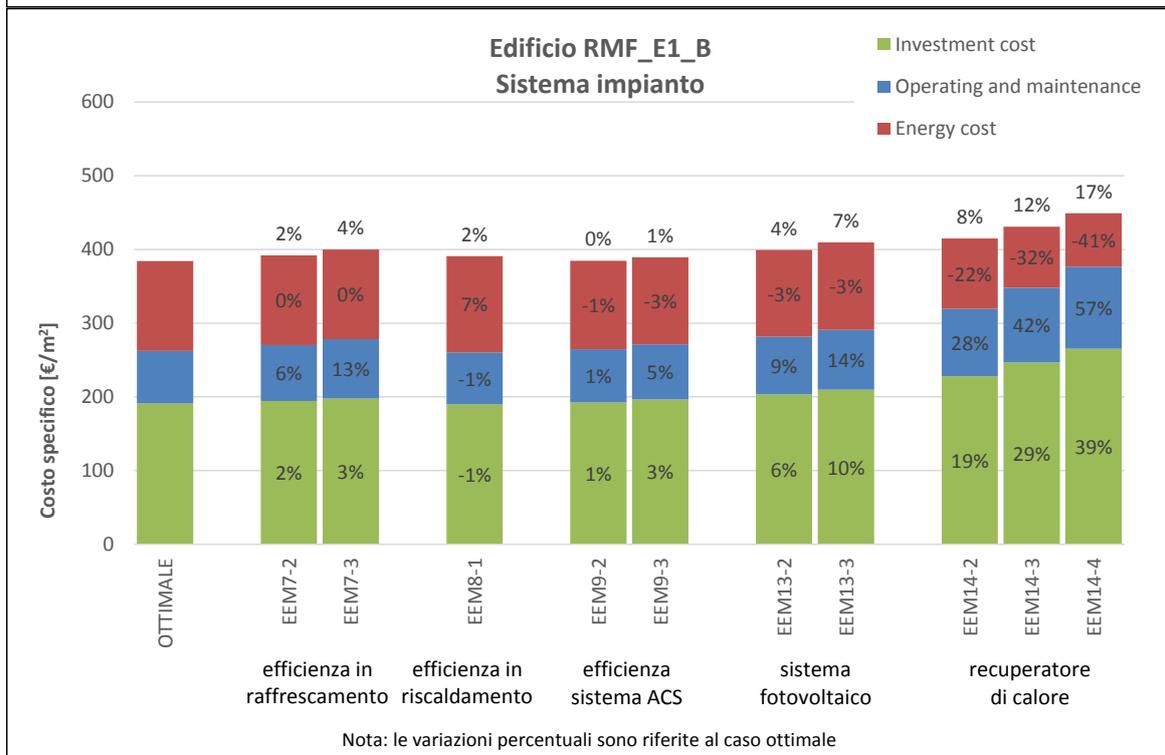
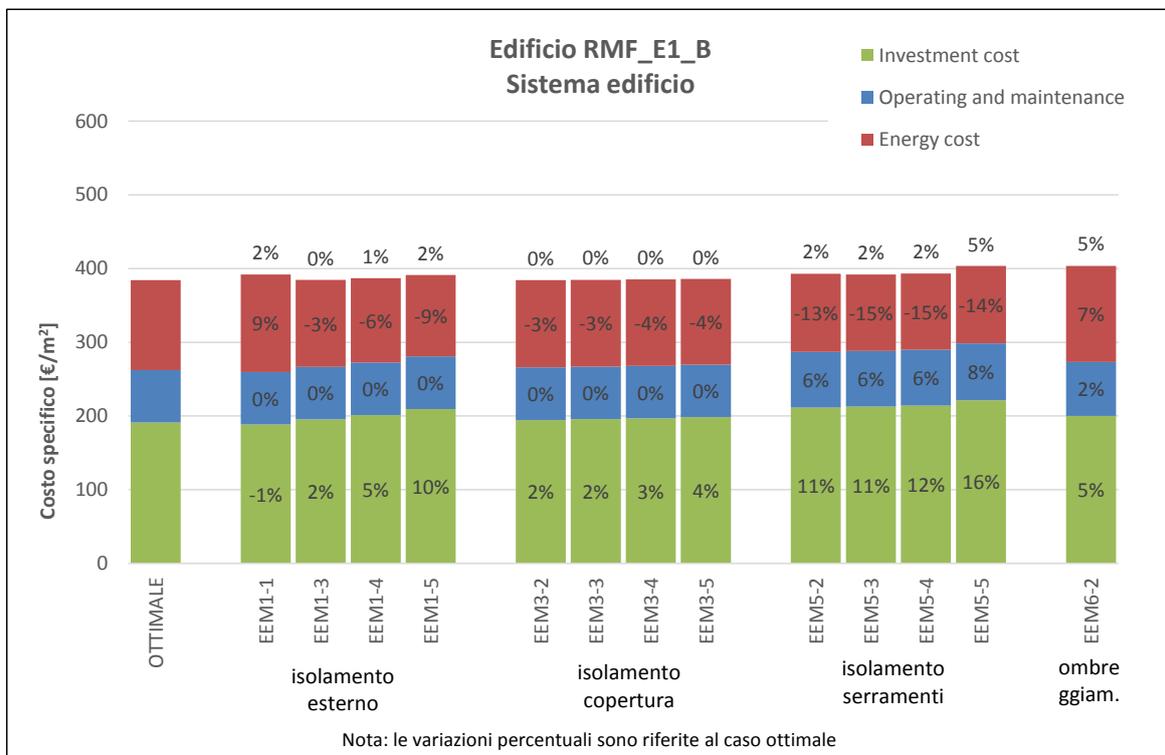
EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO NUOVO – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



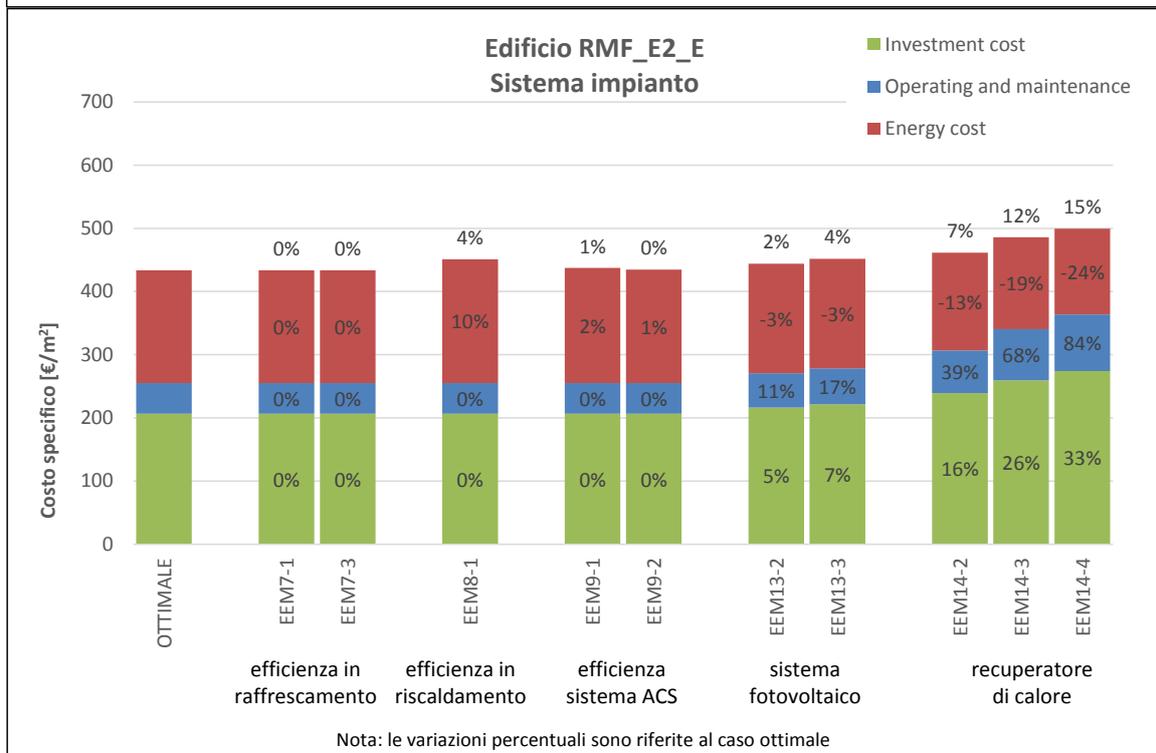
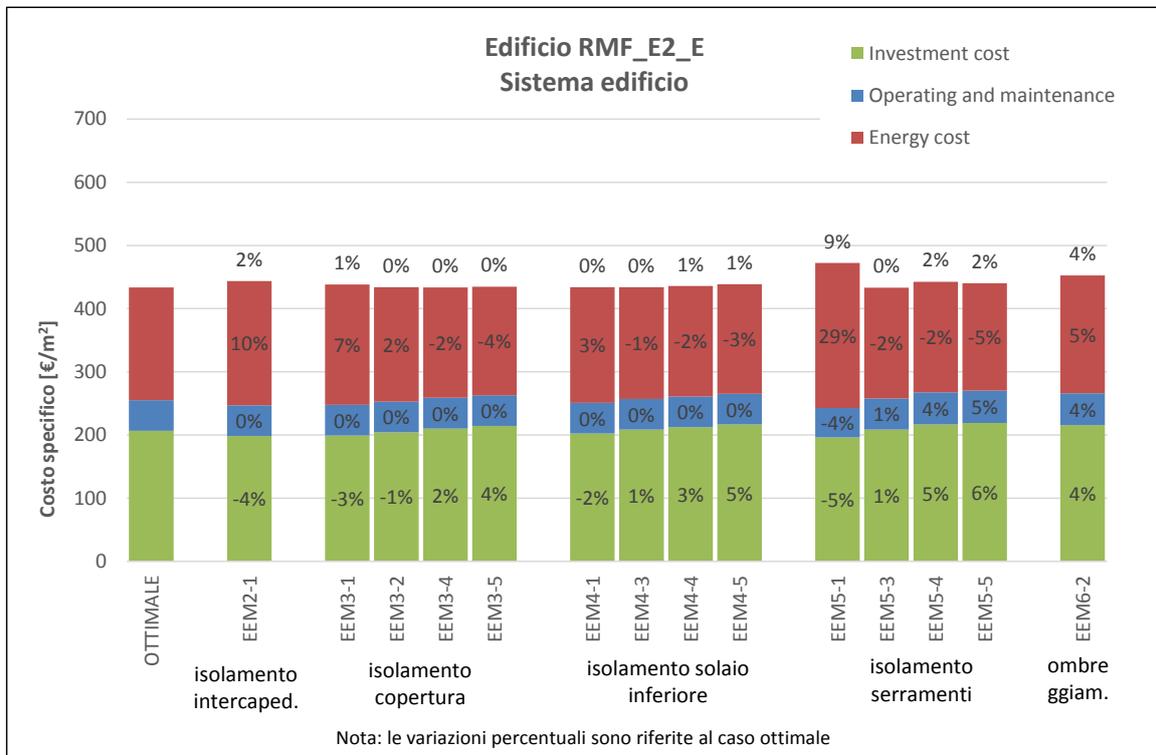
EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE (1946-1976)– ZONA CLIMATICA E (MILANO)



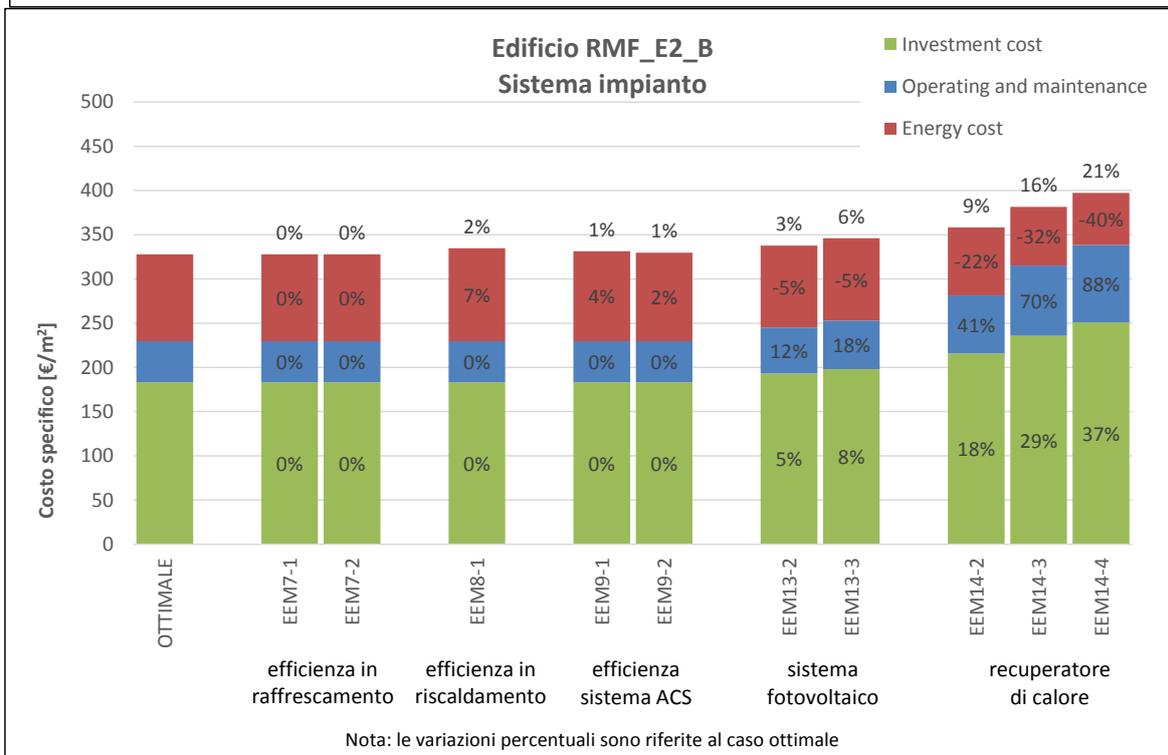
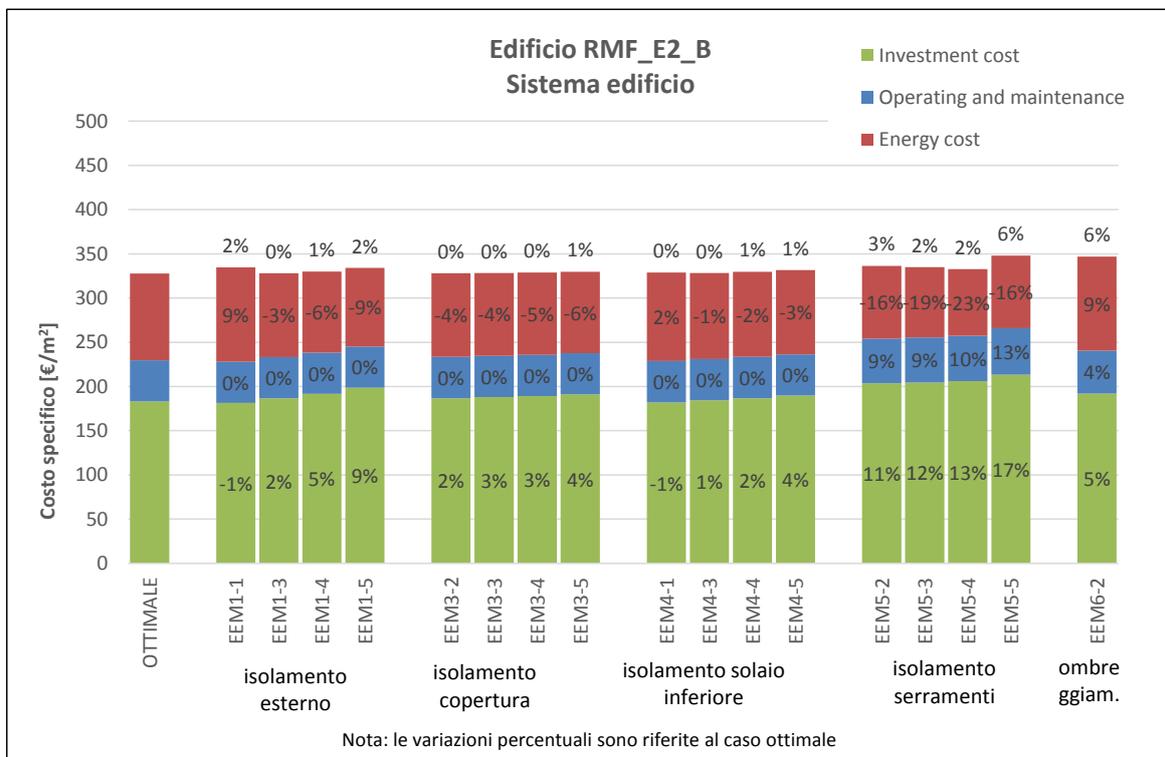
EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE (1946-1976)– ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



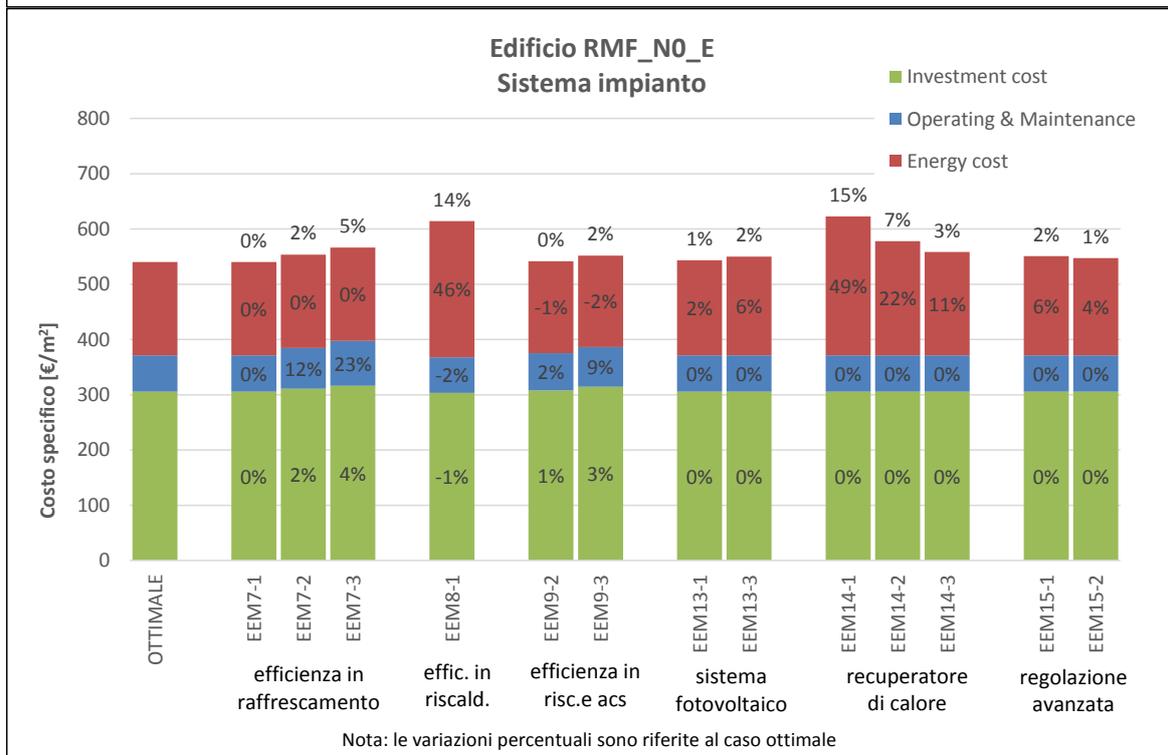
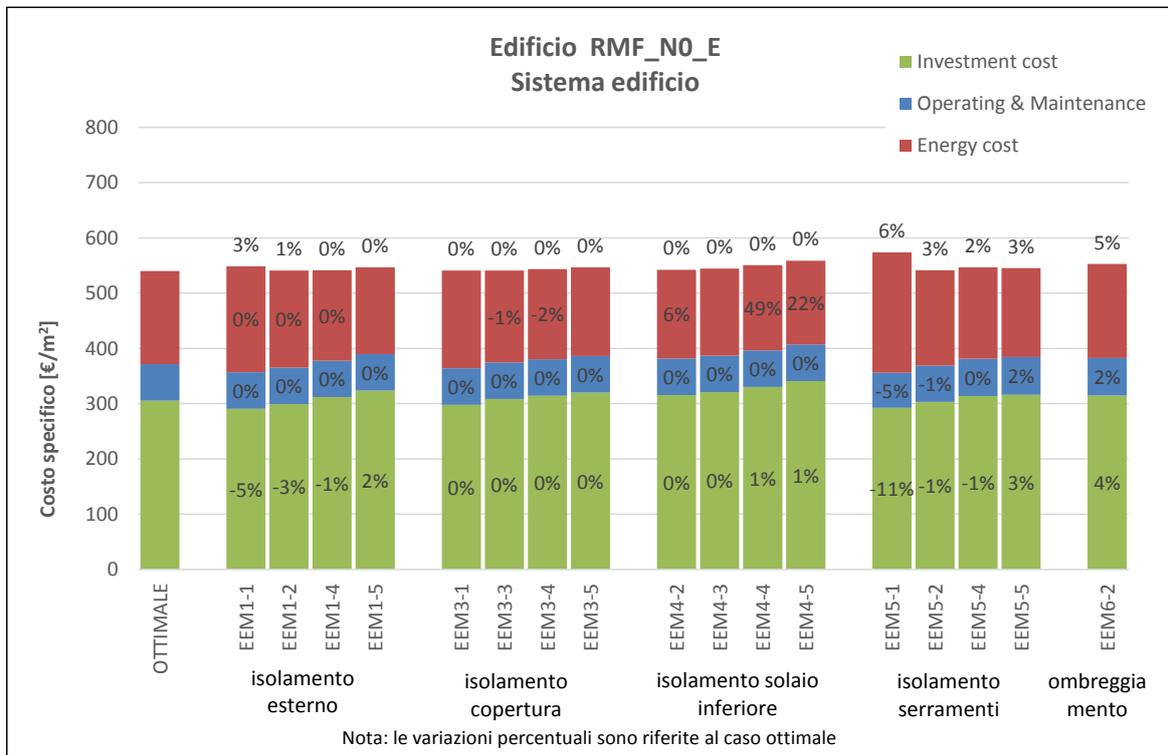
EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE (1977-1990)– ZONA CLIMATICA E (MILANO)



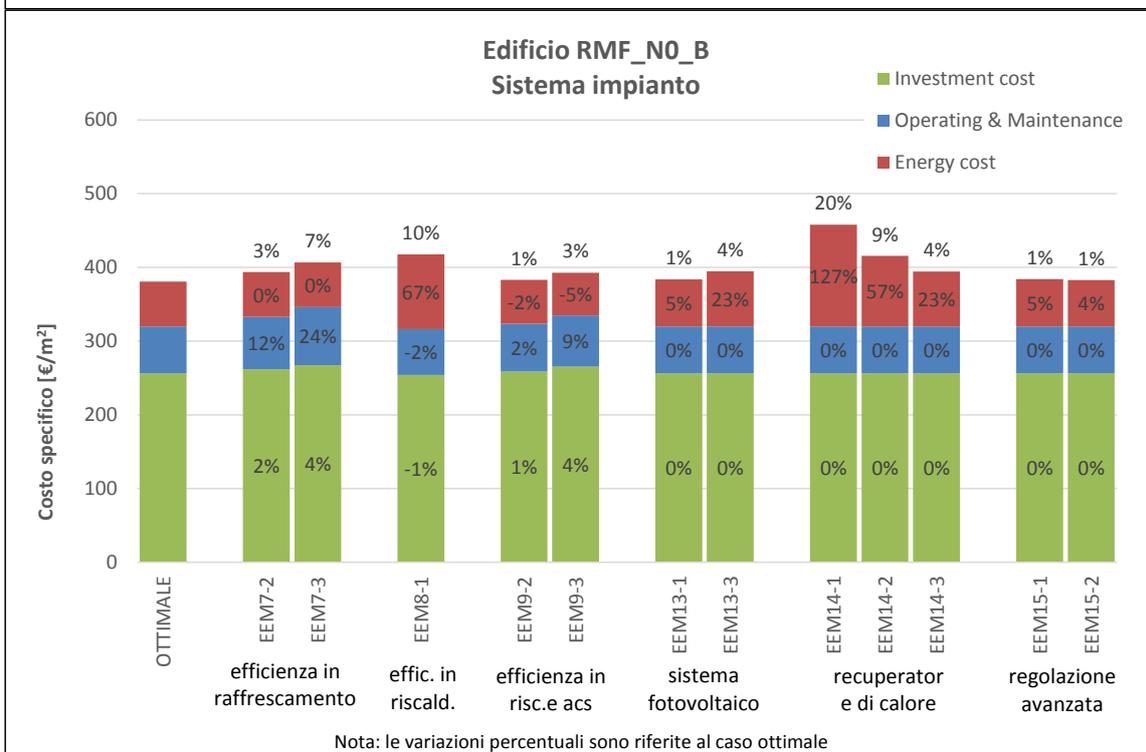
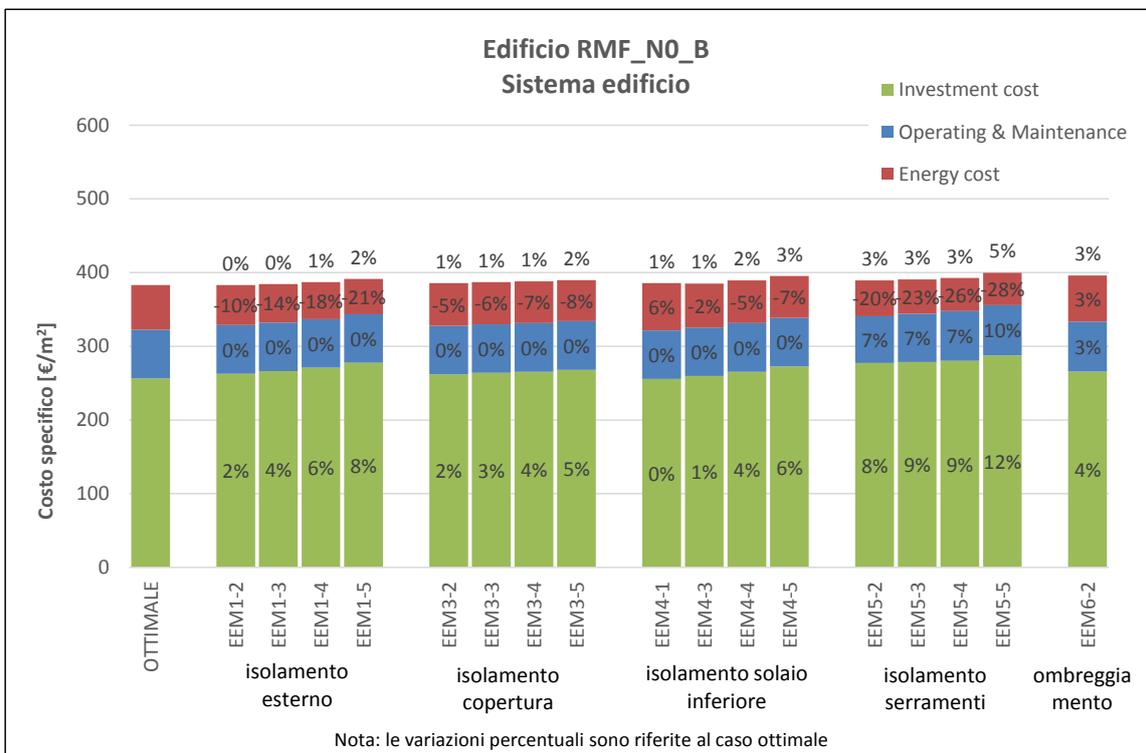
EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE (1977-1990)– ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



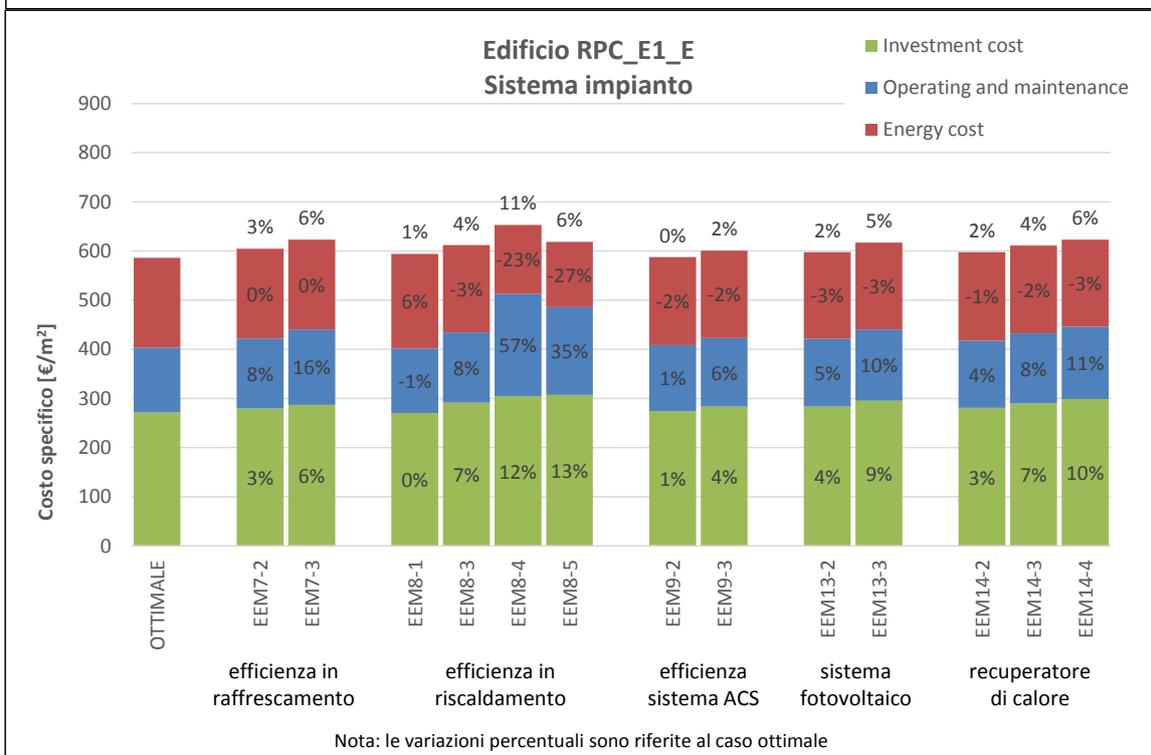
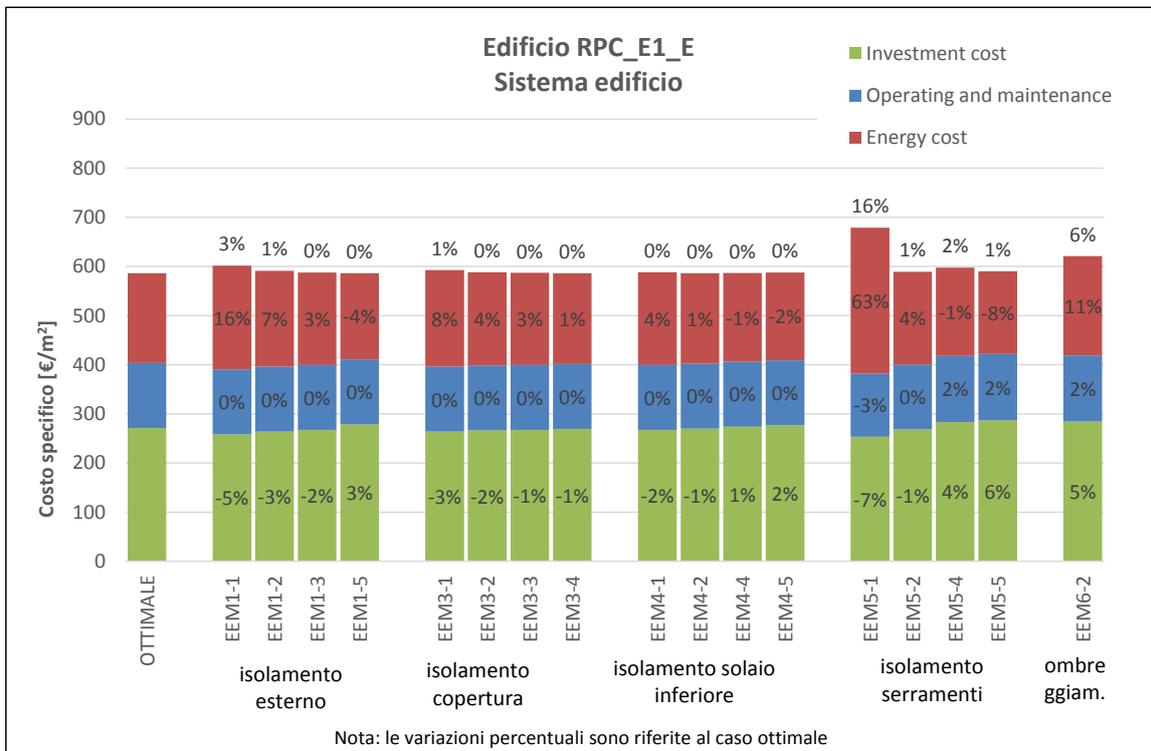
EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE NUOVO - ZONA CLIMATICA E (MILANO)



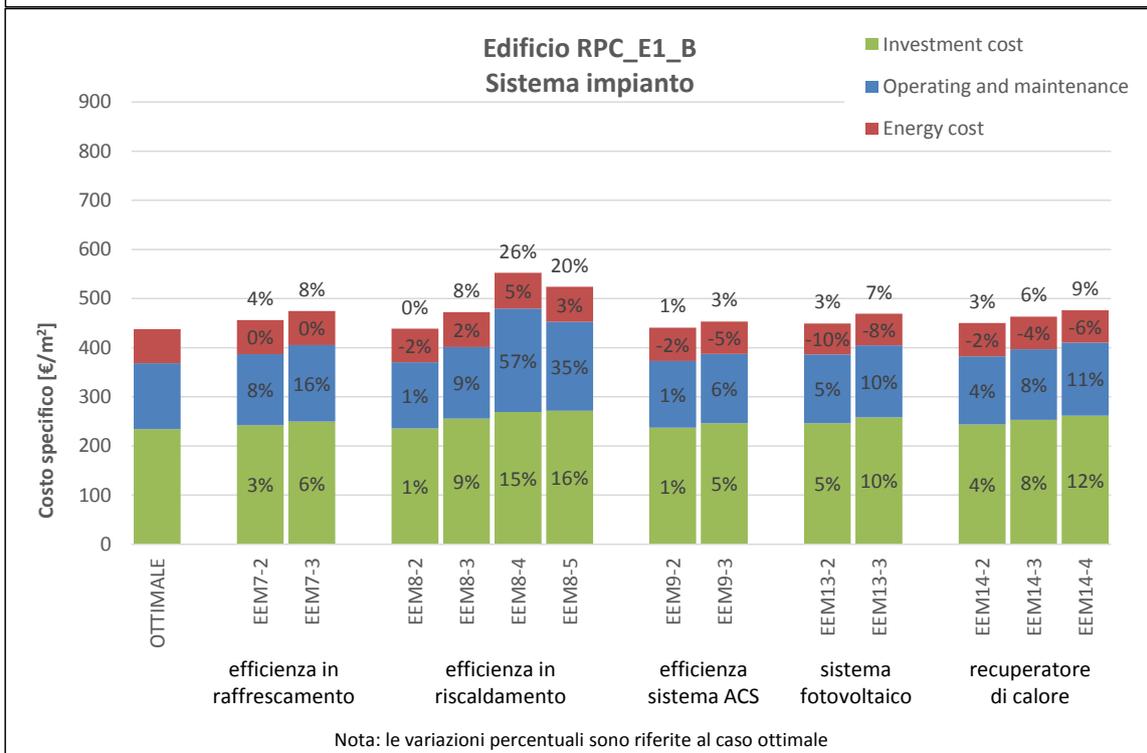
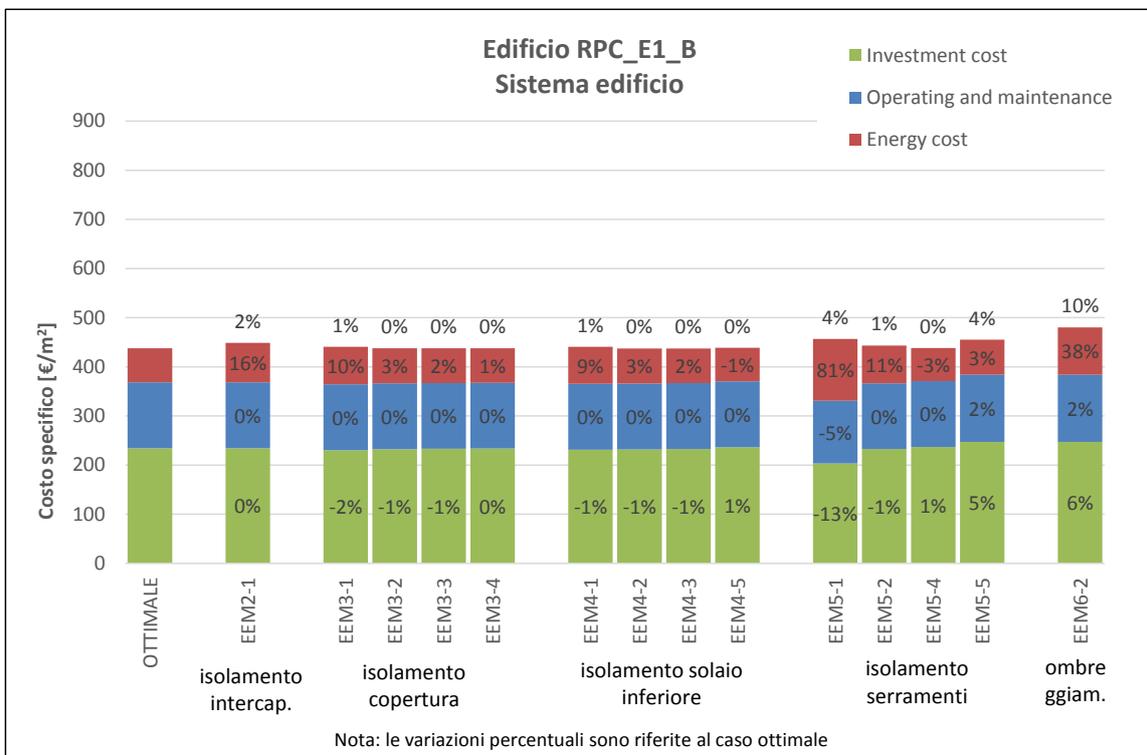
EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE NUOVO - ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



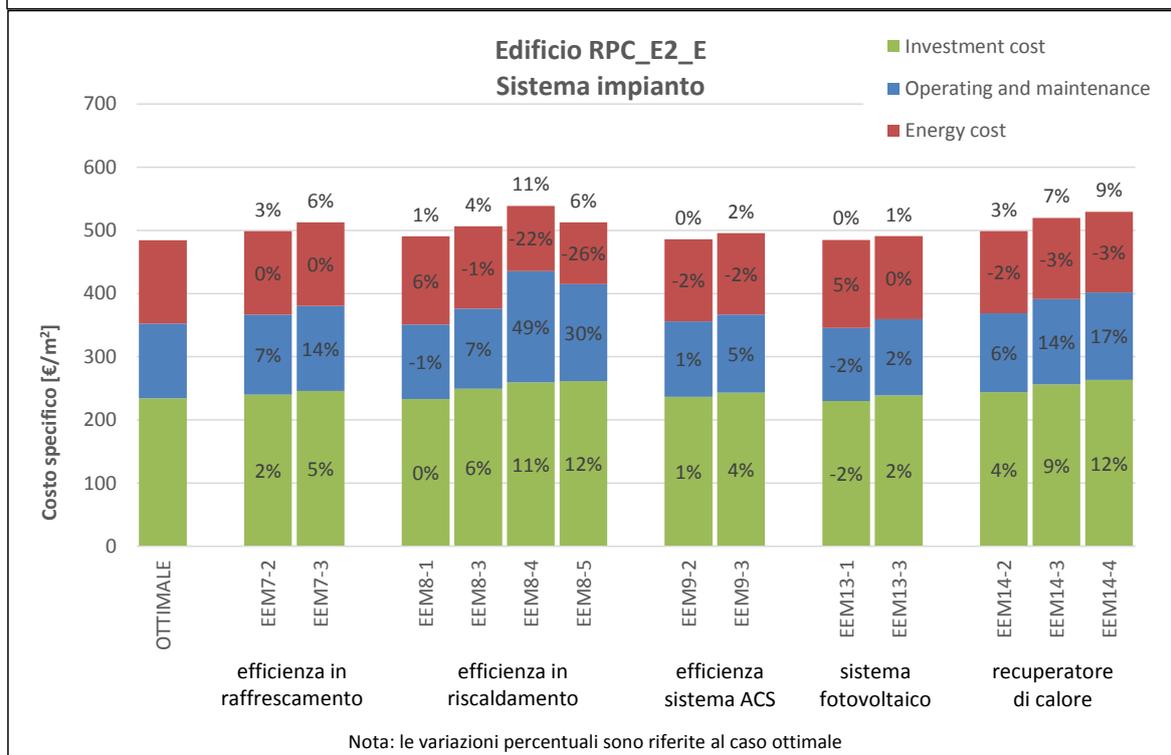
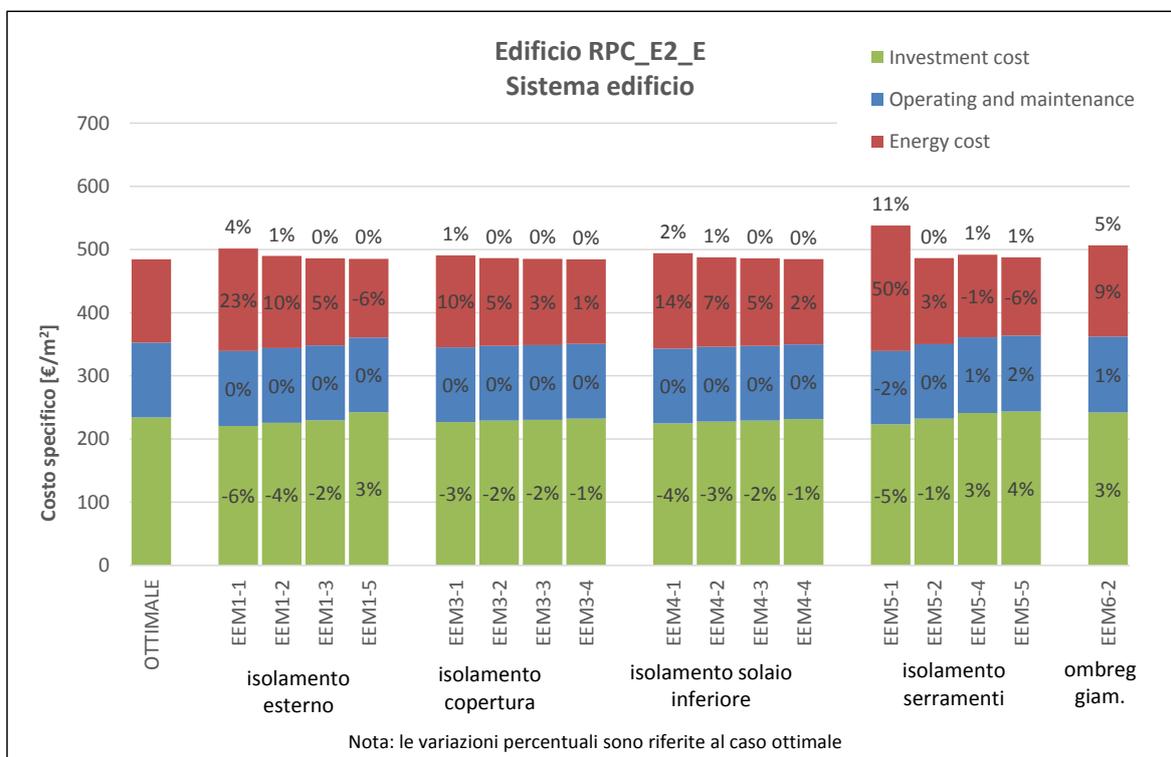
EDIFICIO RESIDENZIALE PICCOLO CONDOMINIO (1946-1976) - ZONA CLIMATICA E (MILANO)



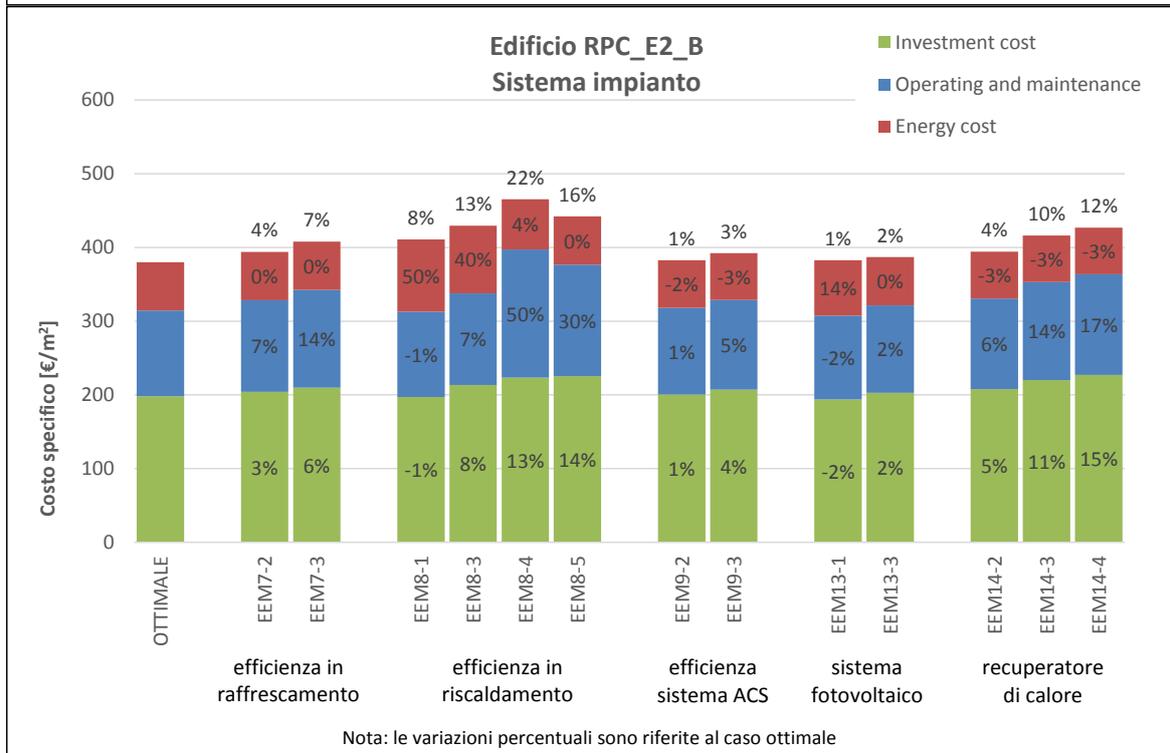
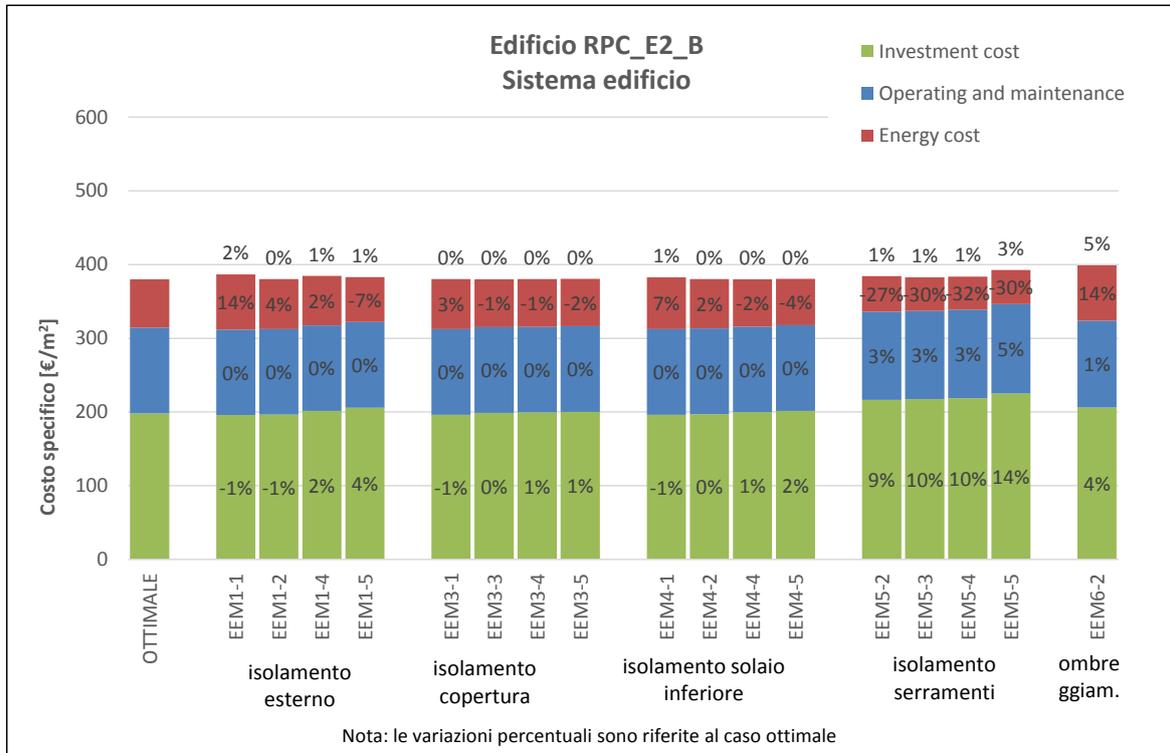
EDIFICIO RESIDENZIALE PICCOLO CONDOMINIO (1946-1976) - ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



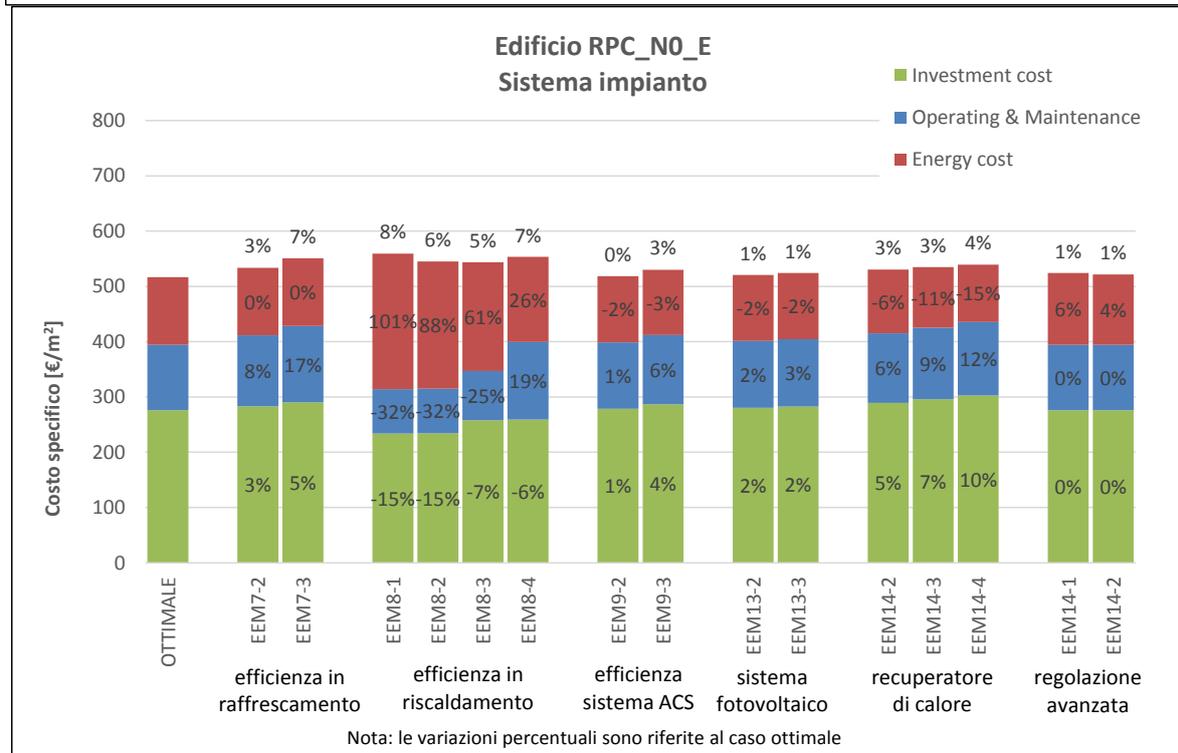
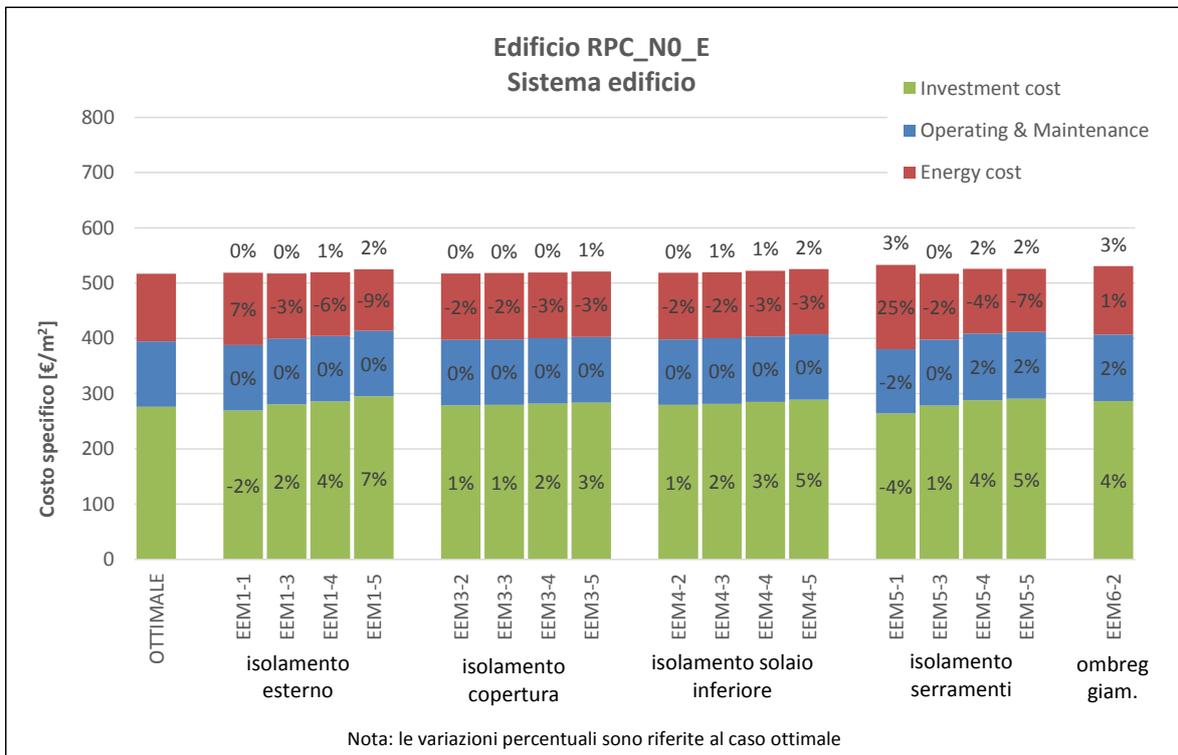
EDIFICIO RESIDENZIALE PICCOLO CONDOMINIO (1977-1990) - ZONA CLIMATICA E (MILANO)



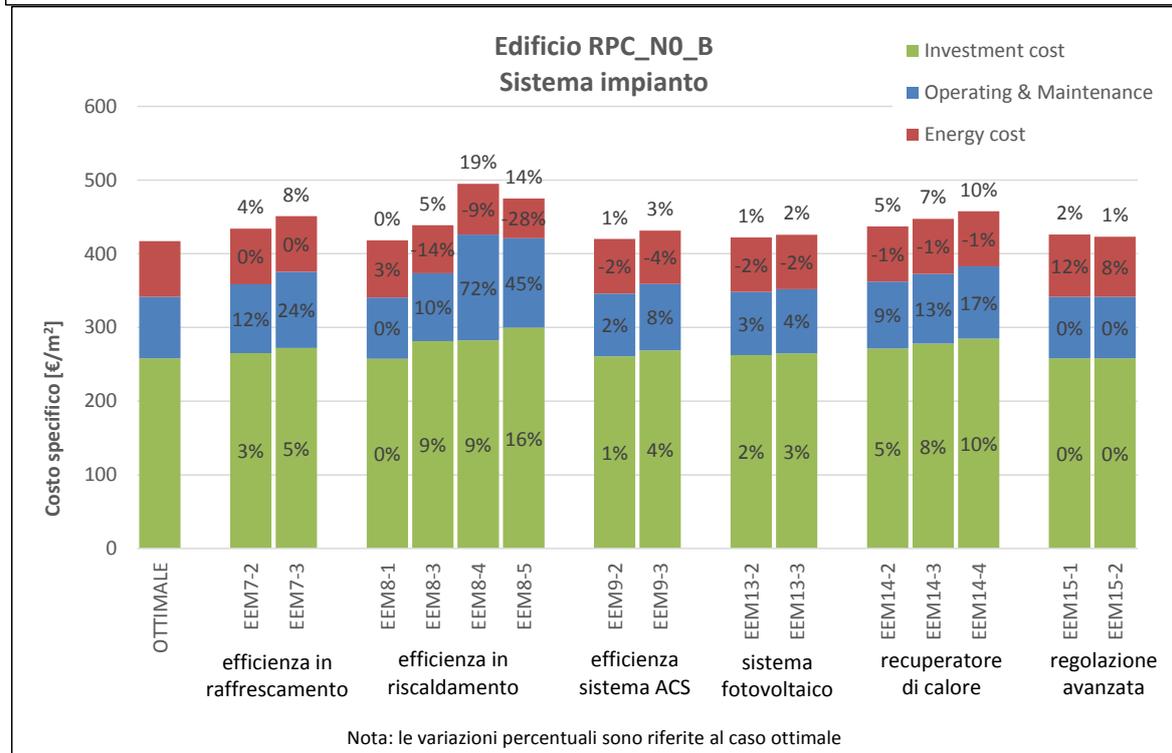
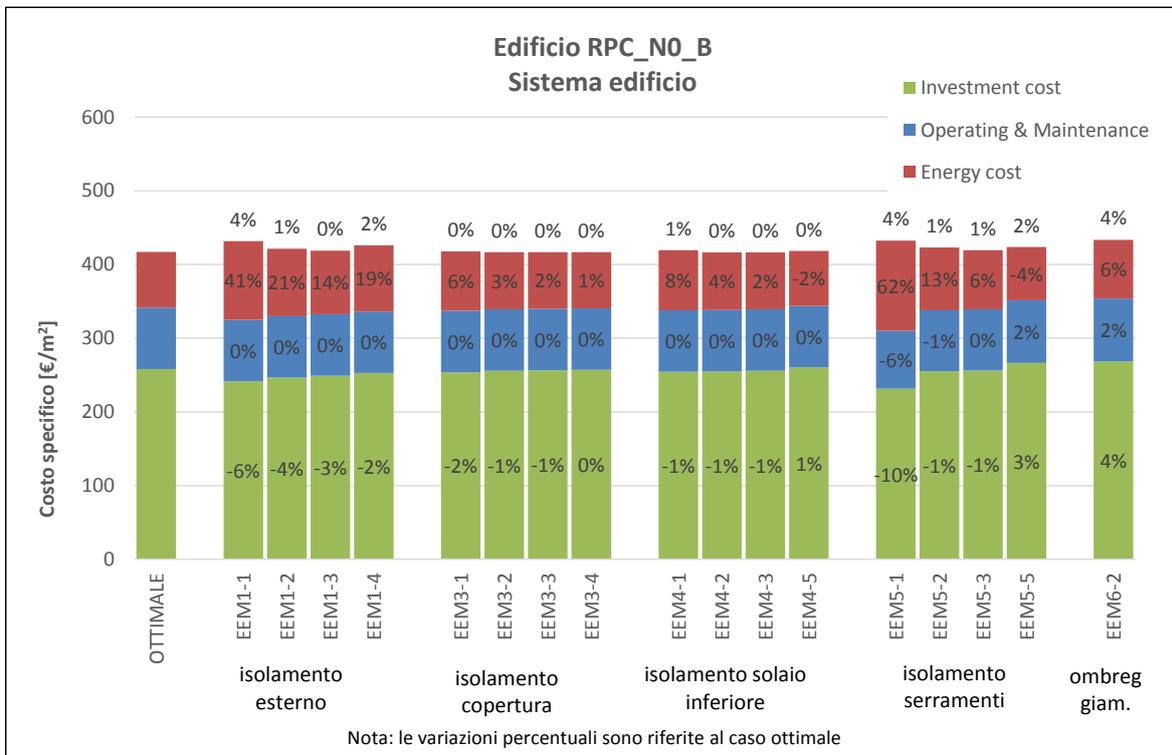
EDIFICIO RESIDENZIALE PICCOLO CONDOMINIO (1977-1990) - ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



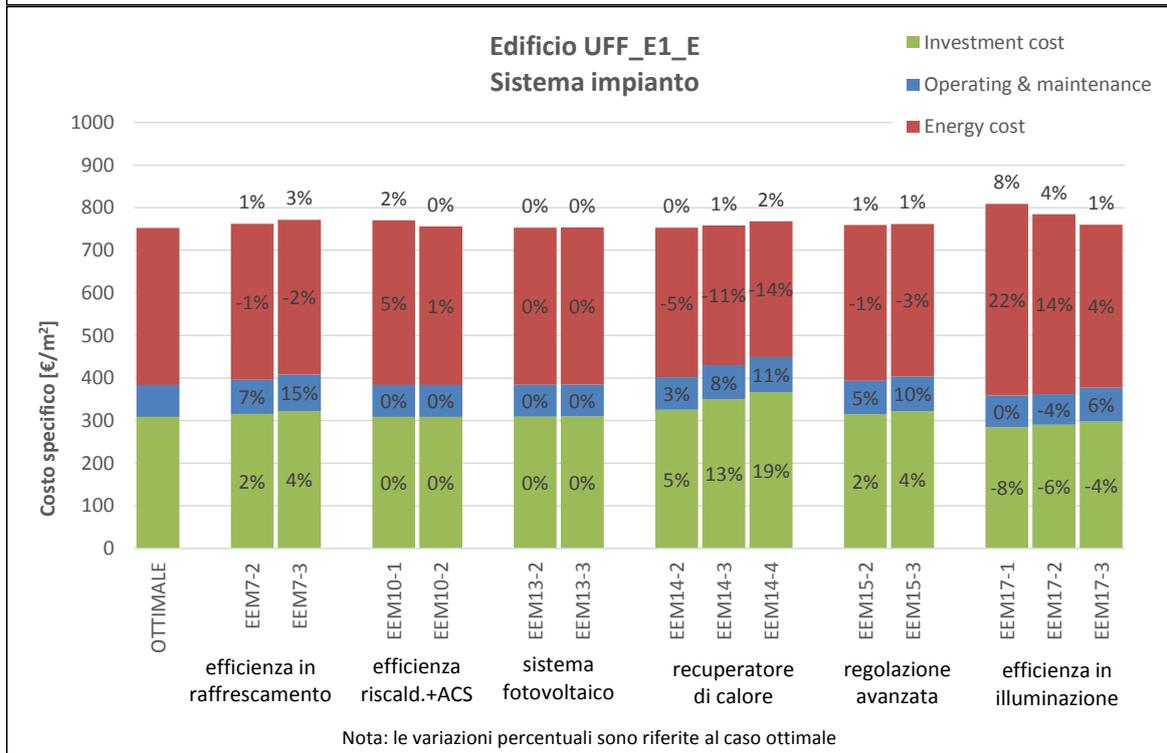
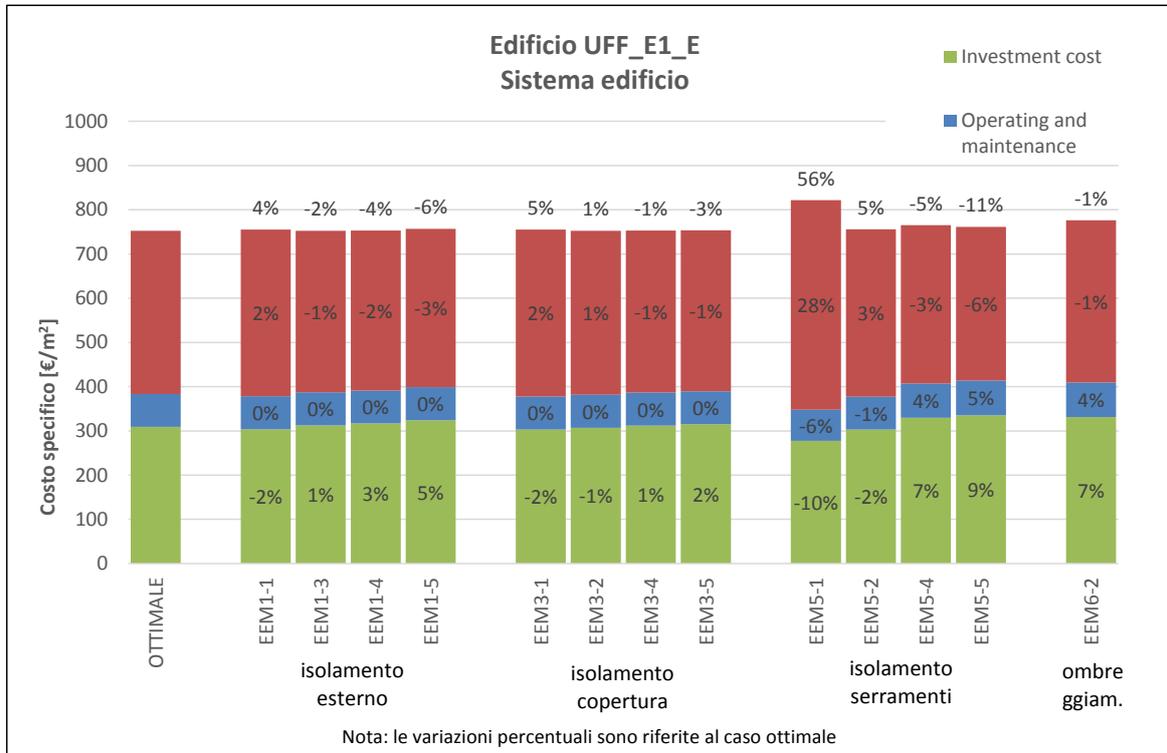
EDIFICIO RESIDENZIALE PICCOLO CONDOMINIO NUOVO - ZONA CLIMATICA E (MILANO)



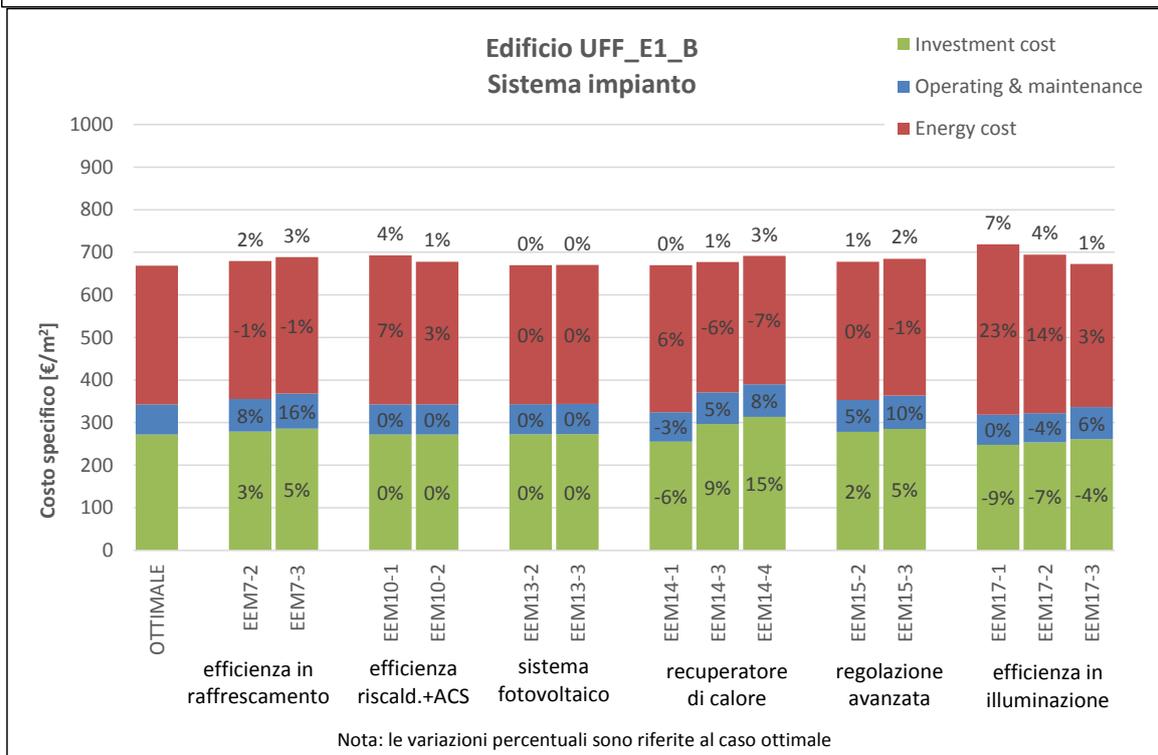
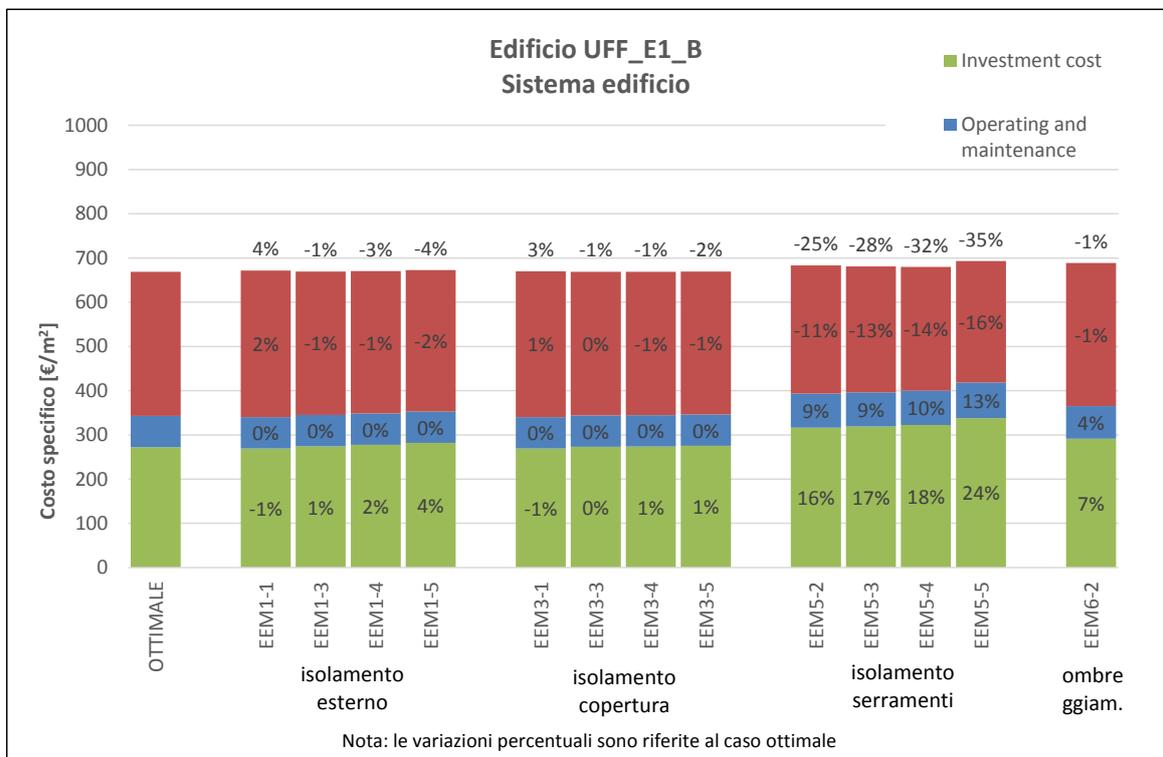
EDIFICIO RESIDENZIALE PICCOLO CONDOMINIO NUOVO - ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



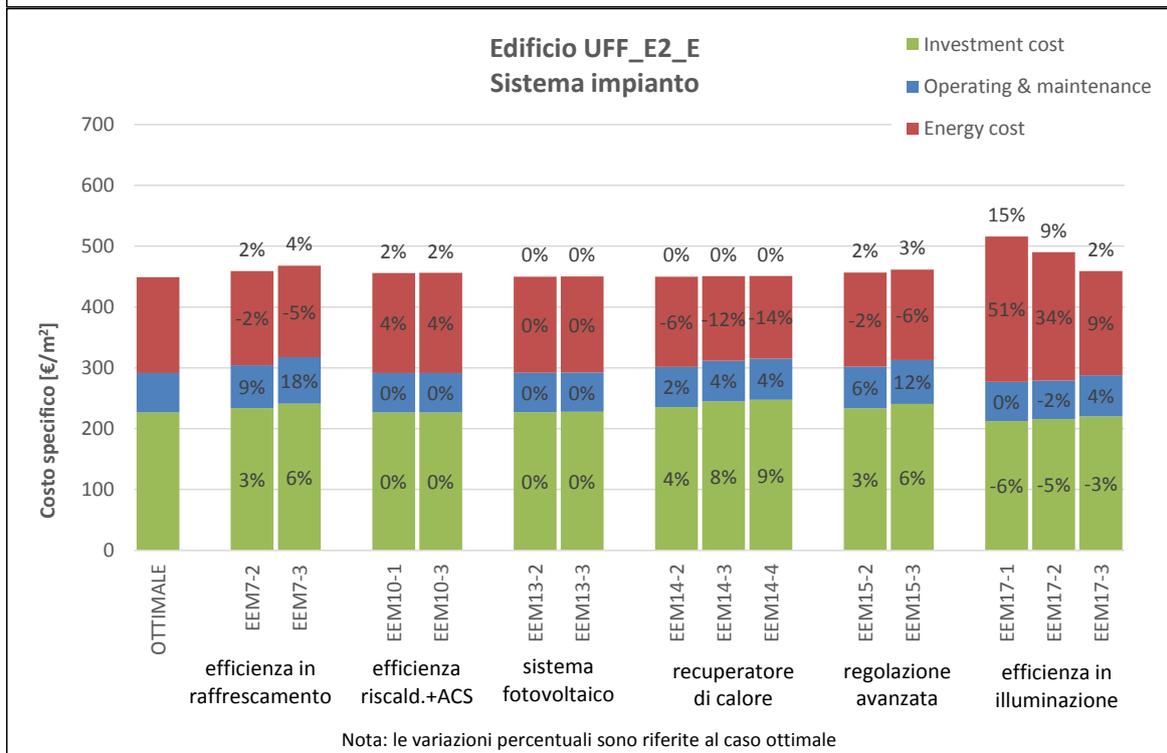
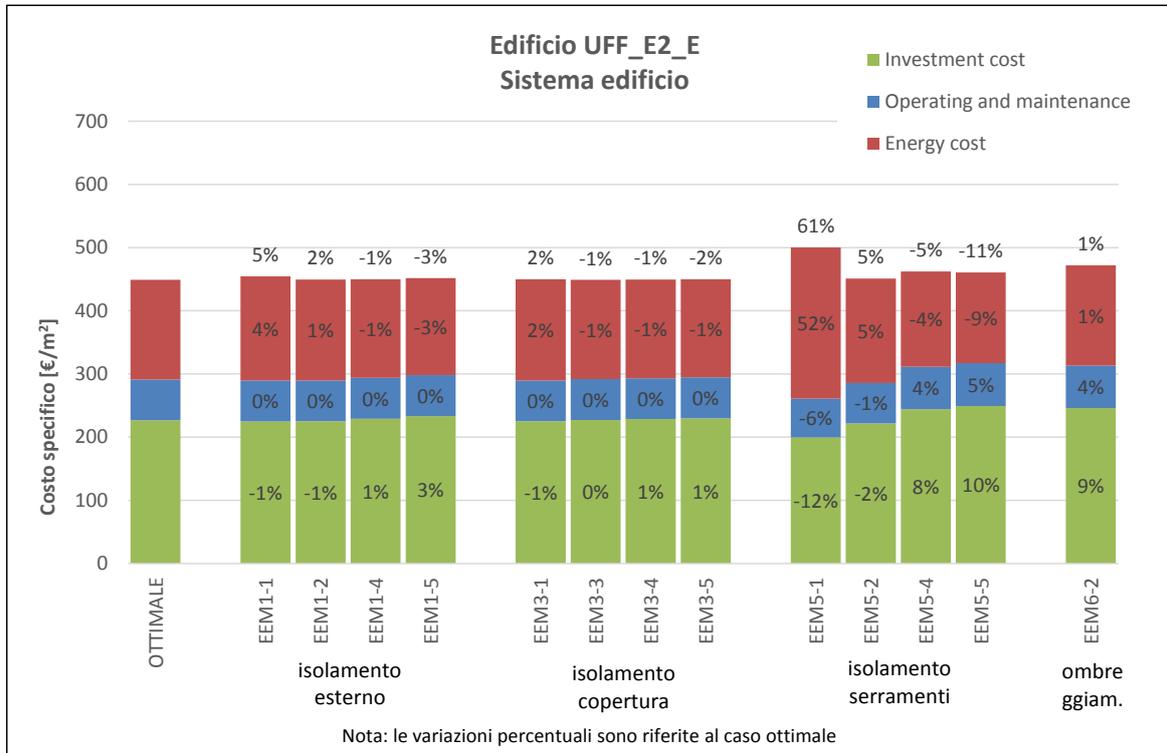
EDIFICIO PER UFFICI (1946-1976) – ZONA CLIMATICA E (MILANO)



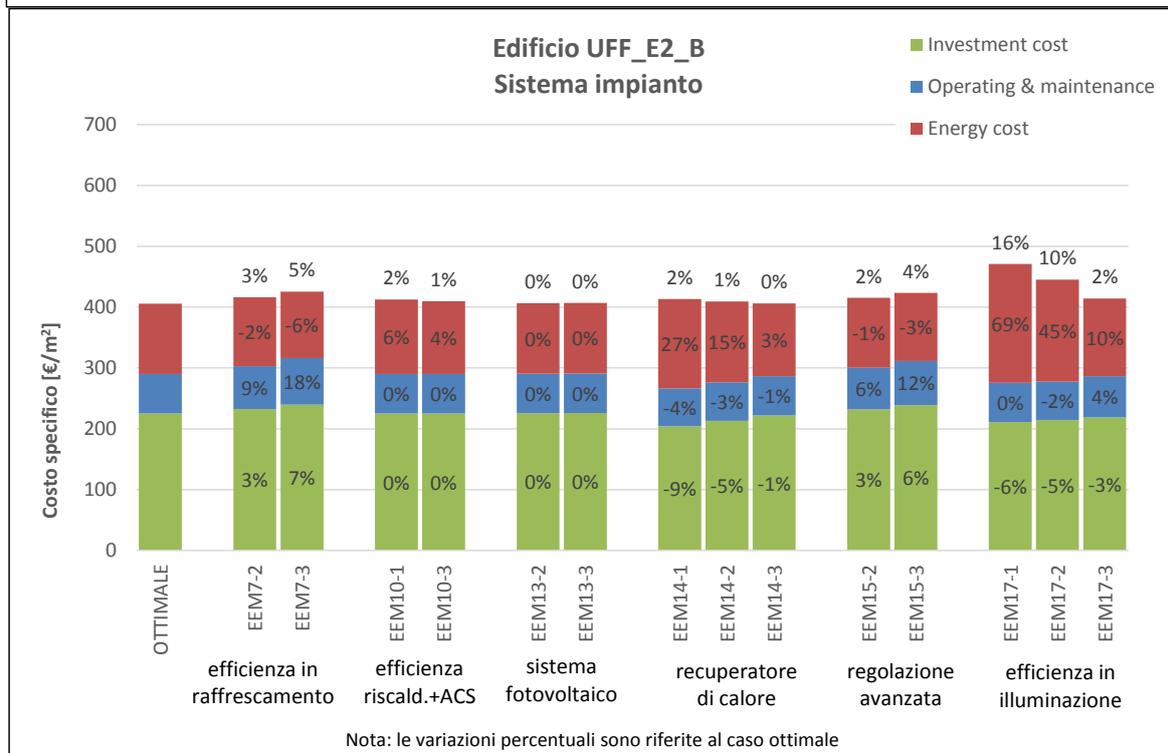
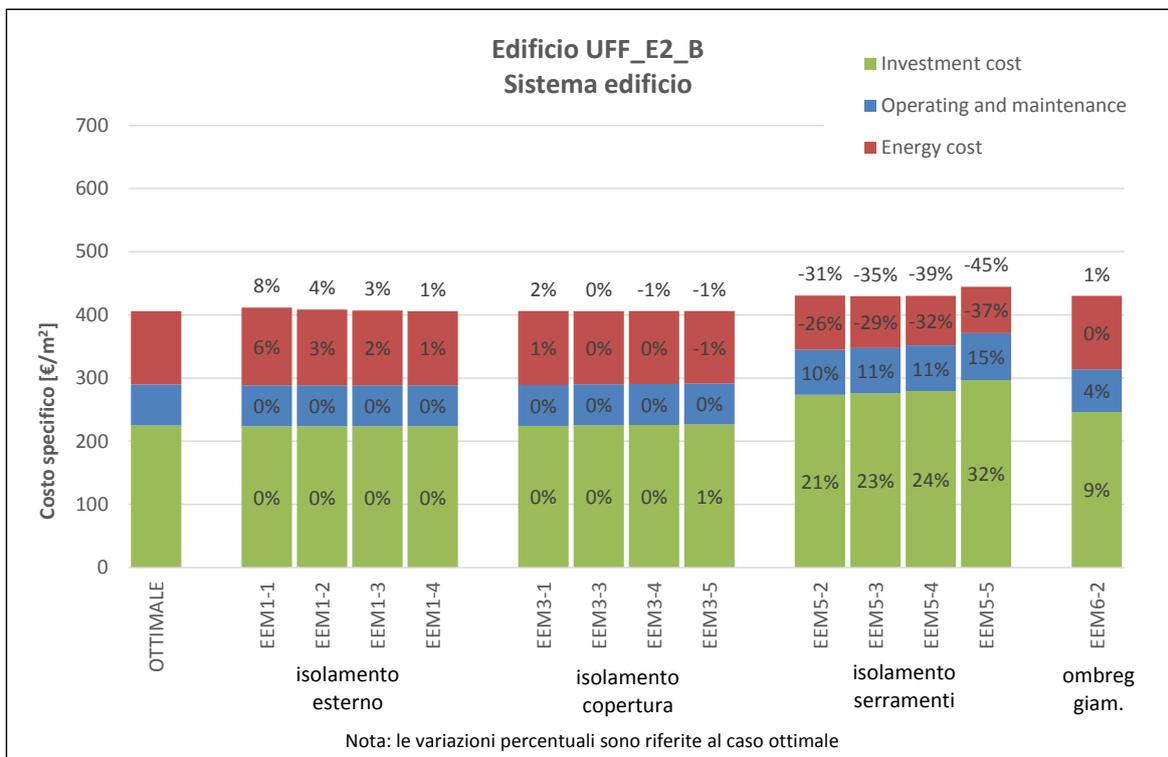
EDIFICIO PER UFFICI (1946-1976) – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



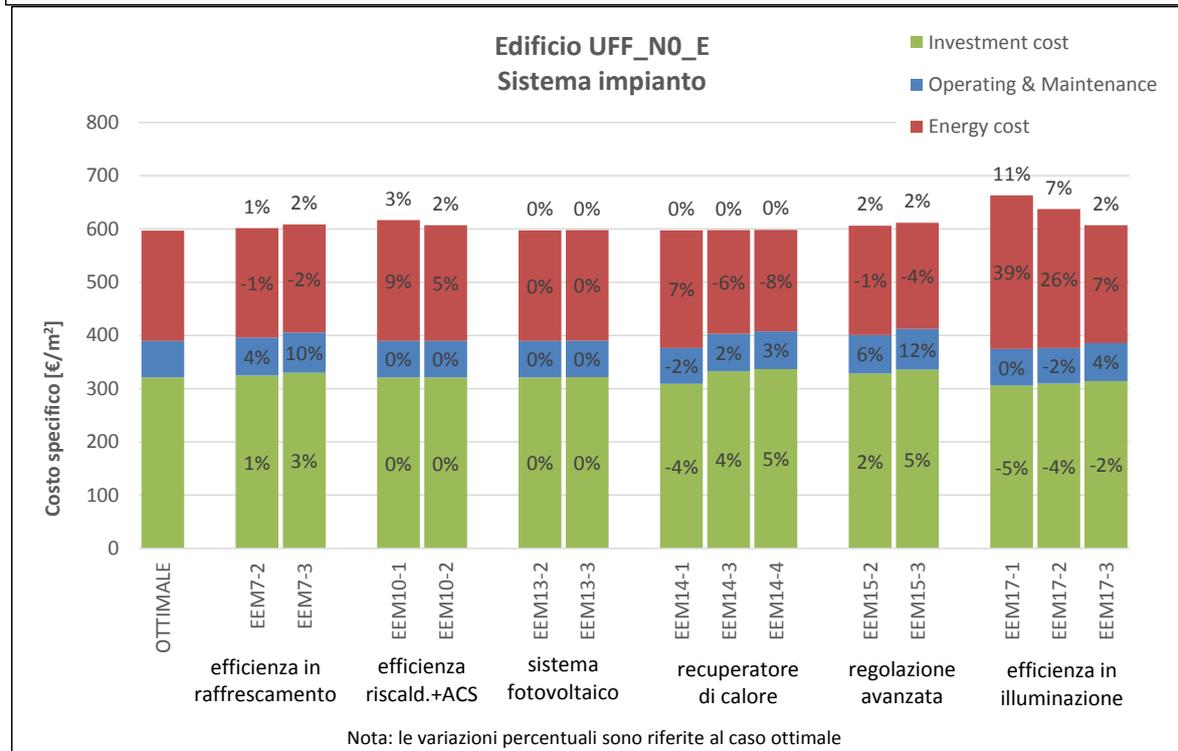
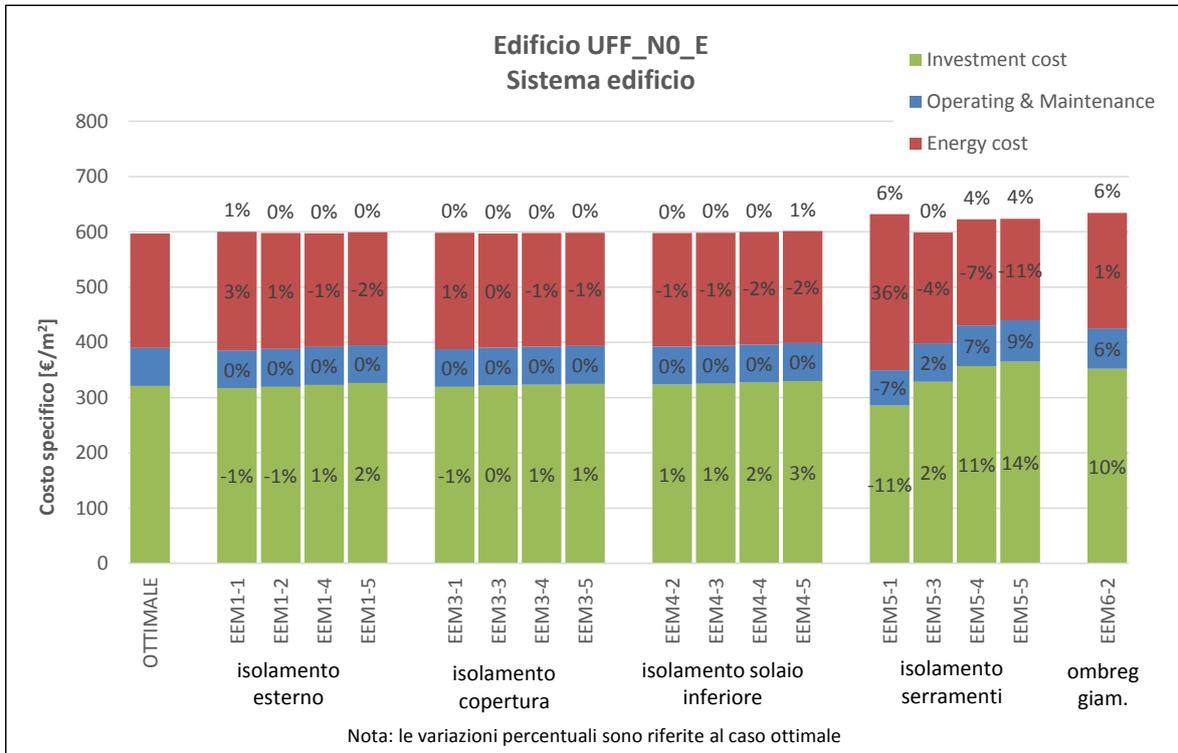
EDIFICIO PER UFFICI (1977-1990) – ZONA CLIMATICA E (MILANO)



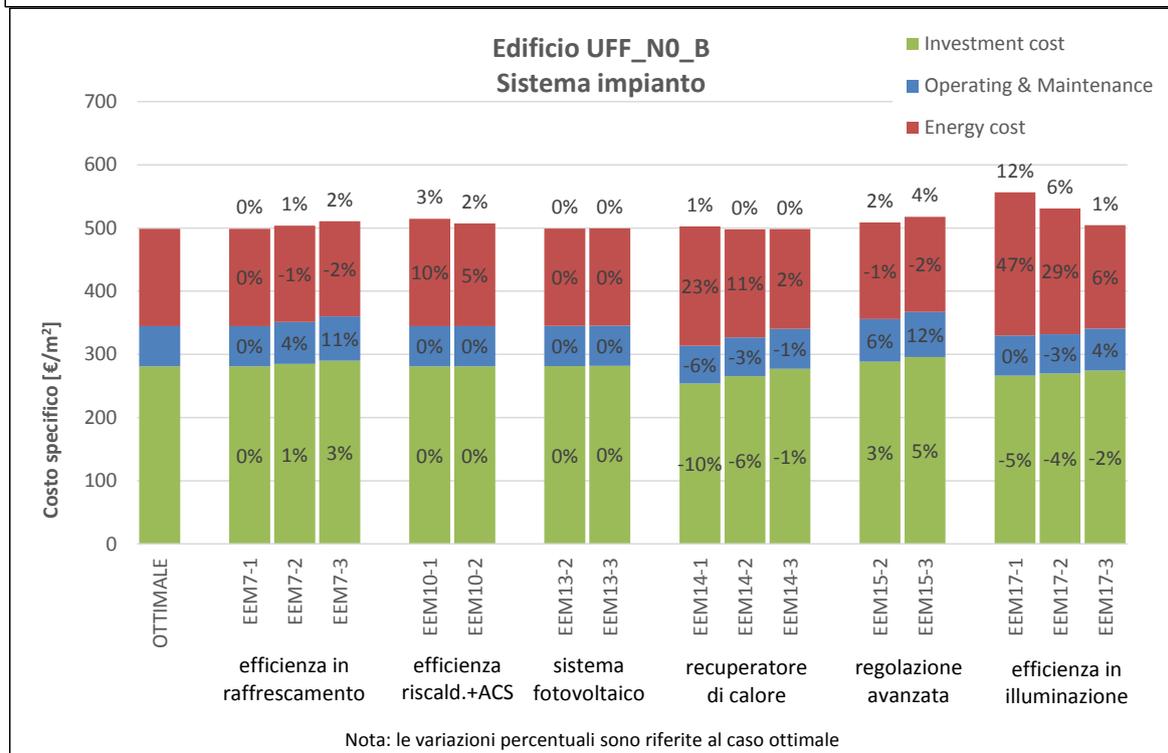
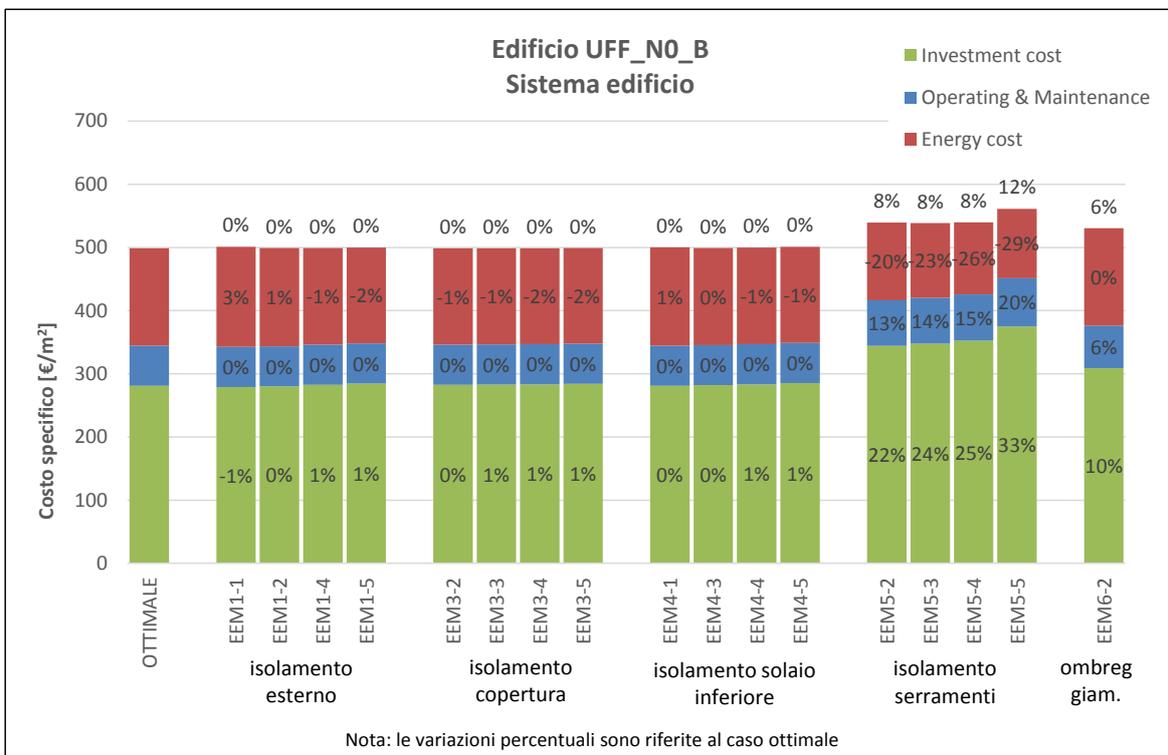
EDIFICIO PER UFFICI (1977-1990) – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



EDIFICIO PER UFFICI NUOVO- ZONA CLIMATICA E (MILANO)



EDIFICIO PER UFFICI NUOVO- ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



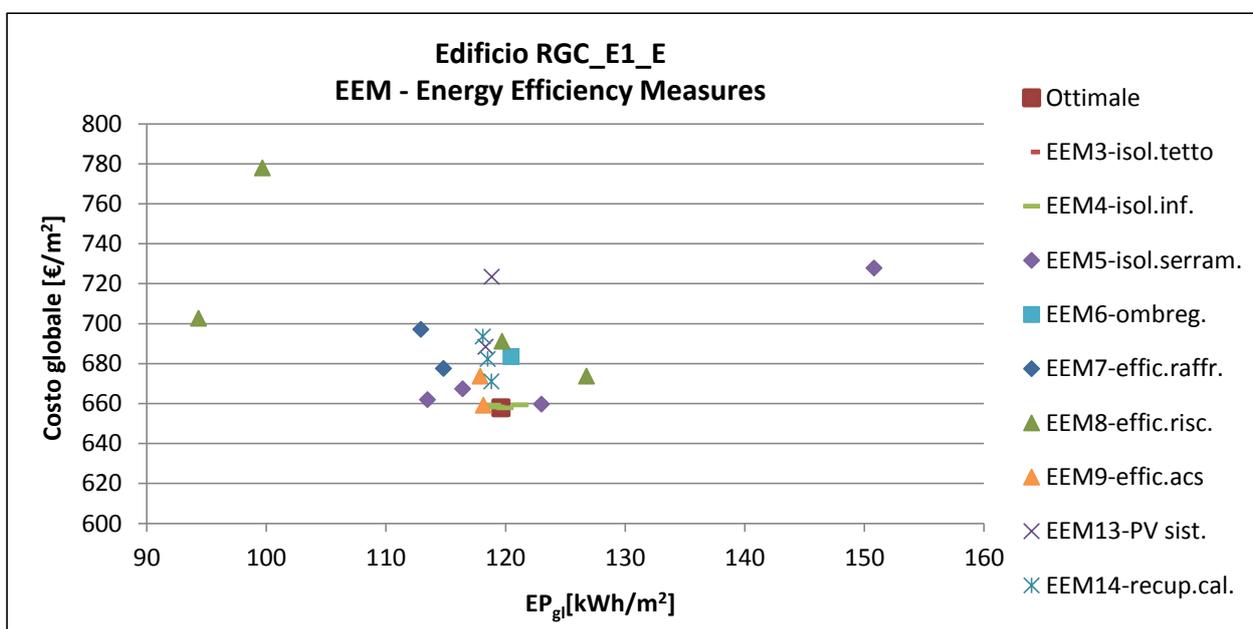
Grafici EEM globali

Le immagini seguenti riportano il valore di costo globale per unità di superficie in funzione dell'indice di prestazione energetica globale. Il costo globale è calcolato per ogni livello prestazionale e per ogni misura di efficienza energetica facendo variare singolarmente i diversi livelli di prestazione delle diverse misure di efficienza energetica.

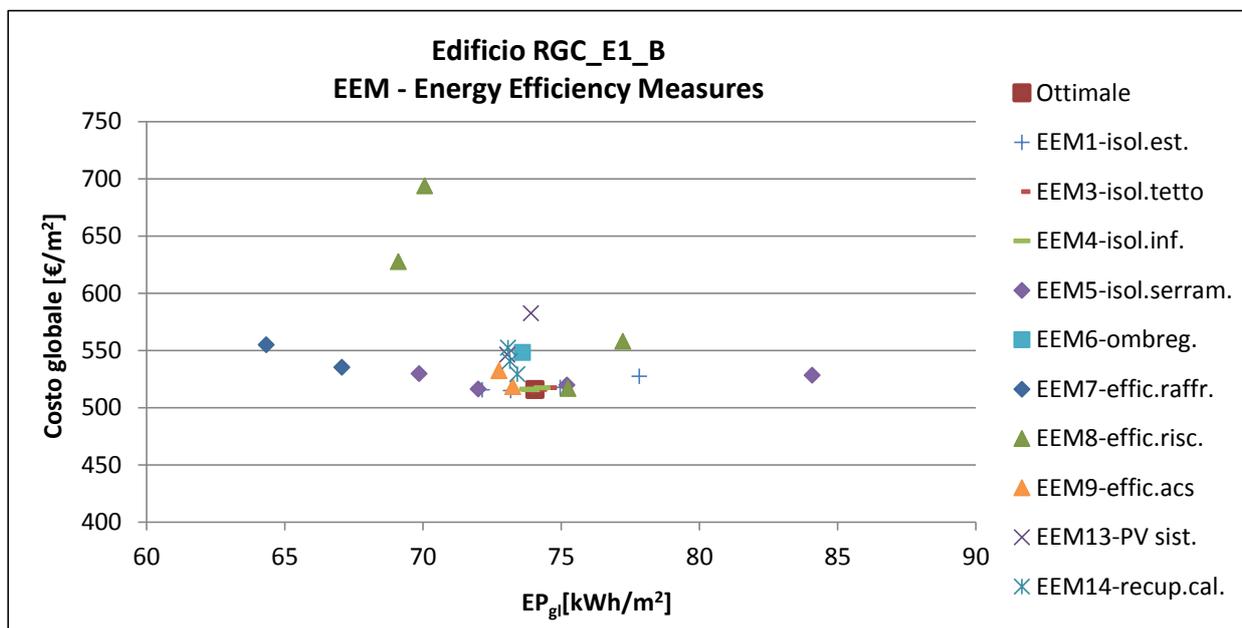
I dati relativi ai livelli prestazionali sono raccolti in serie rappresentate da un unico simbolo grafico per analoga misura di efficienza energetica. Tutti i grafici evidenziano il pacchetto ottimale.

Come si nota dai grafici seguenti, l'ottimale è il punto più in basso rispetto a tutti gli altri valori di costo globale.

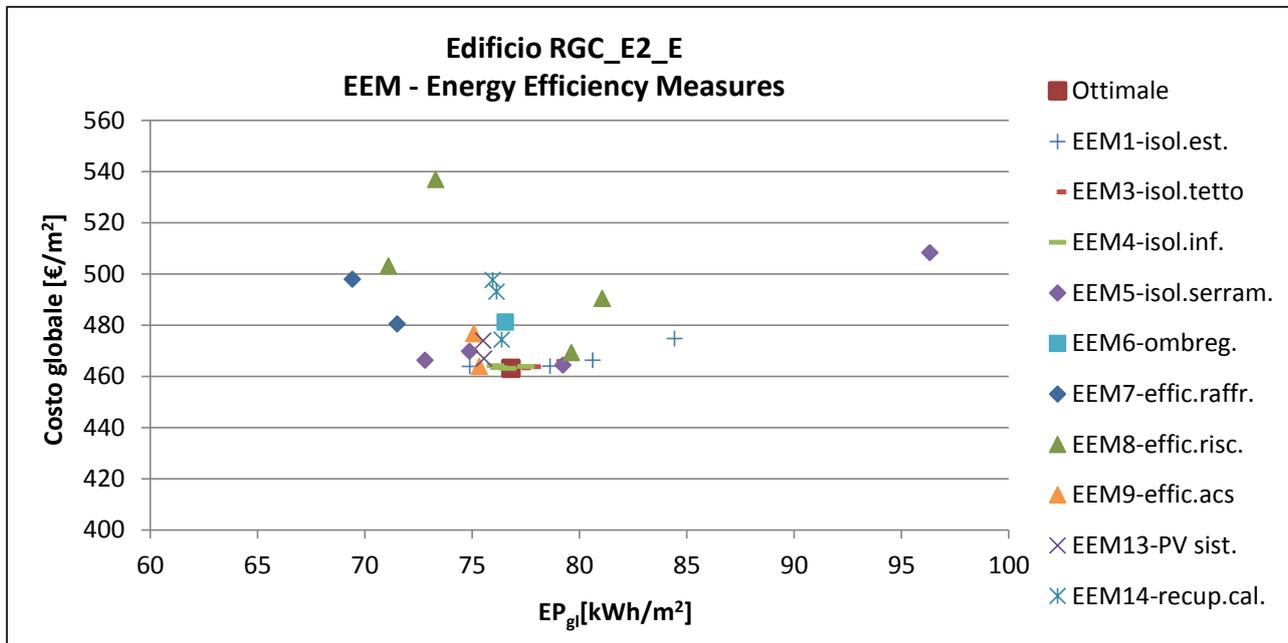
EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO (1946-1976) – ZONA CLIMATICA E (MILANO)



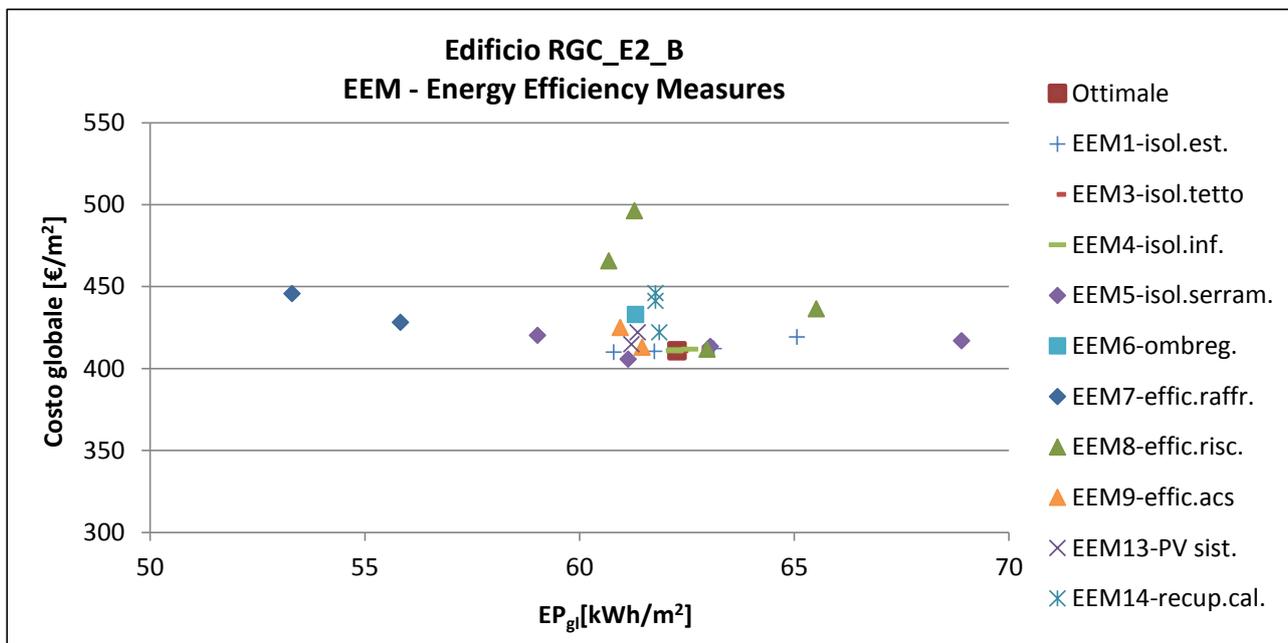
EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO (1946-1976) – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



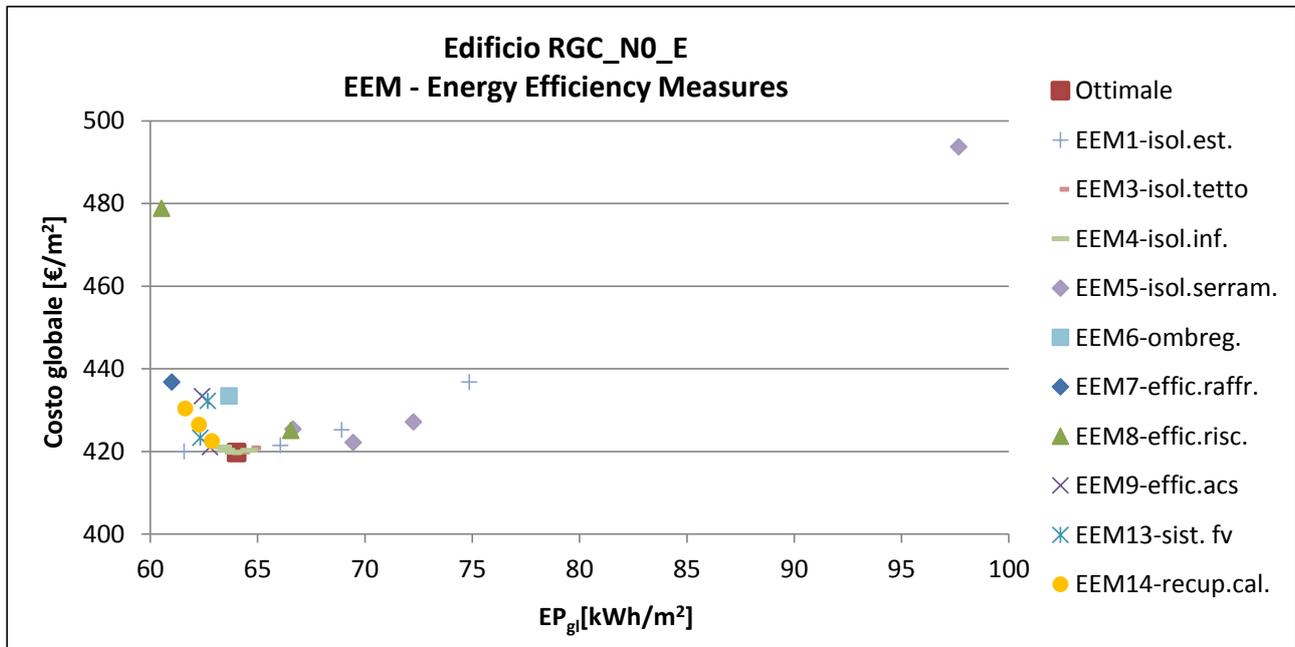
EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO (1977-1990) – ZONA CLIMATICA E (MILANO)



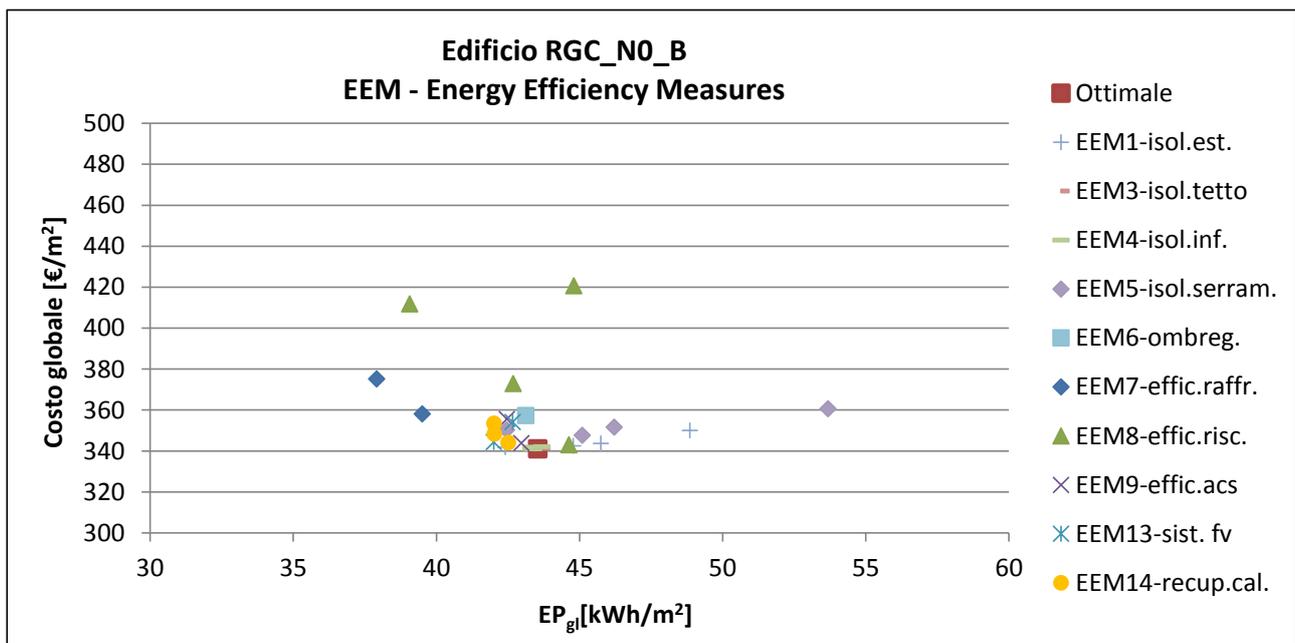
EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO (1977-1990) – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



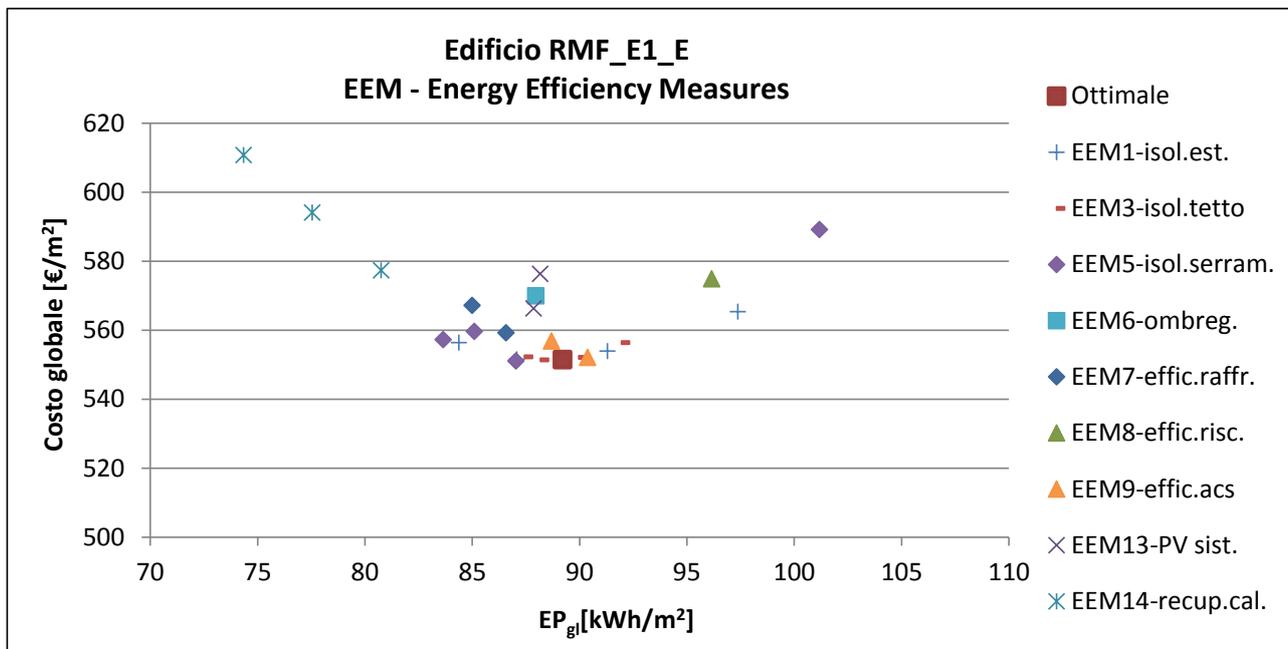
EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO NUOVO – ZONA CLIMATICA E (MILANO)



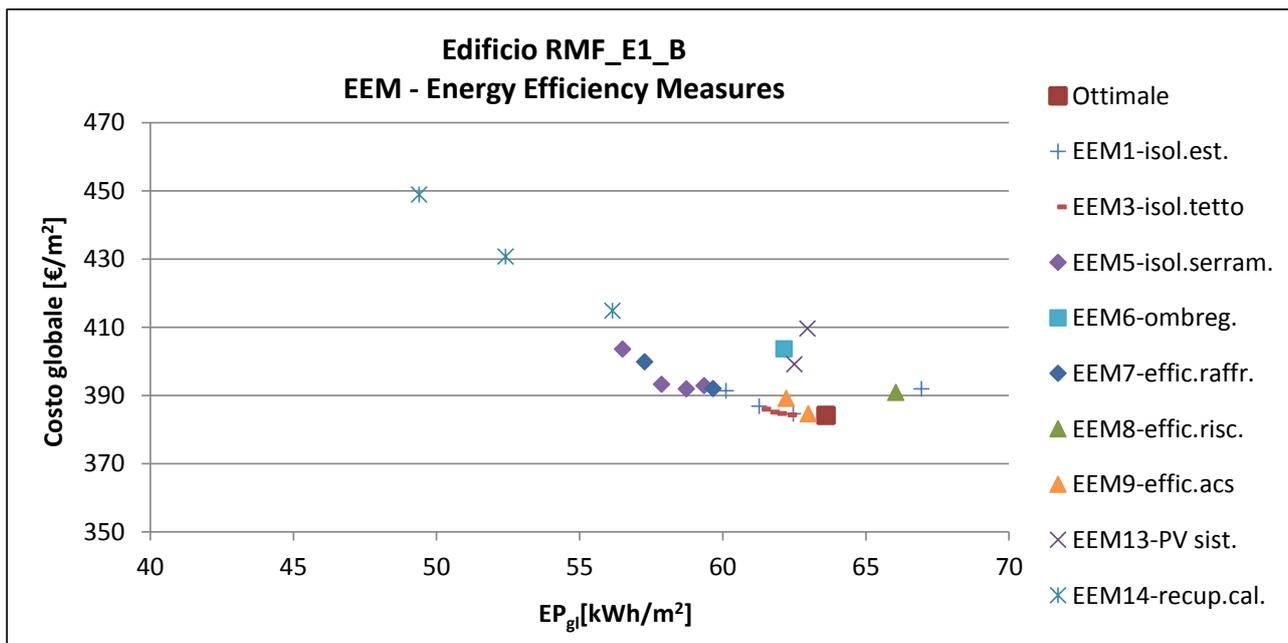
EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO NUOVO – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



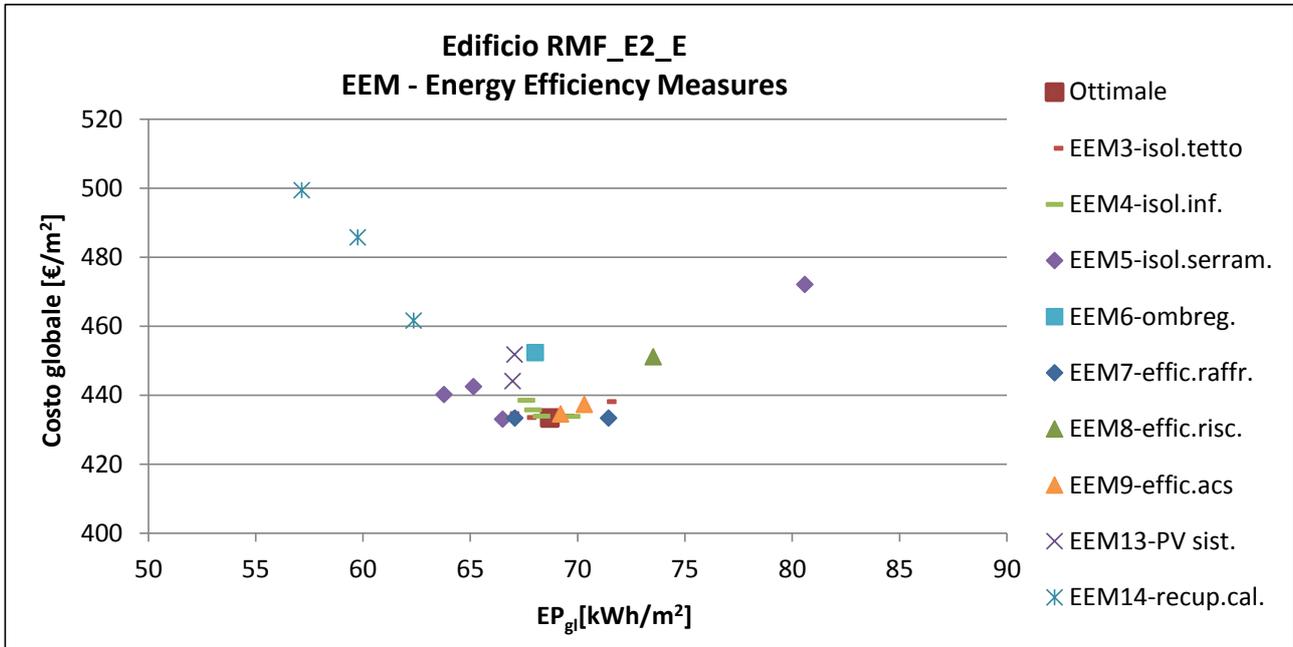
EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE (1946-1976)– ZONA CLIMATICA E (MILANO)



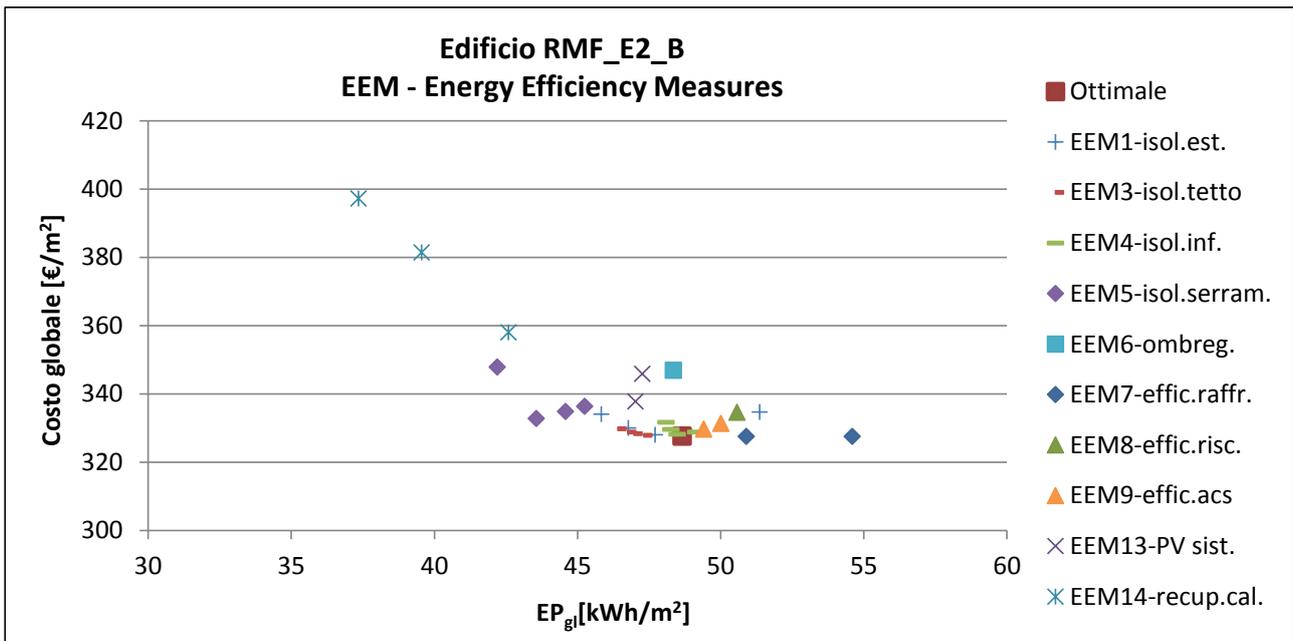
EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE (1946-1976)– ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



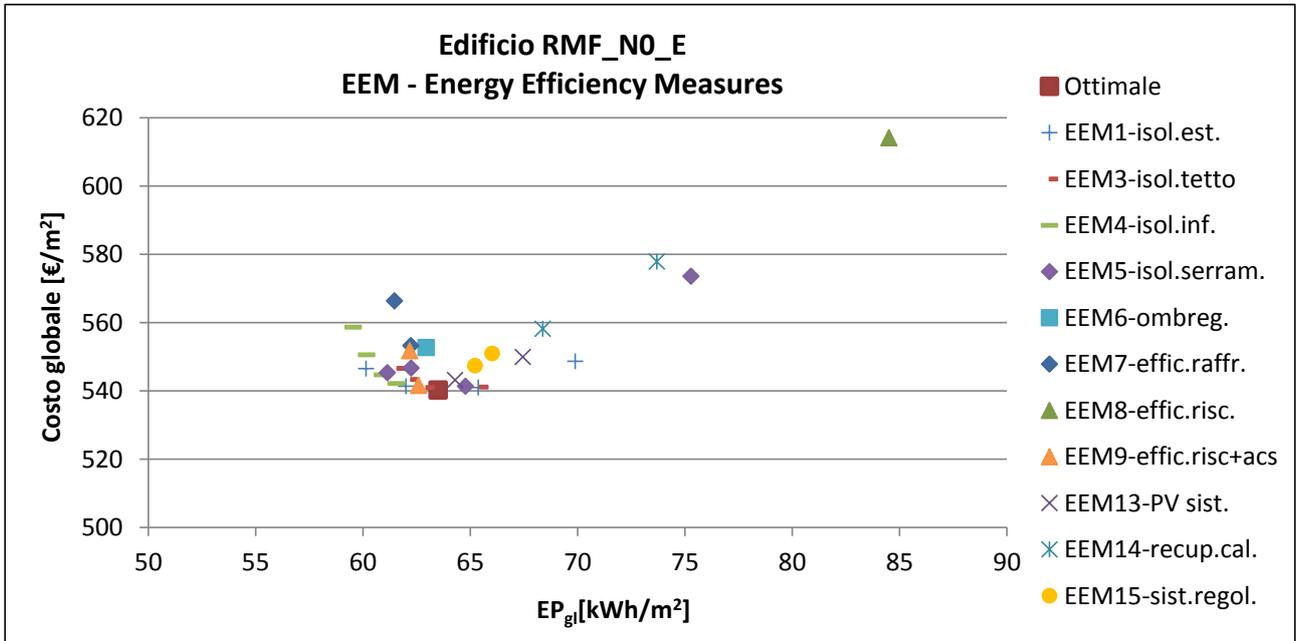
EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE (1977-1990)– ZONA CLIMATICA E (MILANO)



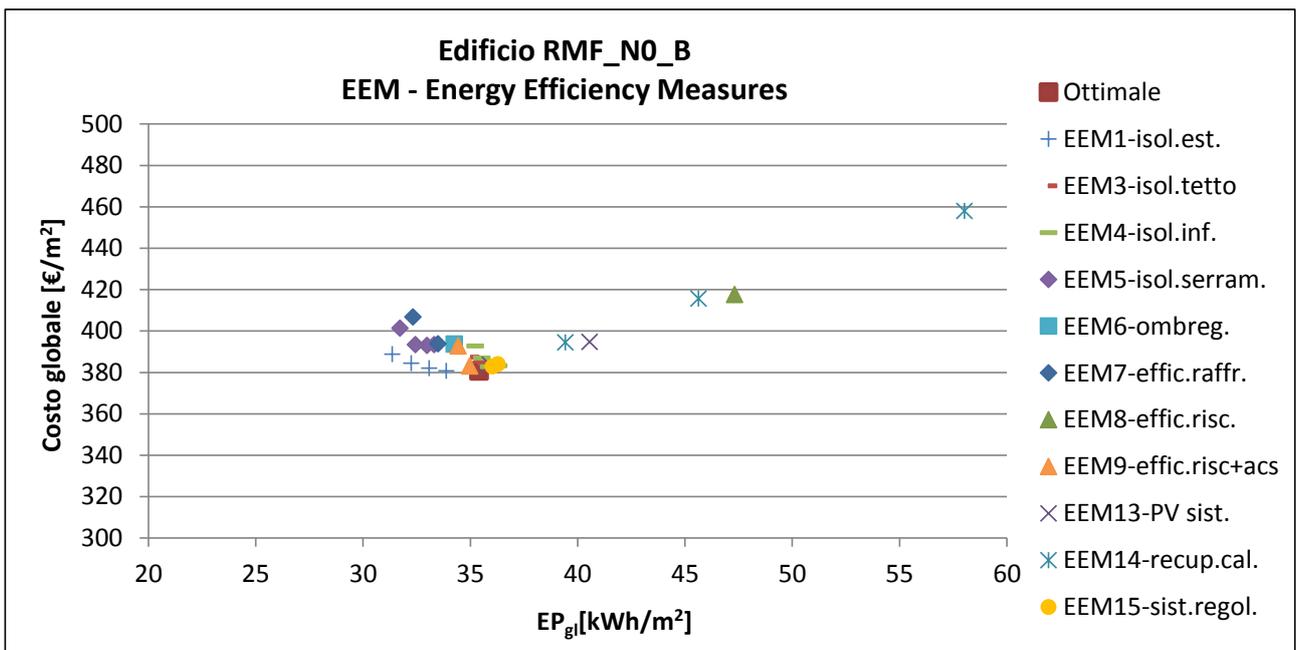
EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE (1977-1990)– ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



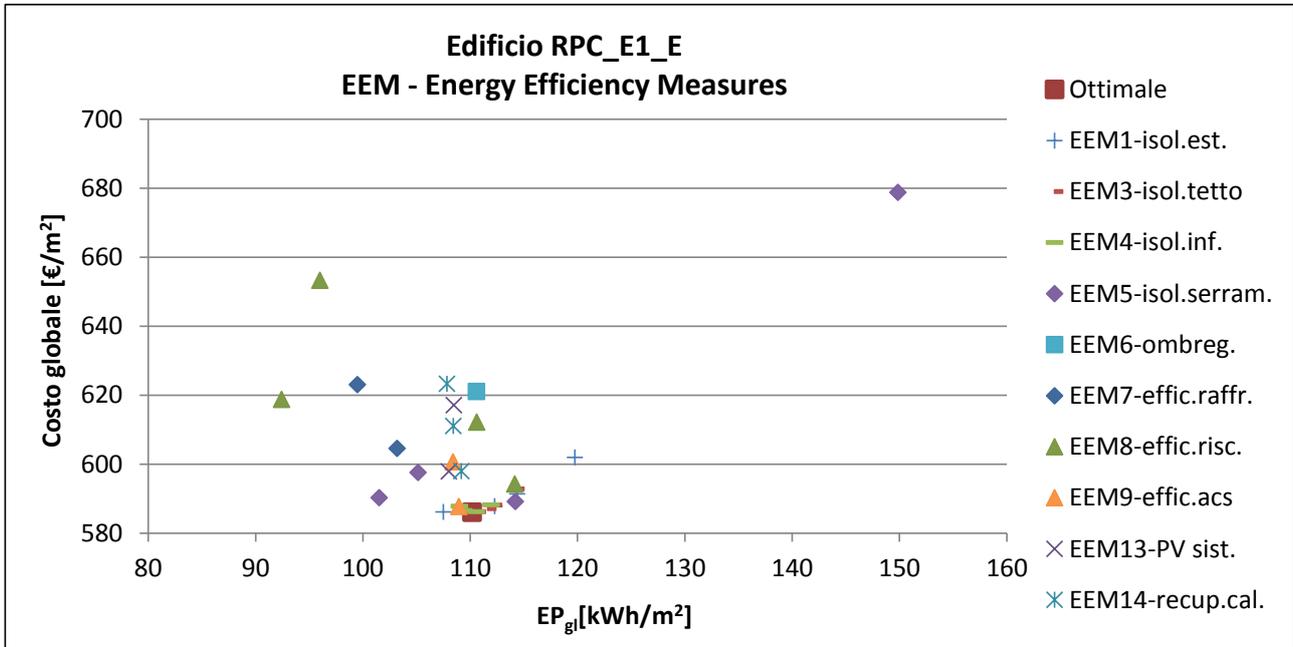
EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE NUOVO - ZONA CLIMATICA E (MILANO)



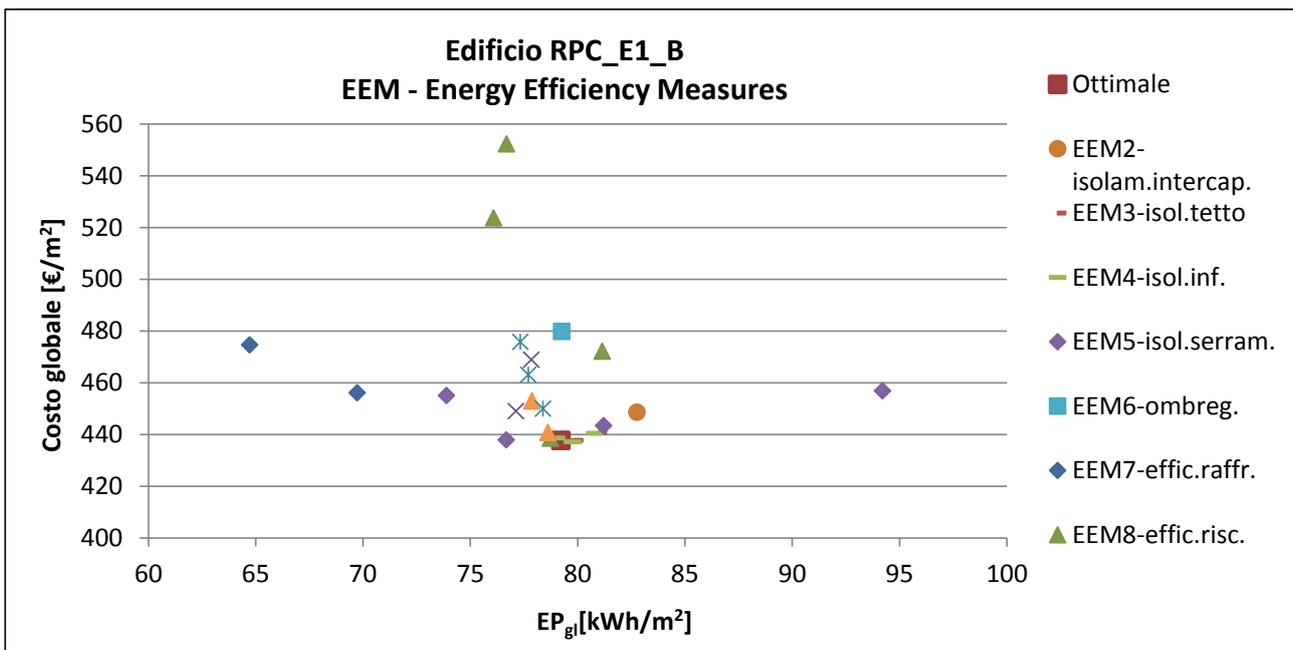
EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE NUOVO - ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



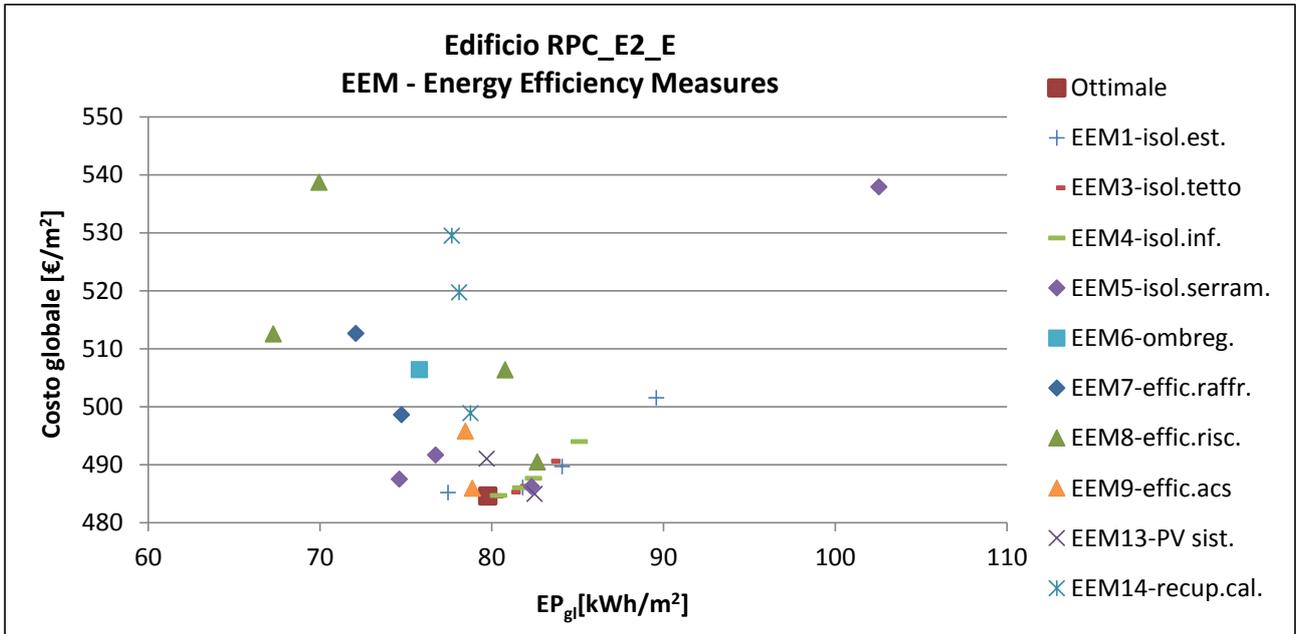
EDIFICIO RESIDENZIALE PICCOLO CONDOMINIO (1946-1976) - ZONA CLIMATICA E (MILANO)



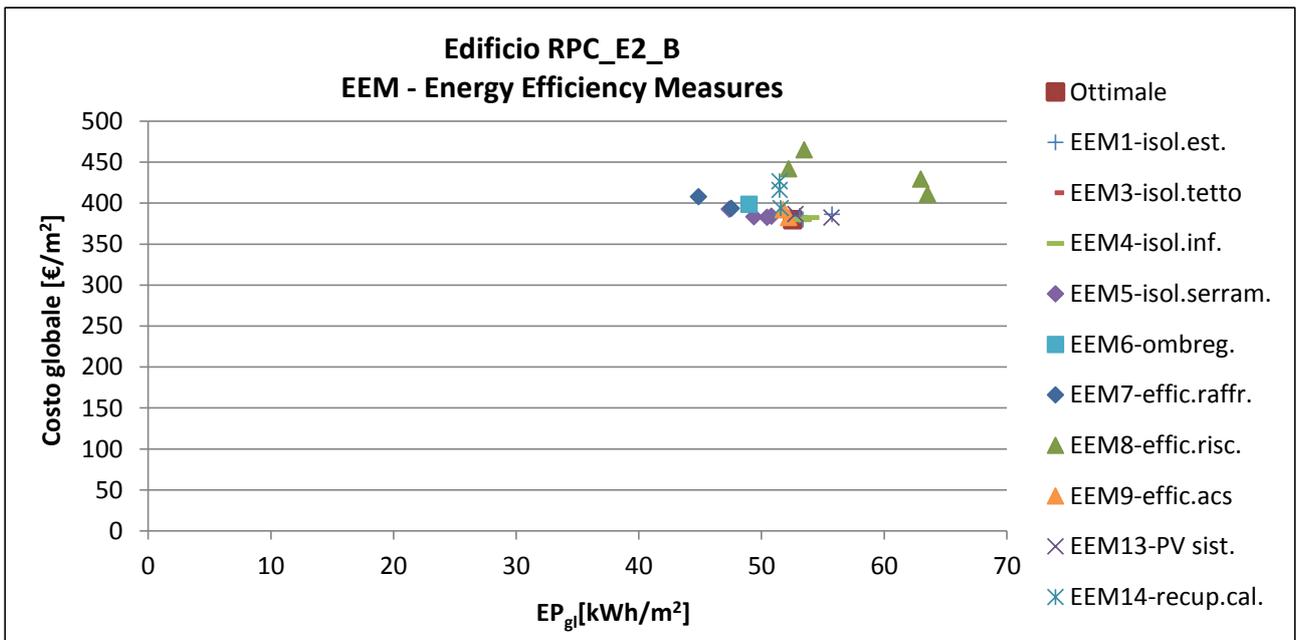
EDIFICIO RESIDENZIALE PICCOLO CONDOMINIO (1946-1976) - ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



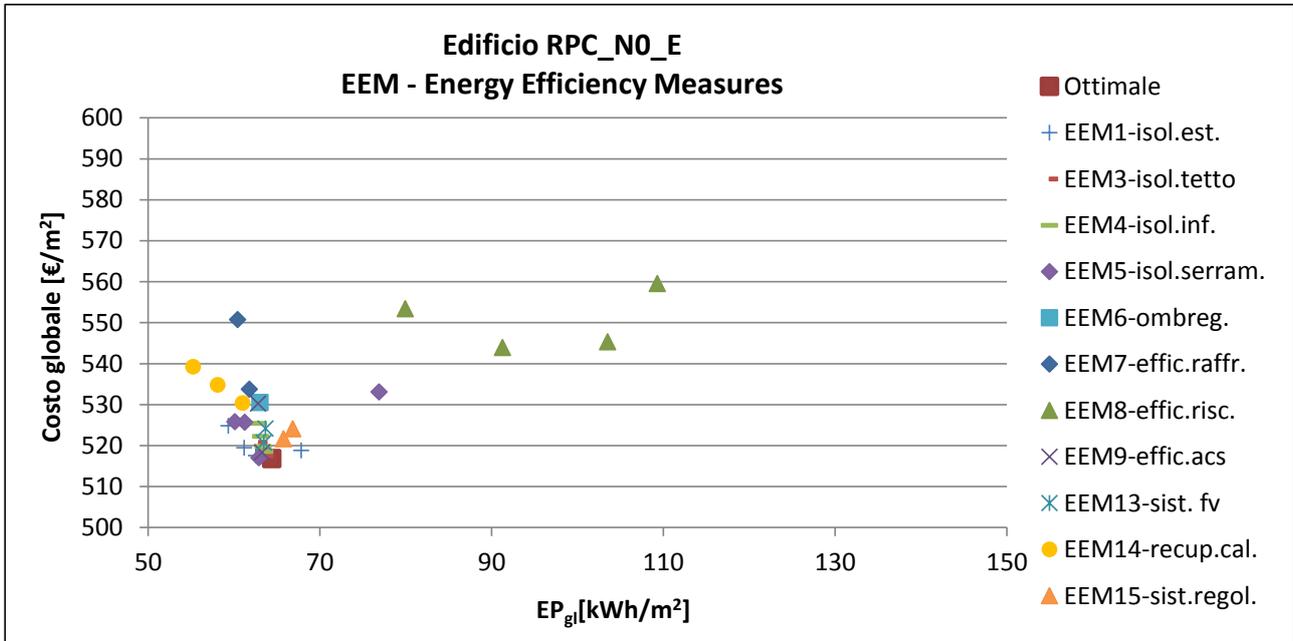
EDIFICIO RESIDENZIALE PICCOLO CONDOMINIO (1977-1990) - ZONA CLIMATICA E (MILANO)



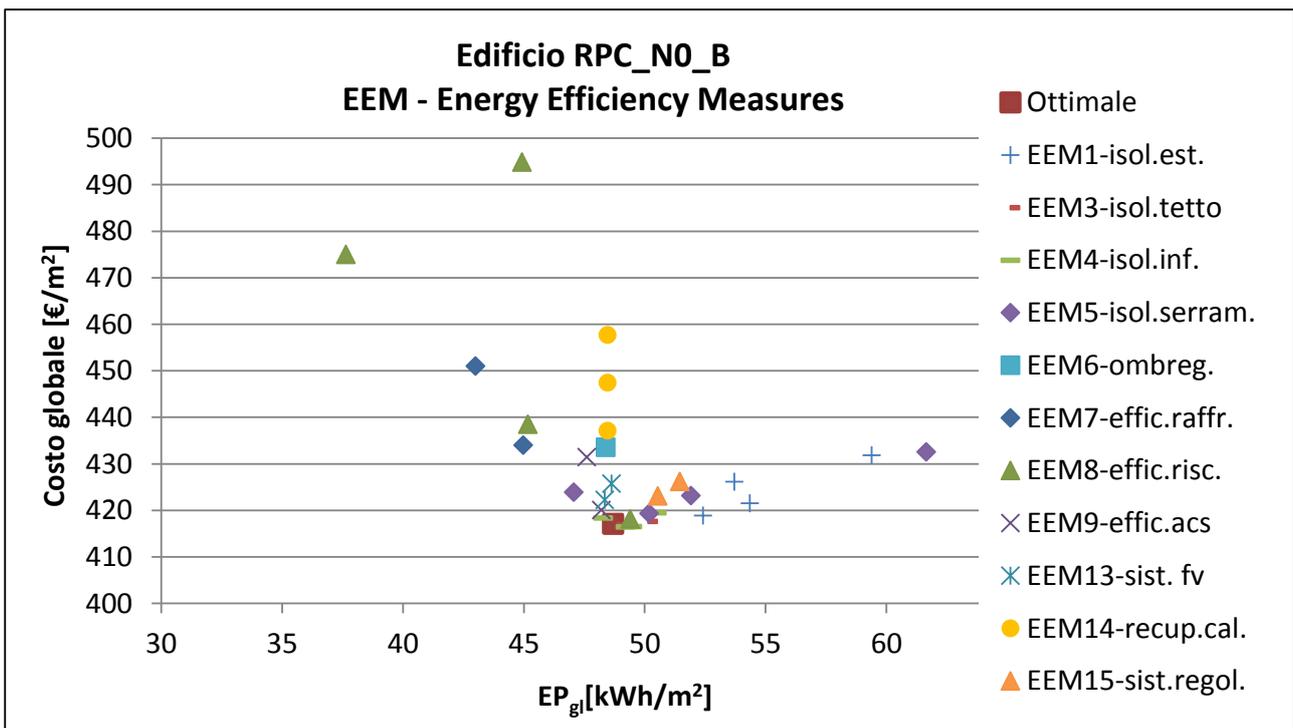
EDIFICIO RESIDENZIALE PICCOLO CONDOMINIO (1977-1990) - ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



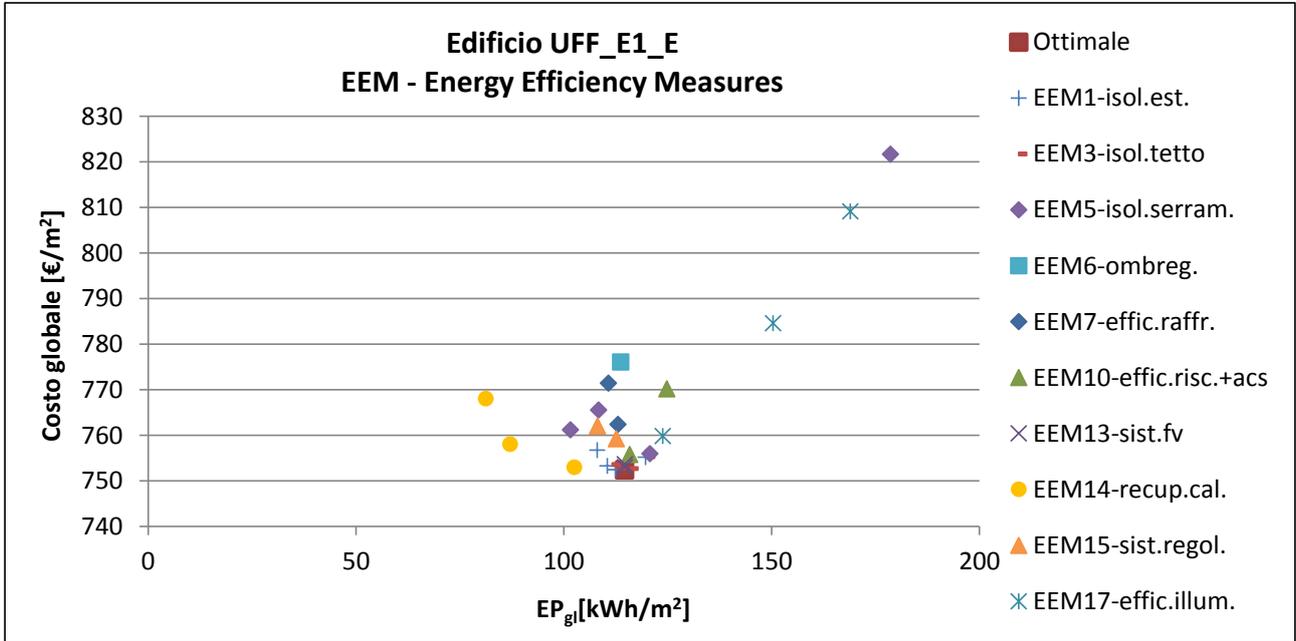
EDIFICIO RESIDENZIALE PICCOLO CONDOMINIO NUOVO - ZONA CLIMATICA E (MILANO)



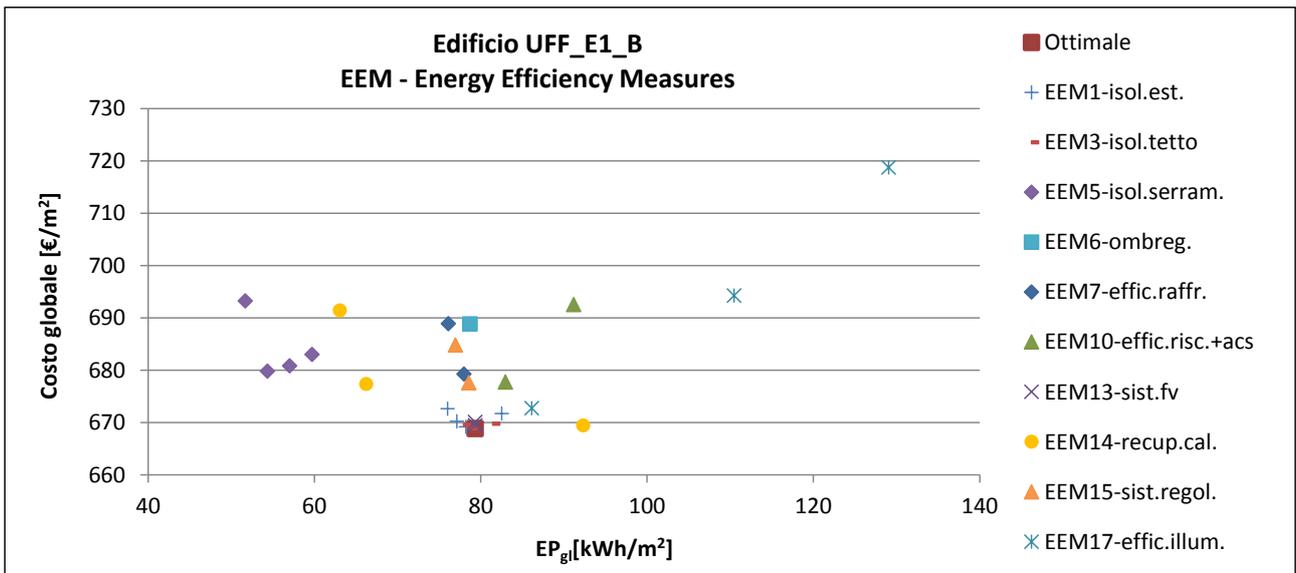
EDIFICIO RESIDENZIALE PICCOLO CONDOMINIO NUOVO - ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



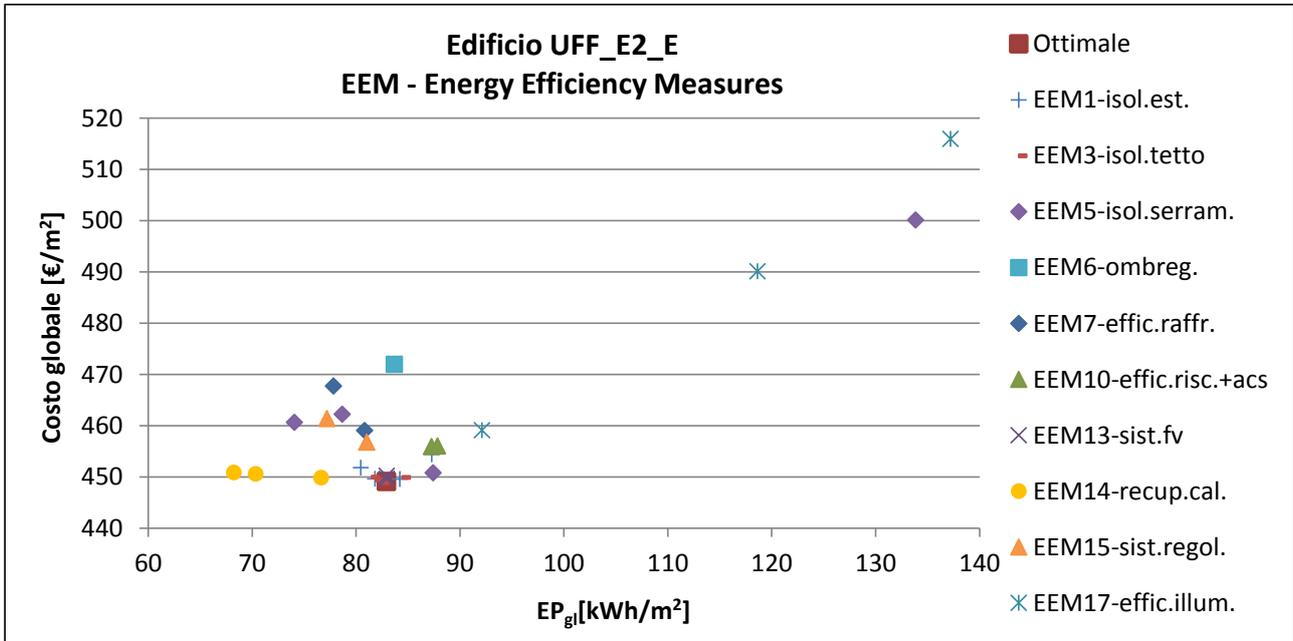
EDIFICIO PER UFFICI (1946-1976) – ZONA CLIMATICA E (MILANO)



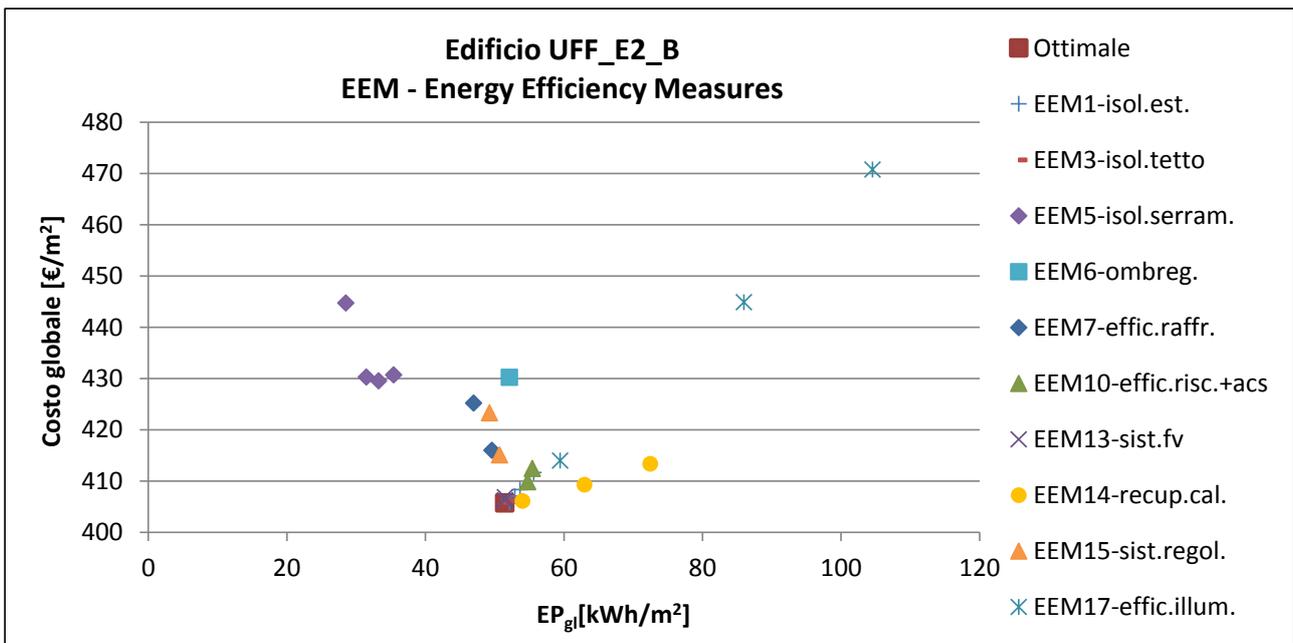
EDIFICIO PER UFFICI (1946-1976) – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



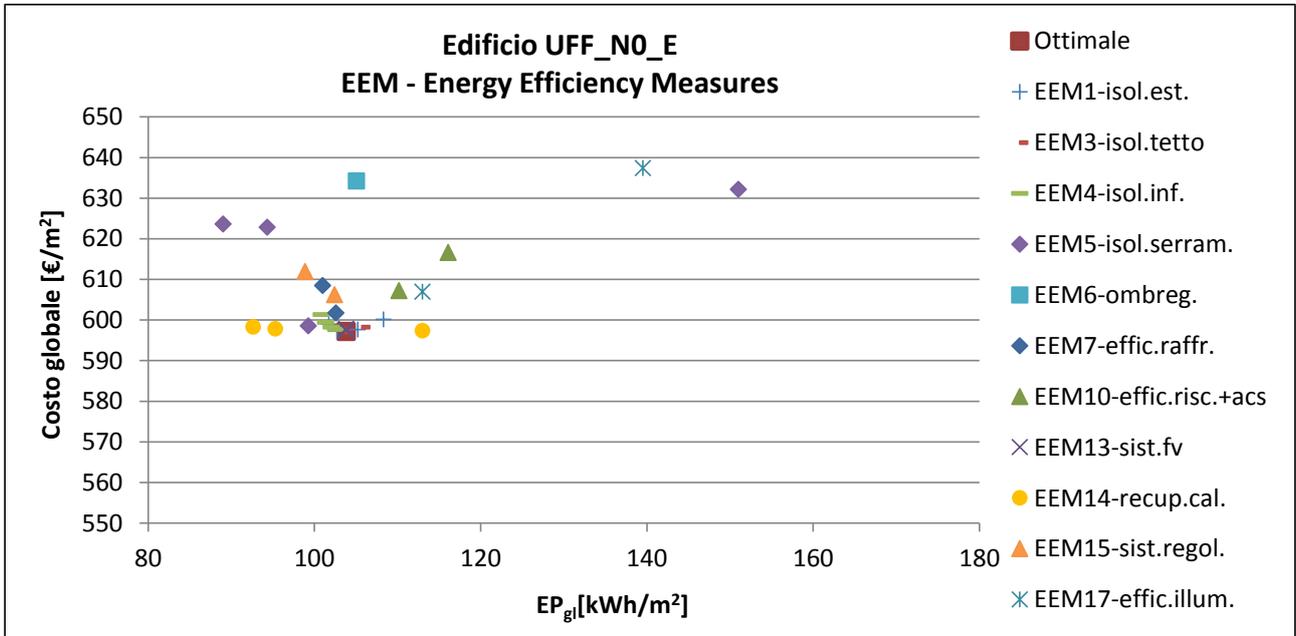
EDIFICIO PER UFFICI (1977-1990) – ZONA CLIMATICA E (MILANO)



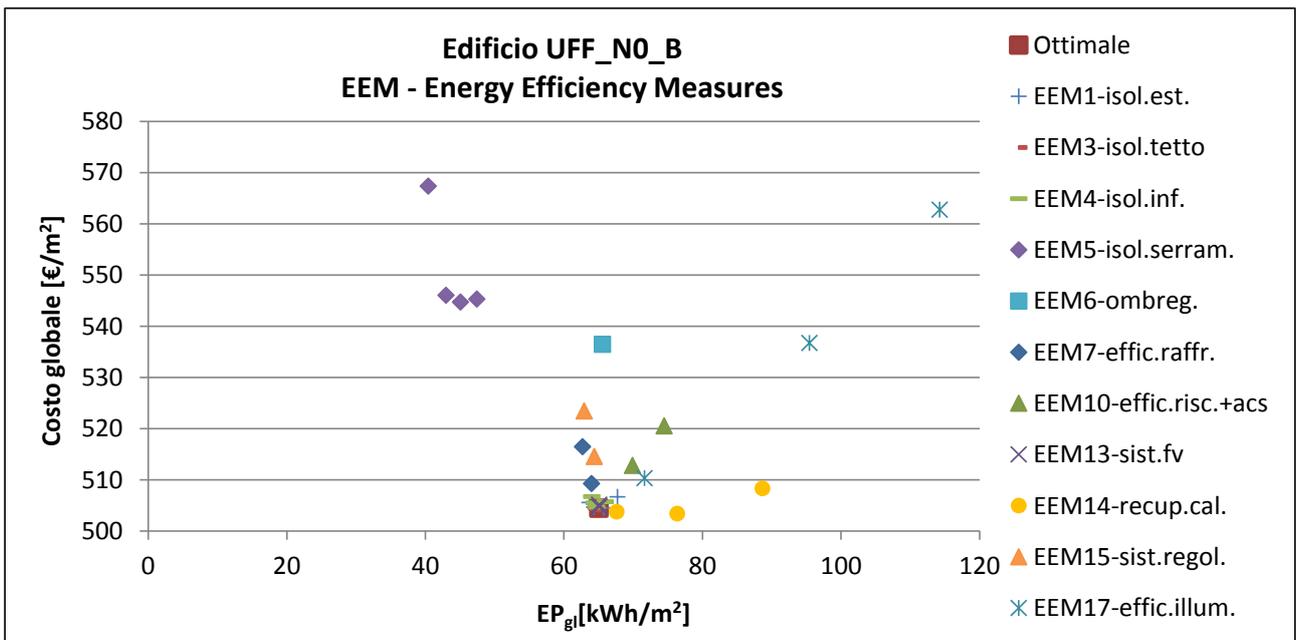
EDIFICIO PER UFFICI (1977-1990) – ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



EDIFICIO PER UFFICI NUOVO– ZONA CLIMATICA E (MILANO)



EDIFICIO PER UFFICI NUOVO– ZONA CLIMATICA B (PALERMO)



2.4 Simulazione dinamica

2.4.1 Obiettivo

La simulazione dinamica consente di modellare il comportamento dell'edificio nel modo più realistico possibile, attraverso la soluzione di un modello matematico dettagliato delle equazioni che governano il bilancio di energia e di massa dell'edificio e dei sistemi impiantistici.

Il modello quasi stazionario adottato per la soluzione dello stesso problema, ovvero la simulazione del sistema edificio impianto, ricorre ad una serie di semplificazioni quali:

- trascurabilità dello scambio termico alle grandi lunghezze d'onda;
- uso di variabili non dipendenti dal tempo per approssimare il comportamento di alcuni componenti del sistema edilizio (ad esempio i materiali costituenti l'involucro edilizio);
- imposizione di condizioni al contorno stazionarie o quasi-stazionarie (ad esempio uso di dati climatici medi mensili).

L'obiettivo dell'analisi è confrontare il risultato della procedura di ottimizzazione eseguita con il metodo semplificato, con un metodo di simulazione dinamica. Ovvero verificare che il pacchetto di ottimizzazione risultato come "Ottimale" individuato attraverso il metodo di modellazione energetica di tipo quasi-stazionario sia corrispondente a quello individuato attraverso il metodo di tipo dinamico.

2.4.2 Software

Il software utilizzato per la simulazione dinamica è *Energy Plus*, attraverso l'interfaccia *Simergy V.1.1* sviluppata dal Lawrence Berkeley National Laboratory e Digital Alchemy⁹. Si tratta di un noto software di simulazione energetica, basato su un insieme di moduli che lavorano in sinergia per calcolare l'energia richiesta per il riscaldamento e il raffrescamento dell'edificio. Il software simula l'edificio e i sistemi energetici ad esso associati esposti a differenti condizioni ambientali e operative. L'elemento cardine della simulazione è un modello dell'edificio che si basa sui principi fondamentali dello scambio termico.

2.4.3 Casi studio

L'edificio oggetto di modellazione è un edificio per uffici, al suo livello ottimale di efficienza energetica, come risulta dal processo di ottimizzazione effettuato tramite il metodo di calcolo quasi-stazionario descritto al paragrafo 2.3.4. La figura seguente mostra una vista del modello tridimensionale.

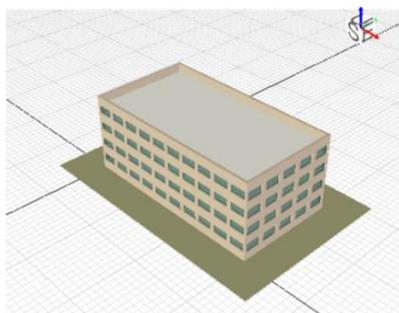


Figura 2.15 Vista tridimensionale del modello termo-energetico – caso base

Tutti i casi studio esaminati presentano valori dei parametri di efficienza energetica conformi a quanto esaminato attraverso il metodo semplificato. Il caso studio base rispecchia il caso ottimale risultante dal metodo semplificato, caratterizzato dai corrispondenti livelli di EEO relativi alle EEM del caso ottimale. La maggior parte dei casi studio sono costruiti facendo variare un singolo parametro rappresentativo della misura di efficienza energetica EEM, come indicato nelle tabelle seguenti. I casi studio 4 e 9 sono combinazioni delle misure di efficienza energetica già valutate singolarmente nei casi studio precedenti.

⁹ per ulteriori informazioni si rimanda alla pagina internet <http://simergy.lbl.gov/>

Tabella 2.59 Casi studio esaminati (da 0 a 4)

| N. | EEM | Parametro | Simbolo | Caso 0 | | Caso 1 | | Caso 2 | | Caso 3 | | Caso 4 | |
|----|---|---|----------------------------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|
| | | | | Valore | Livello EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 0,34 | 2 | 0,2 | 5 | 0,34 | 2 | 0,34 | 2 | 0,2 | 5 |
| 2 | Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | - | 0 | - | 0 | - | 0 | - | 0 | - | 0 |
| 3 | Isolamento termico della copertura (INS-R) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _r | 0,3 | 2 | 0,3 | 2 | 0,3 | 2 | 0,3 | 2 | 0,3 | 2 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | 0,45 | 1 | 0,45 | 1 | 0,45 | 1 | 0,45 | 1 | 0,45 | 1 |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 2,2 | 2 | 2,2 | 2 | 2,2 | 2 | 2,2 | 2 | 2,2 | 2 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmittanza di energia solare totale | g _{gl} | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 7 | High efficiency chiller (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 2,7 | 1 | 2,7 | 1 | 2,7 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 8 | High efficiency generator for space heating (GHS) | Rendimento del generatore in condizioni di progetto | η _{gn} | - | 0 | - | 0 | - | 0 | - | 0 | - | 0 |
| 9 | High efficiency generator for DHW (HES-DHW) | Rendimento del generatore in condizioni di progetto | η _{gn,Pn,W} | - | 0 | - | 0 | - | 0 | - | 0 | - | 0 |
| 10 | High efficiency combined generator for space heating and hot water | Rendimento di generazione in condizioni di progetto | η _{gn} | 0,94 | 2 | 0,94 | 2 | 1,05 | 3 | 0,94 | 2 | 1,05 | 3 |
| 11 | Heat pump for heating, cooling and hot water | Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto | COP | - | 0 | - | 0 | - | 0 | - | 0 | - | 0 |
| | | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | - | | - | | - | | - | | - | |
| 12 | Thermal solar systems (SOL) | Superficie dei collettori solari (m ²) | m ² | 6 | 1 | 6 | 1 | 6 | 1 | 6 | 1 | 6 | 1 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 20 | 4 | 20 | 4 | 20 | 4 | 20 | 4 | 20 | 4 |
| 14 | Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS) | Efficienza del recuperatore di calore | η _r | 0,6 | 1 | 0,6 | 1 | 0,6 | 1 | 0,6 | 1 | 0,6 | 1 |
| 15 | Sistema di regolazione avanzato (ICS) | Rendimento di regolazione | η _{ctr} | 0,995 | 3 | 0,995 | 3 | 0,995 | 3 | 0,995 | 3 | 0,995 | 3 |
| 16 | Riqualificazione dell'impianto di illuminazione (ILL) | Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²) | PN | 4,6 | 4 | 4,6 | 4 | 4,6 | 4 | 4,6 | 4 | 4,6 | 4 |
| | | Fattore di dipendenza dall'occupazione | F _O | 0,8 | 4 | 0,8 | 4 | 0,8 | 4 | 0,8 | 4 | 0,8 | 4 |
| | | Fattore di illuminamento costante (fattore dipendenza luce diurna) | F _C (F _D) | 0,9 | 4 | 0,9 | 4 | 0,9 | 4 | 0,9 | 4 | 0,9 | 4 |

Tabella 2.60 Casi studio esaminati (da 5 a 9)

| N. | EEM | Parametro | Simbolo | Caso 5 | | Caso 6 | | Caso 7 | | Caso 8 | | Caso 9 | |
|----|---|---|----------------------------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|
| | | | | Valore | Livello EEO |
| 1 | Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | 0,34 | 2 | 0,2 | 5 | 0,34 | 2 | 0,34 | 2 | 0,2 | 5 |
| 2 | Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _p | - | 0 | - | 0 | - | 0 | - | 0 | - | 0 |
| 3 | Isolamento termico della copertura (INS-R) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _r | 0,3 | 2 | 0,3 | 2 | 0,3 | 2 | 0,3 | 2 | 0,3 | 2 |
| 4 | Isolamento termico del pavimento (INS-F) | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _f | 0,45 | 1 | 0,45 | 1 | 0,45 | 1 | 0,45 | 1 | 0,45 | 1 |
| 5 | Isolamento termico degli elementi trasparenti | Trasmittanza termica (W/m ² K) | U _w | 2,2 | 2 | 1,6 | 4 | 2,2 | 2 | 2,2 | 2 | 1,6 | 4 |
| 6 | Sistemi di schermatura solare (SHAD) | Trasmittanza di energia solare totale | g _{gl} | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 7 | High efficiency chiller (CHIL) | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | 2,7 | 1 | 2,7 | 1 | 2,7 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 8 | High efficiency generator for space heating (GHS) | Rendimento del generatore in condizioni di progetto | η _{gn} | - | 0 | - | 0 | - | 0 | - | 0 | - | 0 |
| 9 | High efficiency generator for DHW (HES-DHW) | Rendimento del generatore in condizioni di progetto | η _{gn,Pn,W} | - | 0 | - | 0 | - | 0 | - | 0 | - | 0 |
| 10 | High efficiency combined generator for space heating and hot water | Rendimento di generazione in condizioni di progetto | η _{gn} | 0,94 | 2 | 0,94 | 2 | 1,05 | 3 | 0,94 | 2 | 1,05 | 3 |
| 11 | Heat pump for heating, cooling and hot water | Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto | COP | - | 0 | - | 0 | - | 0 | - | 0 | - | 0 |
| | | Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto | EER | - | | - | | - | | - | | | |
| 12 | Thermal solar systems (SOL) | Superficie dei collettori solari (m ²) | m ² | 6 | 1 | 6 | 1 | 6 | 1 | 6 | 1 | 6 | 1 |
| 13 | Sistema fotovoltaico (PV) | Potenza di picco installata (kW) | kWp | 20 | 4 | 20 | 4 | 20 | 4 | 20 | 4 | 20 | 4 |
| 14 | Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS) | Efficienza del recuperatore di calore | η _r | 0,6 | 1 | 0,6 | 1 | 0,6 | 1 | 0,6 | 1 | 0,6 | 1 |
| 15 | Sistema di regolazione avanzato (ICS) | Rendimento di regolazione | η _{ctr} | 0,995 | 3 | 0,995 | 3 | 0,995 | 3 | 0,995 | 3 | 0,995 | 3 |
| 16 | Riqualificazione dell'impianto di illuminazione (ILL) | Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²) | PN | 4,6 | 4 | 4,6 | 4 | 4,6 | 4 | 4,6 | 4 | 4,6 | 4 |
| | | Fattore di dipendenza dall'occupazione | F _O | 0,8 | 4 | 0,8 | 4 | 0,8 | 4 | 0,8 | 4 | 0,8 | 4 |
| | | Fattore di illuminamento costante (fattore dipendenza luce diurna) | F _C (F _D) | 0,9 | 4 | 0,9 | 4 | 0,9 | 4 | 0,9 | 4 | 0,9 | 4 |

Modello termoenergetico

Il processo di modellazione dell'edificio, in particolare a livello geometrico, ha richiesto alcune semplificazioni per la definizione dello stesso edificio all'interno del programma di simulazione dinamica.

Le partizioni interne, divisorie dei singoli uffici, non sono state modellate geometricamente ma inserite all'interno del modello come massa interna.

La suddivisione in zone termiche è effettuata assegnando una zona termica ad ogni piano dell'edificio.

Per quanto riguarda il controllo della radiazione solare, l'attivazione delle schermature solari è stata fissata per valori della radiazione solare, incidente sulla superficie trasparente di ciascuna finestra, superiori a 300 W/m² in conformità alla norma UNI/TS 11300-1.

I carichi interni esaminati sono dovuti alla presenza di persone, all'utilizzo di apparecchiature elettriche e all'illuminazione artificiale.

L'occupazione di picco è di 107 persone, in coerenza con il modello quasi-stazionario.

Il valore massimo di potenza installata per le apparecchiature elettriche è di 10,6 W/m², presupponendo attivo il 100% delle apparecchiature per le 8 ore al giorno di occupazione dell'edificio, e un 10% di potenza impegnata nelle ore di non occupazione. Il valore medio giornaliero di potenza installata è pari a 4,24 W/m².

La densità di potenza luminosa installata è fissata a 4,6 W/m², in conformità al livello EEO 4 della EEM 16. L'illuminazione artificiale si considera attiva al 100% della densità di potenza luminosa installata durante le ore lavorative (dalle 9:00 alle 17:00). Il livello di illuminamento interno richiesto è fissato a 500 lux, sono inoltre stati modellati sensori di illuminamento collocati ad un'altezza dal pavimento corrispondente al piano di lavoro (80 cm) e ad una distanza dai serramenti di 2,5 m.

A titolo di esempio, la figura seguente riporta il profilo di illuminazione tipo per i giorni lavorativi. I valori sono espressi in percentuale.

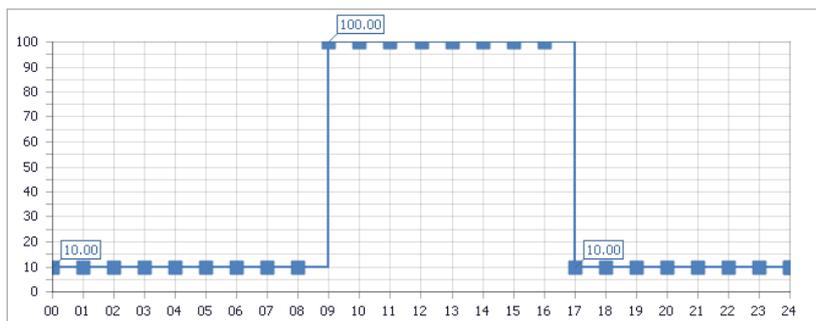


Figura 2.16 Profilo di distribuzione oraria della quota densità di potenza luminosa impegnata

Involucro trasparente

La tabella seguente riassume la quantità di superficie trasparente rispetto alla superficie opaca in termini percentuali e in metri quadrati per il caso base (edificio UFF_NO_E).

Tabella 2.61 quantità di superficie trasparente rispetto alla superficie opaca - caso base

| % involucro esterno trasparente | | Area trasparente | |
|---------------------------------|-------|------------------|----------------------|
| SUD | 39,3% | SUD | 134,6 m ² |
| NORD | 40,6% | NORD | 140,4 m ² |
| EST | 43,8% | EST | 78,0 m ² |
| OVEST | 43,8% | OVEST | 78,0 m ² |

Al fine di ottenere risultati congruenti con la trasmittanza del serramento scelta in base al livello di efficienza energetica precedentemente codificato, le caratteristiche del serramento sono state esaminate

attraverso il software Window versione 7.2 sviluppato dal Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL, LBL). In particolare le caratteristiche del vetro sono ricavate dalla banca dati *International Glazing Database (IGDB)*. In questo modo è stato possibile applicare al modello di calcolo dinamico le caratteristiche dei vetri e dei materiali relativi al serramento che rispecchiano il parametro trasmittanza del livello di EEM scelto. La Tabella 2.62 riporta le caratteristiche ottiche e termiche del vetro adottato.

Tabella 2.62 caratteristiche ottiche e termiche del vetro – caso base

| ID | ProductName | Thick. (mm) | Tsol | Rsol1 | Rsol2 | Tvis | Rvis1 | Rvis2 | Tir | emis1 | emis2 | λ (W/mK) |
|------|-------------|-------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|
| 2192 | LoE 180 | 4,1 | 0,75 | 0,156 | 0,188 | 0,867 | 0,091 | 0,078 | 0,000 | 0,583 | 0,068 | 1,000 |

Il pacchetto di involucro trasparente è formato da un vetro basso emissivo accoppiato ad un vetro chiaro tramite un intercapedine. La trasmittanza globale del serramento U_w risulta pari a $2,2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, valore corrispondente al livello EEO 2 della EEM 5.

Impianto di riscaldamento

La figura seguente mostra lo schema di impianto di acqua calda sulla sinistra e il relativo sottosistema di emissione sulla destra. La caldaia serve sia l'impianto di riscaldamento ambiente che la generazione di acqua calda sanitaria.

Il sottosistema di emissione è formato da un terminale tipo ventilconvettore (4 pipe fan coil), un accumulo termico per acqua calda sanitaria (DHW), un recuperatore di calore (HRV), un terminale di ventilazione meccanica utile al ricambio d'aria ma non alla climatizzazione ambiente.

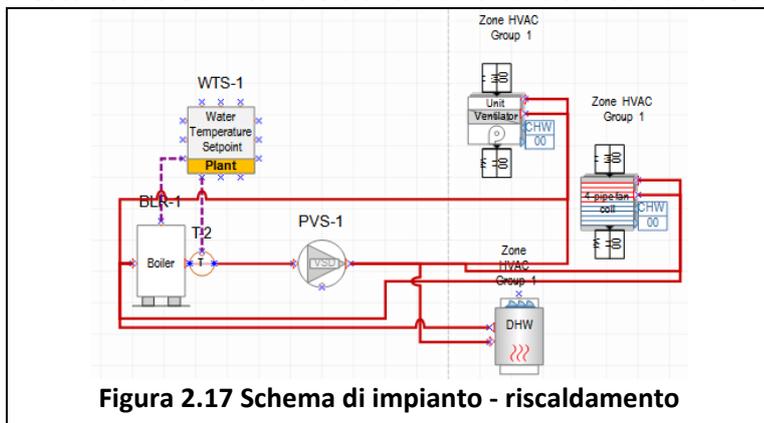


Figura 2.17 Schema di impianto - riscaldamento

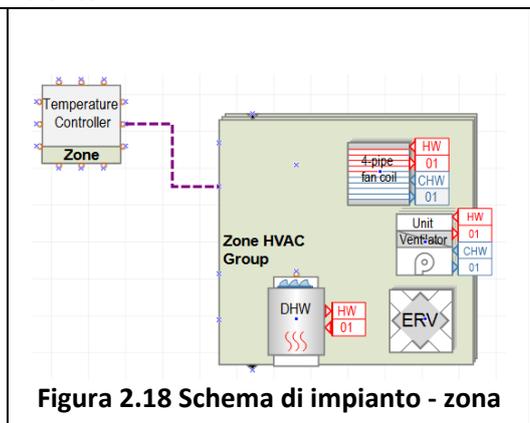


Figura 2.18 Schema di impianto - zona

Il sistema di produzione di ACS è collegato ad un accumulo termico di capienza $0,5 \text{ m}^3$.

Durante il periodo di funzionamento dell'impianto, la temperatura di progetto dell'ambiente interno è fissata rispettivamente a 20°C per il riscaldamento ed a 26°C per il raffrescamento.

La regolazione degli impianti di riscaldamento e raffrescamento è effettuata attraverso un termostato di zona del tipo a doppio set-point con dead band, impostato sulle temperature di funzionamento di 20°C in riscaldamento e di 26°C in raffrescamento.

Impianto di climatizzazione estiva

L'immagine seguente riporta lo schema dell'impianto di raffrescamento formato da una macchina frigorifera (CH-1), collegata attraverso il circuito di acqua fredda ai terminali di impianto tipo ventilconvettori (4 pipe Fan Coil).

La regolazione degli impianti di riscaldamento e raffrescamento è effettuata attraverso un termostato di zona del tipo a doppio set-point con dead band, impostato sulle temperature di funzionamento di 20°C in riscaldamento e di 26°C in raffrescamento.

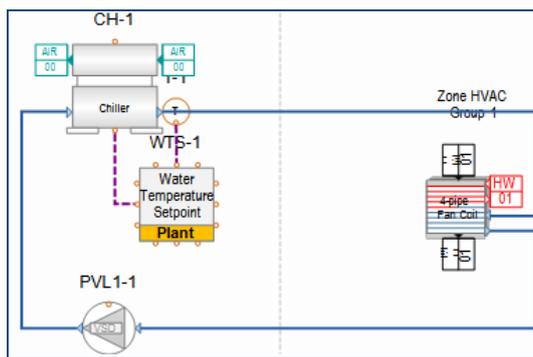


Figura 2.19 Schema di impianto - raffrescamento

Ventilazione meccanica

La ventilazione meccanica serve al ricambio orario per salubrità dell’aria, è dimensionato secondo la norma UNI 10349. Il sistema di ventilazione è dotato di un recuperatore di calore di efficienza 0,6. La portata di ventilazione è fissata a 0,826 m³/s su un profilo orario di funzionamento attivo dalle 8:00 alle 17:00. Gli orari di funzionamento, fissati a 8 ore giornaliere, rispettano le ipotesi standard della UNI TS/11300-1. Durante le ore in cui la ventilazione meccanica è assente, sono presenti infiltrazioni attraverso l’involucro edilizio di portata massima 0,38 m³/s. Quando la ventilazione meccanica è attiva, la portata d’aria esterna per infiltrazione si attesta ad un valore di 0,03 m³/s. I valori di portata di ventilazione e infiltrazione adottati sono stati calcolati in conformità alla norma UNI/TS 11300-1:2013.

Caso studio n°1 – involucro esterno

Il caso studio 1 è ottenuto modificando la trasmittanza della parete verticale opaca verso l’ambiente esterno da un livello di EEO 2 fino al livello 5 della EEM2. Il valore impostato di trasmittanza termica è pari a 0,2 W/m²K. Tale valore è stato ottenuto aumentando lo spessore dello strato isolante da 9 a 17 cm, come specificato nella Tabella 2.63.

Tabella 2.63 Stratigrafia involucro verticale opaco – caso 1

| Num. | Descrizione | Spessore [mm] | Conducibilità [W/m ² K] |
|------|----------------------------|---------------|------------------------------------|
| 1 | Intonaco di gesso e sabbia | 15 | 0,800 |
| 2 | Muratura in laterizio | 300 | 0,500 |
| 3 | Polistirene espanso sint. | 170 | 0,042 |
| 4 | Intonaco di calce e sabbia | 15 | 0,800 |

Caso studio n°2 – Caldaia a condensazione

Il caso studio n°2 è stato ricavato a partire dal caso base, modificando il tipo di generatore dell’impianto di riscaldamento. E’ stata adottata la misura di efficienza energetica che prevede l’installazione di una caldaia a condensazione con efficienza di generazione η_{gn} pari a 1,05. Le caratteristiche principali del generatore sono riportate in Tabella 2.64.

Tabella 2.64 Caratteristiche del generatore di calore

| | | |
|---|--------------|----|
| Combustibile | Gas naturale | - |
| Potenza nominale | 80 | kW |
| Efficienza termica nominale | 1,05 | - |
| Ausiliari del sistema di generazione | 370 | W |

Caso studio n°3 – Macchina frigorifera

Per la costruzione di questo caso studio è stato modificato il livello di EER della macchina frigorifera rispetto al caso base. Il livello prestazionale della macchina varia da un valore di EER di 2,7 ad un valore di 3,5.

Si riporta di seguito lo schema di impianto, invariato nella configurazione complessiva rispetto al caso studio 0.

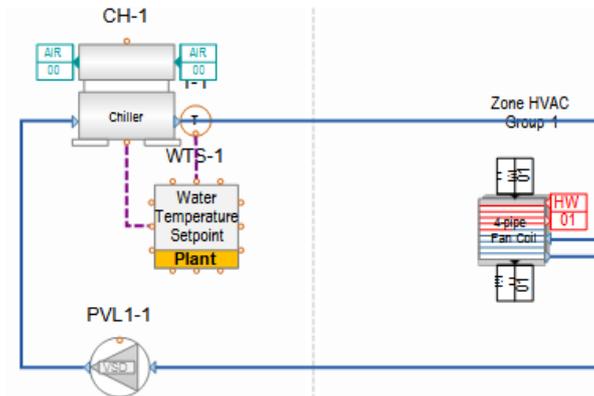


Figura 2.20 Schema di impianto - raffrescamento

Caso studio n°4 – Combinazione casi 1,2,3

La costruzione del caso studio n°4 vede l'unione delle tre misure precedenti:

- aumento della trasmittanza termica dell'involucro opaco (0,20 W/m²K);
- aumento dell'efficienza del generatore per l'impianto di riscaldamento (η 1,05);
- aumento dell'efficienza della macchina frigorifera (EER 3,5).

Si rimanda ai paragrafi precedenti per la descrizione delle misure nel dettaglio.

Caso studio n°5 – UFF_N1_E

Il caso studio n°5 è ottenuto modificando la percentuale di involucro trasparente, come riportato nella tabella seguente. La configurazione di involucro così ottenuta coincide con quella dell'edificio per uffici tipo nuovo 1, situato in zona climatica E (UFF_N1_E).

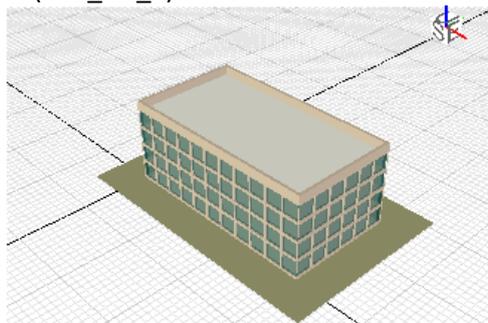


Figura 2.21 Vista tridimensionale del modello termo-energetico – caso n°5

La tabella seguente riassume la quantità di superficie trasparente rispetto alla superficie opaca in termini percentuali e in metri quadri. Le caratteristiche ottiche e termiche dei serramenti sono invariate rispetto al caso n°1.

Tabella 2.65 quantità di superficie trasparente rispetto alla superficie opaca – caso n°5

| % trasparente su opaca -UFF_N1_E | | Area trasparente | |
|----------------------------------|-------|------------------|----------------------|
| SUD | 80,0% | SUD | 277,3 m ² |
| NORD | 80,0% | NORD | 276,6 m ² |
| EST | 80,0% | EST | 142,4 m ² |
| OVEST | 80,0% | OVEST | 142,4 m ² |

Caso studio n°6 – serramenti

Il caso studio n°6 riguarda la prestazione termica dei serramenti in riferimento al caso n°5. Data l’elevata percentuale di involucro trasparente rispetto all’involucro opaco, si ritiene più significativo far variare il parametro relativo alla trasmittanza termica del serramento, conservando per coerenza le proprietà ottiche del vetro esterno ad eccezione della trasmissione luminosa.

Al fine di ottenere risultati congruenti con la trasmittanza del serramento scelta in base al livello di efficienza energetica 4 (U_w 1,6 W/m²K), le caratteristiche del serramento sono state esaminate attraverso il software Window versione 7.2 sviluppato dal Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL, LBL). In particolare le caratteristiche del vetro sono ricavate dalla banca dati *International Glazing Database (IGDB)*. In questo modo è stato possibile applicare al modello di calcolo dinamico le caratteristiche dei vetri e dei materiali relativi al serramento che rispecchiano il parametro trasmittanza del livello di EEO scelto per la EEM corrispondente. La tabella seguente riporta le caratteristiche ottiche e termiche del vetro adottato.

Tabella 2.66 caratteristiche ottiche e termiche del vetro adottato – caso n°5

| ID | ProductName | Sp. (mm) | T _{sol} | R _{sol,1} | R _{sol,2} | T _{vis} | R _{vis,1} | R _{vis,2} | T _{ir} | ε ₁ | ε ₂ | λ (W/mK) |
|------|-------------|----------|------------------|--------------------|--------------------|------------------|--------------------|--------------------|-----------------|----------------|----------------|----------|
| 2192 | LoE 180 | 4,1 | 0,61 | 0,156 | 0,188 | 0,867 | 0,091 | 0,078 | 0,000 | 0,583 | 0,068 | 1,000 |

Il pacchetto di involucro trasparente è formato dal vetro basso emissivo - individuato nella tabella precedente - accoppiato a due vetri chiari tramite intercapedini riempite con aria. Il telaio è di tipo metallico a taglio termico. Le caratteristiche termiche del serramento sono riportate nella tabella seguente.

Tabella 2.67 Caratteristiche termiche del serramento

| Descrizione | Simbolo | Trasmittanza (W/m ² K) |
|-----------------------------------|----------------|-----------------------------------|
| Triplo vetro | U _g | 1,269 |
| Telaio metallico a taglio termico | U _f | 2,600 |
| Serramento | U _w | 1,600 |

Caso studio n°7 – caldaia

Questo caso studio costituisce una variazione del caso base n°5, prevede lo stesso intervento di sostituzione del generatore di calore discusso per il caso studio n°2, ma applicato all’edificio UFF_N1_E. Si rimanda al paragrafo precedente per la descrizione dell’intervento.

Caso studio n°8 – Macchina frigorifera

Questo caso studio costituisce una variazione del caso base n°5, prevede lo stesso intervento di sostituzione della macchina frigorifera discusso per il caso studio n°3, ma applicato all’edificio UFF_N1_E. Si rimanda al paragrafo precedente per la descrizione dell’intervento.

Caso studio n°9 – Combinazione casi 6,7,8

La costruzione del caso studio n°9 vede l’unione delle tre misure precedenti applicate all’edificio tipo UFF_N1_E:

- aumento della trasmittanza termica dell’involucro trasparente (1,60 W/m²K);
- aumento dell’efficienza del generatore per l’impianto di riscaldamento (η 1,05);
- aumento dell’efficienza della macchina frigorifera (COP 3,5).

Si rimanda ai paragrafi precedenti per la descrizione delle misure nel dettaglio.

2.4.4 Dati climatici

La simulazione dinamica del sistema edificio – impianto ha la caratteristica fondamentale di essere tempo dipendente. Al fine di ottenere risultati attendibili, è necessario scegliere accuratamente la variazione nel tempo delle variabili termodinamiche che maggiormente influenzano il sistema: i dati climatici.

I dati climatici orari richiesti al fine di una corretta operazione di modellazione dinamica sono i seguenti:

- Temperatura di bulbo asciutto (°C);
- Temperatura di bulbo umido (°C);
- Velocità del vento (m s^{-1});
- Direzione del vento (°);
- Pressione atmosferica (Pa);
- Precipitazioni (mm);
- Radiazione solare globale orizzontale (W m^{-2});
- Radiazione solare diretta orizzontale (W m^{-2});
- Radiazione solare diffusa orizzontale (W m^{-2});
- Nuvolosità (%);
- Ore di soleggiamento (h).

La grande quantità di dati richiesti induce ad utilizzare una banca dati precostituita, al fine di evitare di incorrere in errori di approssimazione, o di adottare come rappresentativi del clima locale dati destinati a rappresentare un singolo arco temporale.

I dati climatici utilizzati sono basati su un periodo di osservazione compreso tra il 1951 e il 1970. Sono costituiti da un insieme di mesi tipo, costruiti con dati reali e scelti in base ai valori di temperatura: il mese tipo è quello per cui la media delle temperature e la relativa varianza si discostano meno dal valore calcolato sull'intera popolazione di dati. Ai valori di temperatura sono poi stati aggiunti i valori di umidità relativa dell'aria al suolo, velocità del vento a dieci metri dal suolo, il numero di ore e i decimi di ora di sole verificatesi nell'intera giornata, l'irradiazione solare totale giornaliera sul piano orizzontale.

Tali dati sono messi a disposizione dall'U.S. Department of Energy, reperibili sul sito internet di Energy Plus alla pagina web :http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm.

L'immagine seguente riassume graficamente l'andamento della temperatura oraria sull'intero anno tipo (in rosso), l'andamento della temperatura massima, media e minima (in blu), la zona di neutralità termica (in verde), e la radiazione diretta e diffusa sul piano orizzontale (in giallo).

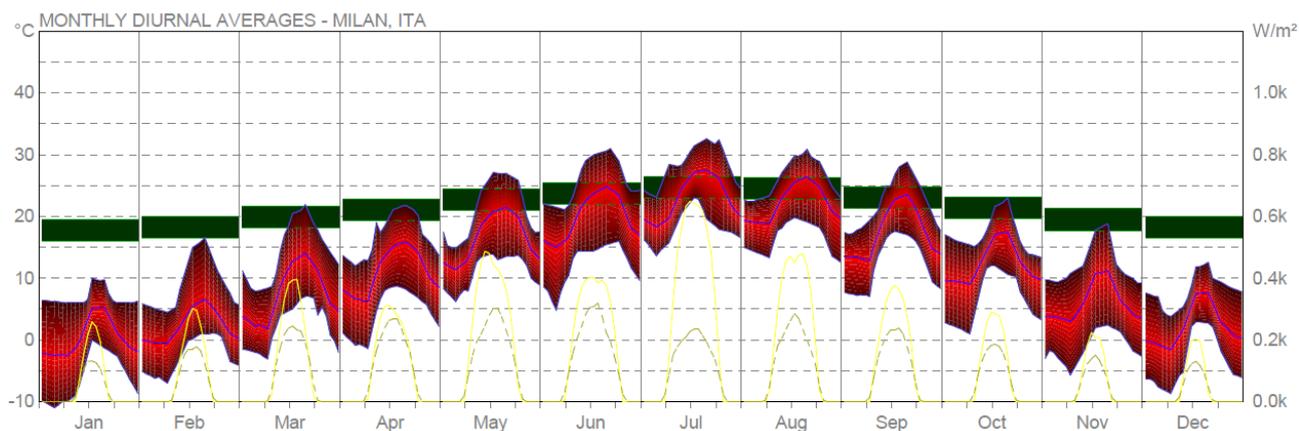


Figura 2.22 Dati climatici orari annuali

Il grafico seguente è un esempio di dati climatici a livello giornaliero, mostra l'andamento dei valori orari di temperatura, umidità relativa, radiazione diretta e diffusa e velocità del vento per il 21 Luglio.

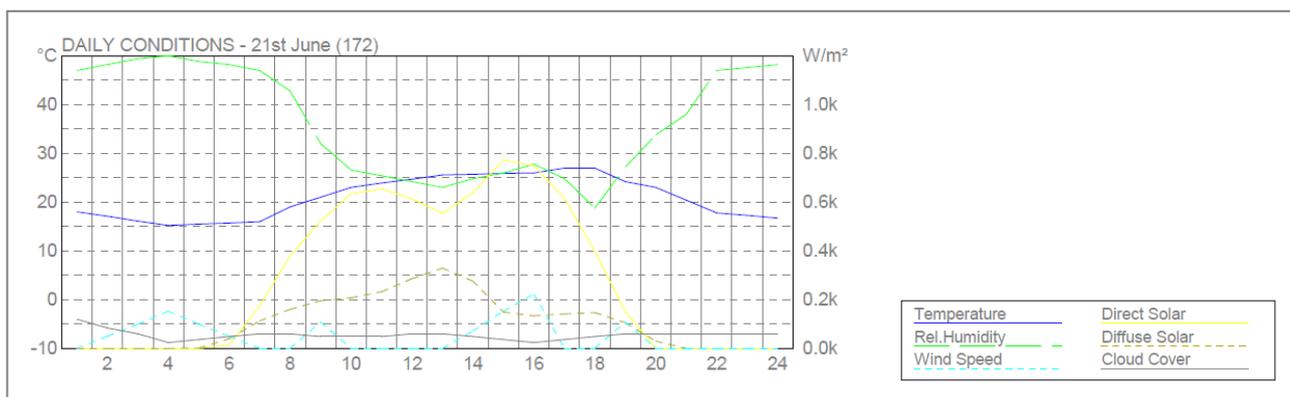


Figura 2.23 Dati climatici orari giornalieri

Il grafico seguente raccoglie le velocità e le direzioni del vento per la località esaminata lungo tutto l’anno tipo, dal 1 Gennaio al 31 Dicembre. Il grafico evidenzia il numero di ore in cui si verificano le condizioni di vento su una scala monocromatica: il colore più scuro rappresenta le condizioni di ventosità più frequenti, il più chiaro quelle meno frequenti.

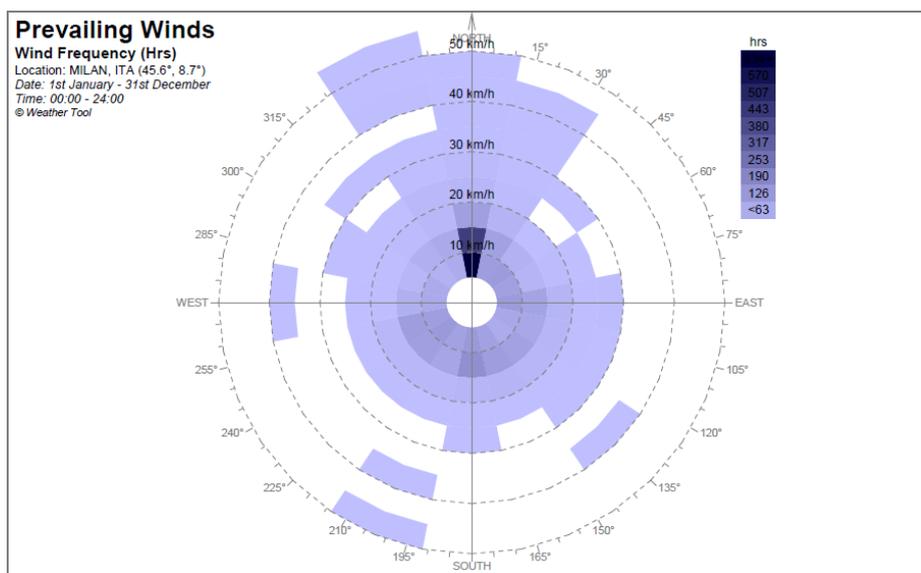


Figura 2.24 Condizioni di ventosità più frequenti

Per visualizzare i valori dei dati climatici orari è stato utilizzato lo strumento Autodesk Weather Tool 2011.

2.4.5 Risultati

Si riportano qui di seguito i primi risultati delle simulazioni dinamiche effettuate sull’edificio UFF_NO_E caso base, relativi all’analisi del fabbricato con un impianto ideale. L’intero impianto è modellato come un’unità ideale che mescola perfettamente la portata di espulsione con quella di rinnovo e apporta o rimuove energia termica e umidità con un valore di efficienza ideale (100%), al fine di produrre una portata di aria di immissione alle condizioni specificate. Il sistema è impostato per funzionare con capacità infinita di riscaldamento e raffrescamento sempre attiva.

Il grafico in Figura 2.25 riporta i valori di energia termica dispersa per trasmissione attraverso i componenti opachi e trasparenti, l’energia termica dispersa per ventilazione e per infiltrazioni attraverso l’involucro edilizio, l’energia termica apportata all’ambiente a causa della presenza di persone, illuminazione artificiale

ed apparecchiature elettriche, l'energia termica apportata dalla radiazione solare attraverso i componenti trasparenti – si trascurano gli apporti solari attraverso i componenti opachi – in riferimento al caso studio valutato attraverso il metodo quasi-stazionario.

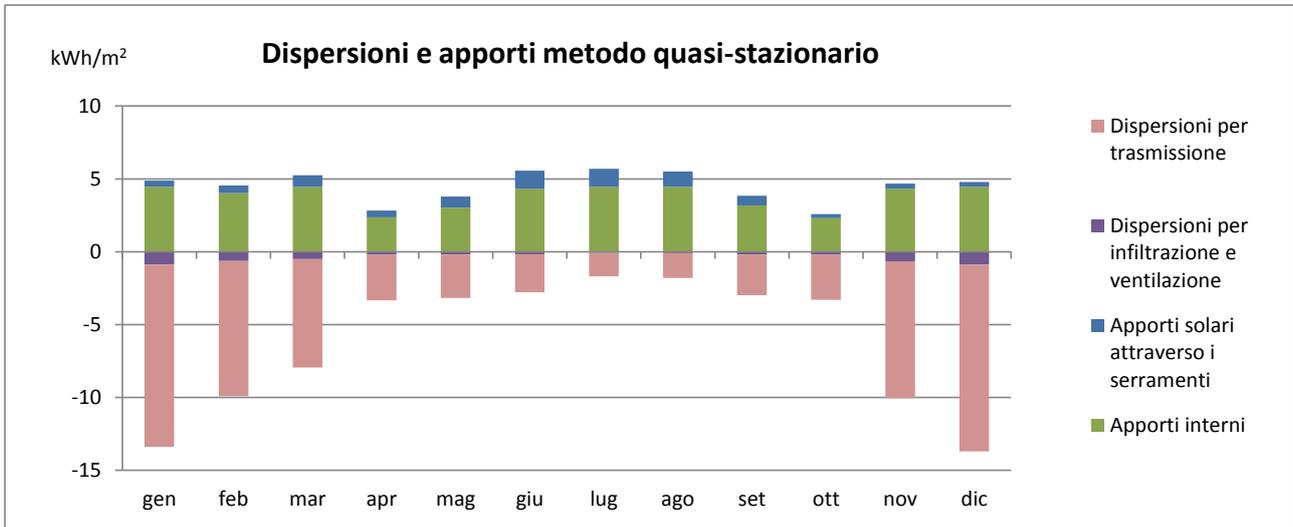


Figura 2.25 - Dispersioni e apporti gratuiti secondo il metodo quasi-stazionario

Il grafico in Figura 2.26 riporta i valori di fabbisogno di energia termica per riscaldamento e raffrescamento richiesta dall'edificio in riferimento al caso studio valutato attraverso il metodo quasi-stazionario.

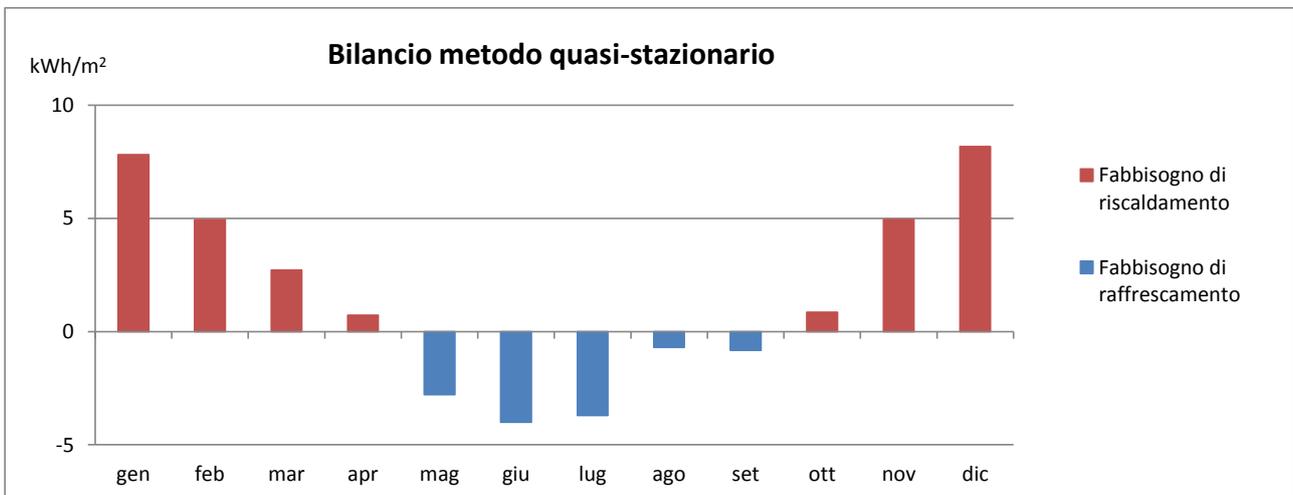


Figura 2.26 – Fabbisogno di energia termica secondo il metodo quasi-stazionario

Il grafico in Figura 2.27 riporta i valori di energia termica dispersa per trasmissione attraverso i componenti opachi e trasparenti, l'energia termica dispersa per ventilazione e per infiltrazioni attraverso l'involucro edilizio, l'energia termica apportata all'ambiente a causa della presenza di persone, illuminazione artificiale ed apparecchiature elettriche, l'energia termica apportata dalla radiazione solare attraverso i componenti trasparenti – si trascurano gli apporti solari attraverso i componenti opachi – in riferimento al caso studio valutato attraverso con il metodo dinamico.

Si noti come sia possibile indicare separatamente molte delle voci sopra menzionate rispetto al calcolo con il metodo quasi-stazionario.

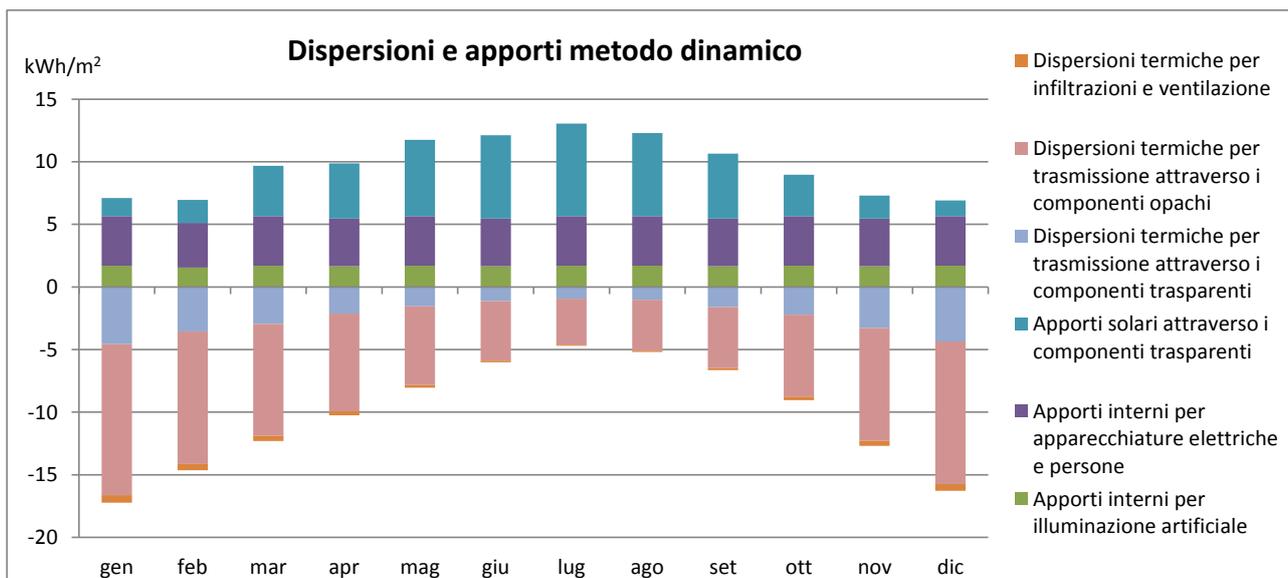


Figura 2.27 Dispersioni e apporti gratuiti secondo il metodo dinamico

Il grafico in Figura 2.28 riporta i valori di fabbisogno di energia termica per riscaldamento e raffrescamento richiesta dall'edificio in riferimento al caso studio valutato attraverso il metodo dinamico.

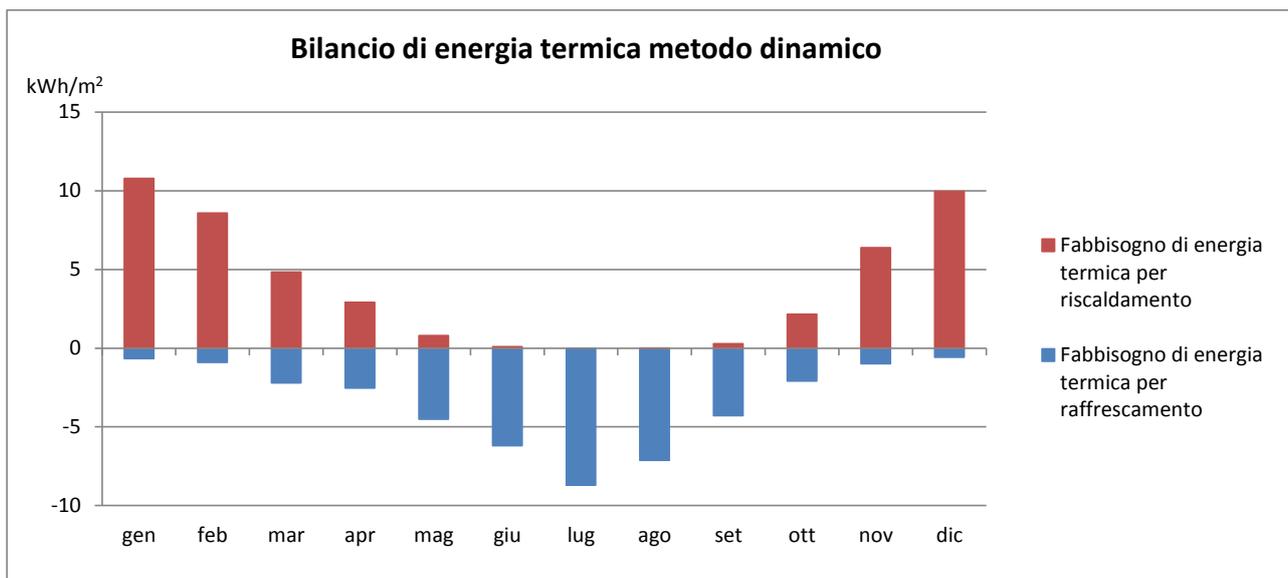


Figura 2.28 Fabbisogno di energia termica secondo il metodo dinamico

La presenza simultanea di un fabbisogno di riscaldamento e raffrescamento è dovuta all'aggregazione dei dati su base mensile: il metodo dinamico consente di valutare appropriatamente la sovrapposizione di un fabbisogno energetico di raffrescamento e il tempo necessario all'impianto per gestire il carico termico in ambiente. La presenza di apporti interni solari e gratuiti dovuti alla presenza di persone, apparecchiature elettriche e illuminazione comporta la nascita di un fabbisogno energetico di raffrescamento durante le ore centrali della giornata, anche durante la stagione invernale, seppure in misura ridotta. Se si analizza il risultato del calcolo su base oraria, si nota che il fabbisogno di riscaldamento e raffrescamento non sono mai sovrapposti in ogni step di calcolo.

Aggregando i dati su base mensile per comodità di rappresentazione, risulta un minimo fabbisogno energetico di raffrescamento anche durante i mesi più freddi.

Il grafico riportato in Figura 2.29 rappresenta il confronto tra il risultato del calcolo effettuato attraverso il metodo dinamico e il metodo quasi-stazionario: in ascissa sono riportati i valori annuali di energia termica dispersa e ottenuta attraverso l'involucro edilizio, espressi in kWh/m².

Il grafico riportato in Figura 2.30 rappresenta il confronto tra il risultato del calcolo effettuato attraverso il metodo dinamico e il metodo quasi-stazionario: in ascissa sono riportati i valori annuali di fabbisogno di energia termica per riscaldamento e raffrescamento, espressi in kWh/m².

Si nota come il metodo di calcolo quasi-stazionario sottostimi in generale il valore delle dispersioni e degli apporti gratuiti. Il valore di dispersioni termiche per ventilazione e per infiltrazione risulta pressoché confrontabile secondo i due metodi di calcolo.

Il valore delle dispersioni termiche per trasmissione attraverso l'involucro edilizio, calcolate come somma delle dispersioni attraverso i serramenti e i componenti opachi, è sottostimato dal metodo quasi-stazionario. Il termine dispersioni termiche per trasmissione calcolate secondo il metodo dinamico rappresenta l'effetto di pareti, pavimenti e soffitti/tetti sulla zona, nonché l'impatto del ritardo tra i guadagni/perdite e il carico sull'impianto HVAC che serve la zona.

Occorre evidenziare che i dati climatici utilizzati per i due modelli non sono perfettamente congruenti in quanto a modellazione dinamica richiede gli anni tipo ricavati a partire da dati statistici.

Un ulteriore scostamento nei due risultati è dato dal differente metodo di calcolo dei coefficienti convettivo e radiativo interno ed esterno: il metodo quasi-stazionario adotta un valore costante, al contrario del metodo dinamico che fa variare per ogni step di calcolo i valori dei due coefficienti in relazione alle condizioni climatiche esterne.

In riferimento alla trasmissione solare, occorre evidenziare che nella definizione dei serramenti sono state impostate le caratteristiche ottiche e solari del vetro, questo influisce sul valore di energia solare trasmessa attraverso il serramento. Per maggiori dettagli si rimanda al paragrafo 2.4.3.

L'accuratezza del metodo quasi-stazionario, inoltre, è influenzata dalle semplificazioni apportate dall'adozione del fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti, soprattutto in edifici come quelli per uffici in cui sono elevati gli apporti solari e interni.

Il software utilizzato è ad oggi in fase di implementazione, e non ha consentito di simulare correttamente le diverse opzioni impiantistiche. Si indica come sviluppo futuro del presente lavoro la revisione dei risultati ottenuti, che saranno successivamente presentati per la totalità dei casi esaminati.

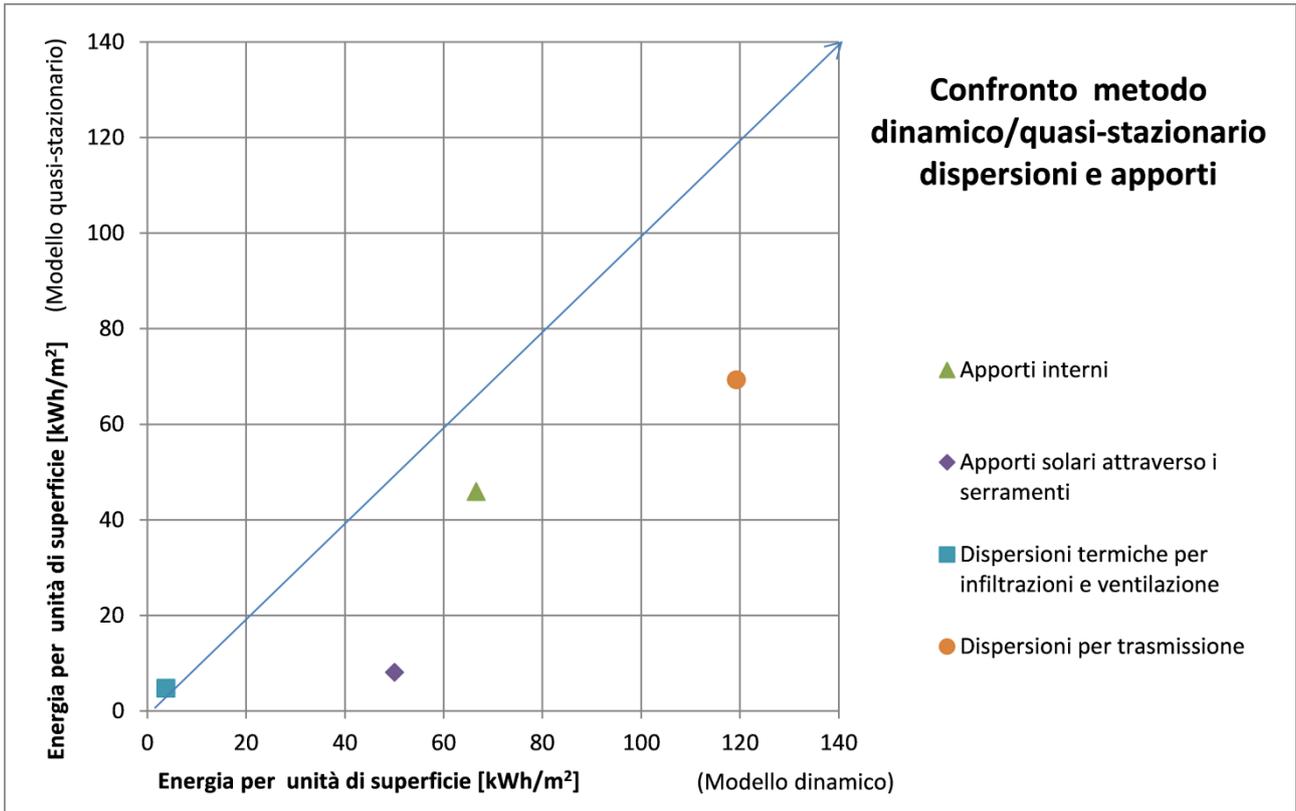


Figura 2.29 Confronto di apporti termici e dispersioni secondo il metodo dinamico e il metodo quasi-stazionario

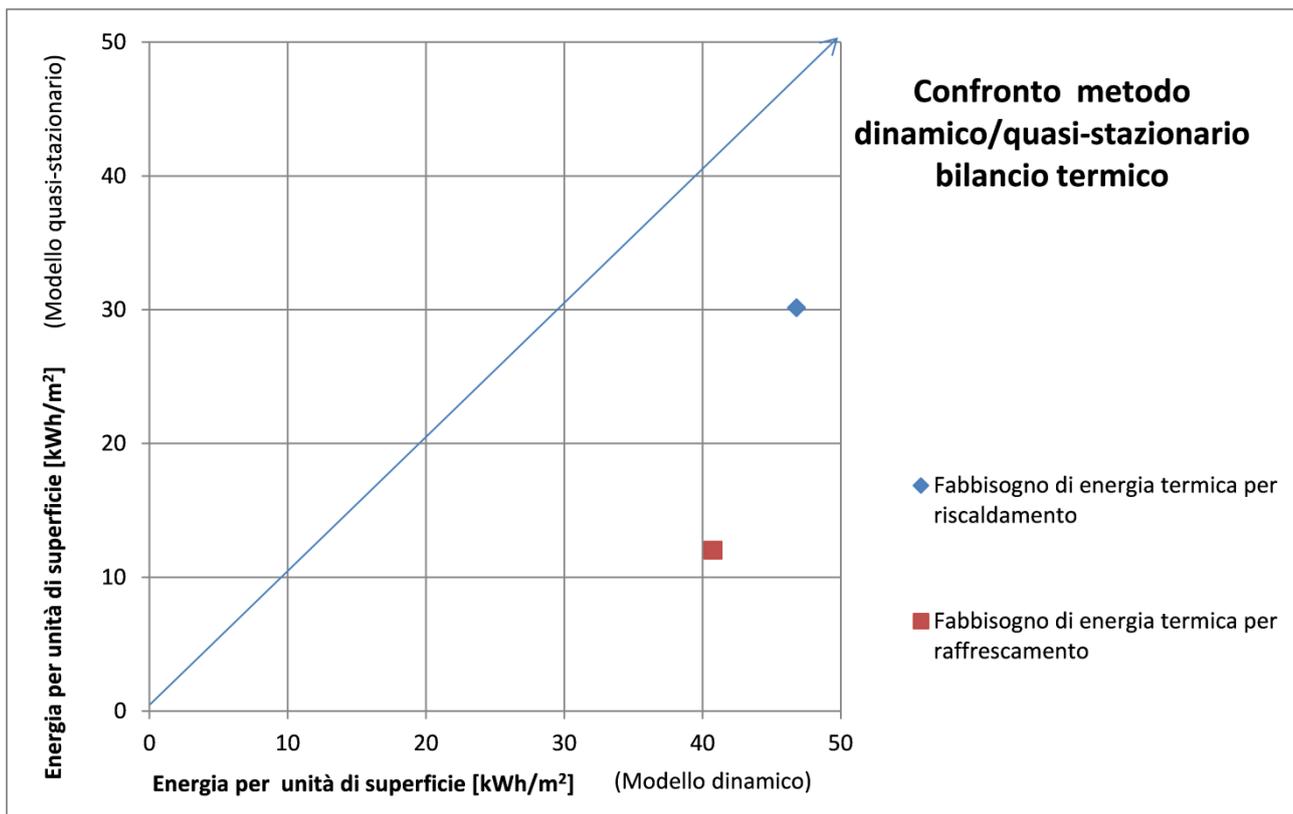


Figura 2.30 Confronto tra fabbisogno di riscaldamento e raffrescamento secondo il metodo dinamico e il metodo quasi-stazionario

3 Conclusioni

Il presente documento ha presentato il lavoro svolto nell'ambito dell'attività "Sviluppo della metodologia comparativa *cost-optimal* secondo la Direttiva 2010/31/UE" all'interno dell'accordo di programma MSE-ENEA stipulato con il Politecnico di Torino.

L'attività ha previsto l'aggiornamento alle recenti specifiche tecniche 11300 dello strumento di calcolo definito nell'ambito di un precedente lavoro [38] per l'applicazione al caso italiano della metodologia per il calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica, nell'ambito del quadro metodologico definito dal Regolamento delegato UE N. 244/2012 della Commissione del 16 gennaio 2012 e dalle successive Linee Guida.

Utilizzando tale strumento di calcolo, è stata condotta una valutazione sia energetica sia economica, considerando vari pacchetti di misure di efficienza energetica. La valutazione energetica è stata effettuata mediante metodologia semplificata, in accordo con le specifiche tecniche UNI/TS 11300-1/4, con lo scopo di prevedere i consumi energetici globali per singolo edificio campione; la valutazione economica è stata condotta in accordo con la norma UNI EN 15459 con lo scopo di prevedere il costo globale in un contesto di nuova costruzione o ristrutturazione edilizia totale.

Sulla base di dati di letteratura, di indagini statistiche e dei risultati dei progetti di ricerca europei *TABULA* ed *EPISCOPE*, sono stati definiti degli edifici di riferimento – tre tipologie di edifici residenziali (monofamiliare, piccolo e grande condominio) e un edificio per uffici sono stati scelti per le zone climatiche italiane B ed E, per tre differenti periodi temporali ('46-'76, '77-'90, nuova costruzione) – al fine di estendere la ricerca ad edifici rappresentativi del parco edilizio italiano per funzionalità, caratteristiche tipologiche e costruttive, e condizioni climatiche.

Gli strumenti di calcolo sono quindi stati applicati agli edifici campione e per ogni tipologia edilizia è stato definito un pacchetto di interventi di risparmio energetico "ottimale", corrispondente al gruppo di interventi di risparmio energetico che se applicati condurrebbero al migliore rapporto costi economici/benefici energetici.

Di seguito si riporta una comparazione tra i risultati ottenuti ed i valori prescrittivi contenuti nell'attuale legislazione energetica nazionale, al fine di verificare se tali prescrizioni abbiano un reale beneficio economico, secondo quanto richiesto dalla Direttiva 2010/31/UE.

I risultati della procedura di ottimizzazione applicati agli edifici di riferimento in zona climatica E sono confrontati attraverso le seguenti Tabelle.

3.1 Edifici residenziali

Tabella 3.1 Principali parametri tipologico-costruttivi degli edifici residenziali di riferimento.

| | CODICE EDIFICIO | V_l [m ³] | A_{env}/V_l [m ⁻¹] | A_w/A_{env} [-] | n° U.I. | $A_{f,U.I.}$ [m ²] | U_{wall} [Wm ⁻² K ⁻¹] | U_{window} [Wm ⁻² K ⁻¹] | $U_{roof/ceiling}$ [Wm ⁻² K ⁻¹] | U_{floor} [Wm ⁻² K ⁻¹] |
|------------------|-----------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------|---------|--------------------------------|--|--|--|---|
| ZONA CLIMATICA E | RMF_E1 | 583 | 0,75 | 0,046 | 1 | 162 | 1,48 | 4,90 | 2,20 | 2,00 |
| | RMF_E2 | 725 | 0,72 | 0,048 | 1 | 199 | 0,76 | 2,80 | 1,14 | 0,98 |
| | RMF_N0 | 371 | 0,99 | 0,034 | 1 | 97,5 | 0,33 | 2,20 | 0,30 | 0,33 |
| | RMF_N1 | 607 | 0,72 | 0,006 | 1 | 174 | 0,34 | 2,20 | 0,30 | 0,33 |
| | RPC_E1 | 3076 | 0,51 | 0,095 | 12 | 69 | 1,15 | 4,90 | 1,65 | 1,30 |
| | RPC_E2 | 4136 | 0,48 | 0,061 | 12 | 91 | 0,80 | 3,70 | 0,97 | 1,14 |
| | RPC_N0 | 1728 | 0,60 | 0,063 | 6 | 75 | 0,34 | 2,20 | 0,30 | 0,33 |
| | RPC_N1 | 2959 | 0,54 | 0,064 | 13 | 63,8 | 0,34 | 2,20 | 0,30 | 0,33 |
| | RGC_E1 | 5949 | 0,46 | 0,079 | 24 | 65 | 1,15 | 4,90 | 1,65 | 1,30 |
| | RGC_E2 | 12685 | 0,37 | 0,077 | 48 | 73 | 0,76 | 3,70 | 0,97 | 0,98 |
| | RGC_N0 | 6662 | 0,43 | 0,091 | 24 | 75 | 0,34 | 2,20 | 0,30 | 0,33 |
| | RGC_N1 | 8199 | 0,40 | 0,083 | 31 | 68,5 | 0,34 | 2,20 | 0,30 | 0,33 |
| ZONA CLIMATICA B | RMF_E1 | 583 | 0,75 | 0,046 | 1 | 162 | 1,18 | 4,90 | 2,20 | 2,00 |
| | RMF_E2 | 725 | 0,72 | 0,048 | 1 | 199 | 1,10 | 2,80 | 2,20 | 1,30 |
| | RMF_N0 | 371 | 0,99 | 0,034 | 1 | 97,5 | 0,48 | 3,00 | 0,37 | 0,49 |
| | RMF_N1 | 607 | 0,72 | 0,049 | 1 | 174 | 0,48 | 3,00 | 0,38 | 0,49 |
| | RPC_E1 | 3076 | 0,51 | 0,095 | 12 | 69 | 0,90 | 4,90 | 1,65 | 1,30 |
| | RPC_E2 | 4136 | 0,48 | 0,061 | 12 | 91 | 0,98 | 3,70 | 1,65 | 1,60 |
| | RPC_N0 | 1728 | 0,60 | 0,063 | 6 | 75 | 0,48 | 3,00 | 0,38 | 0,49 |
| | RPC_N1 | 2959 | 0,54 | 0,064 | 13 | 63,8 | 0,48 | 3,00 | 0,38 | 0,49 |
| | RGC_E1 | 5949 | 0,46 | 0,079 | 24 | 65 | 0,90 | 4,90 | 1,65 | 1,30 |
| | RGC_E2 | 12685 | 0,37 | 0,077 | 48 | 73 | 0,98 | 3,70 | 1,65 | 1,30 |
| | RGC_N0 | 6662 | 0,43 | 0,091 | 24 | 75 | 0,48 | 3,00 | 0,38 | 0,49 |
| | RGC_N1 | 8199 | 0,40 | 0,083 | 31 | 68,5 | 0,48 | 3,00 | 0,38 | 0,49 |

Tabella 3.2 Valori ottimali dei parametri di progetto degli edifici residenziali di riferimento.

| EEM | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | | 12 | 13 | 14 | 15 | | |
|------------------|---------------|------------|------------|------------|-------------|-------|----------|------|---------------|---------------|-----------------|------|------|-----------------------|--------|----------|--------------|------|
| | COD. EDIFICIO | U_{wall} | U_{wall} | U_{roof} | U_{floor} | U_w | τ_s | EER | $\eta_{gn,H}$ | $\eta_{gn,W}$ | $\eta_{gn,H,W}$ | COP | EER | Solar collectors area | kWp PV | η_r | η_{ctr} | |
| ZONA CLIMATICA E | RMF_E1 | 0,29 | - | 0,27 | - | 2,2 | 0,4 | 2,9 | 1,9 | 0,96 | - | - | - | 2 | 1 | - | 0,995 | |
| | RMF_E2 | - | 0,45 | 0,40 | 0,45 | 5,0 | 0,4 | 3,5 | 1,9 | 1 | - | - | - | 2 | 1 | - | 0,995 | |
| | RMF_N0 | 0,45 | - | 0,4 | 0,45 | 5 | 0,4 | 2,9 | 1,9 | 0,88 | - | - | - | 2 | 4 | 0,9 | 0,995 | |
| | RMF_N1 | 0,45 | - | 0,4 | 0,45 | 5 | 0,4 | 2,9 | 1,9 | 0,88 | - | - | - | 4 | 4 | 0,6 | 0,995 | |
| | RPC_E1 | - | 0,48 | 0,33 | 0,49 | 2,2 | 0,2 | 3 | 0,94 | 0,88 | - | - | - | 7 | 2,5 | - | 0,97 | |
| | RPC_E2 | 0,42 | - | 0,38 | 0,43 | 5,8 | 0,2 | 3 | 0,94 | 0,88 | - | - | - | 12 | 2,5 | - | 0,97 | |
| | RPC_N0 | 0,34 | - | 0,4 | 0,45 | 2,2 | 0,4 | 3 | 1,9 | 0,88 | - | - | - | 7 | 2,5 | 0,7 | 0,995 | |
| | RPC_N1 | 0,34 | - | 0,4 | 0,45 | 2,2 | 0,4 | 3 | 0,93 | 0,88 | - | - | - | 17 | 2,5 | 0,9 | 0,97 | |
| | RGC_E1 | - | 0,34 | 0,4 | 0,45 | 1,9 | 0,4 | - | - | - | - | 3,3 | 3,2 | 29 | 3 | - | 0,995 | |
| | RGC_E2 | - | 0,34 | 0,4 | 0,45 | 2,2 | 0,4 | - | - | - | - | 3,3 | 3,2 | 58 | 4 | - | 0,995 | |
| | RGC_N0 | 0,34 | - | 0,4 | 0,45 | 1,9 | 0,4 | - | - | - | - | 3,3 | 3,2 | 29 | 15 | 0,9 | 0,995 | |
| | RGC_N1 | 0,34 | - | 0,3 | 0,45 | 1,9 | 0,4 | - | - | - | - | 3,3 | 3,2 | 30 | 3,7 | 0,7 | 0,995 | |
| ZONA CLIMATICA B | RMF_E1 | 0,65 | - | 0,5 | - | 5,8 | 0,2 | 2,9 | 1,9 | 0,88 | - | - | - | 2 | 1 | - | 0,995 | |
| | RMF_E2 | - | 0,65 | 0,50 | 0,65 | 5,8 | 0,2 | 4 | 1,9 | 1 | - | - | - | 2 | 1 | - | 0,995 | |
| | RMF_N0 | 0,65 | - | 0,5 | 0,65 | 5,8 | 0,2 | 2,9 | 1,7 | 0,88 | - | - | - | 4 | 5 | 0,7 | 0,995 | |
| | RMF_N1 | 0,65 | - | 0,5 | 0,65 | 5,8 | 0,2 | 2,9 | 1,7 | 0,88 | - | - | - | 4 | 5 | 0,7 | 0,995 | |
| | RPC_E1 | - | 0,48 | 0,3 | 0,36 | 2,6 | 0,4 | 3 | 1,9 | 0,88 | - | - | - | 3 | 2,5 | - | - | |
| | RPC_E2 | 0,45 | - | 0,4 | 0,45 | 5 | 0,4 | 3 | 1,9 | 0,88 | - | - | - | 7 | 2,5 | - | 0,995 | |
| | RPC_N0 | 0,3 | - | 0,3 | 0,36 | 2,2 | 0,2 | 3 | 1,9 | 0,88 | - | - | - | 7 | 2,5 | 0,6 | 0,995 | |
| | RPC_N1 | 0,3 | - | 0,3 | 0,36 | 2,2 | 0,2 | 3 | 0,92 8 | 0,88 | - | - | - | 17 | 2,5 | 0,9 | 0,97 | |
| | RGC_E1 | 0,36 | - | 0,35 | 0,49 | 2,2 | 0,4 | 3,2 | - | - | 0,95 | - | - | 29 | 3 | - | 0,97 | |
| | RGC_E2 | 0,48 | - | 0,5 | 0,49 | 5,8 | 0,4 | - | - | - | - | 3,3 | 3,2 | 58 | 4 | - | 0,995 | |
| | RGC_N0 | 0,48 | 0,48 | 0,48 | 0,48 | 0,48 | 0,4 8 | 0,48 | 0,48 | 0,48 | 0,48 | 0,48 | 0,48 | 0,48 | 0,48 | 0,48 | 0,48 | 0,48 |
| | RGC_N1 | 0,48 | - | 0,5 | 0,49 | 5,8 | 1 | - | - | - | - | 3,3 | 3,2 | 29 | 15 | 0,9 | 0,995 | |

Tabella 3.3 Confronto tra il valore ottimale della trasmittanza termica U_{wall} e il valore della trasmittanza termica ottimale comprensiva di ponti termici U^* degli edifici residenziali di riferimento.

| | CODICE EDIFICIO | U_{wall} [Wm ⁻² K ⁻¹] | U^* [Wm ⁻² K ⁻¹] |
|------------------|------------------|---|--|
| ZONA CLIMATICA E | RMF_E1 | 0,45 | 0,51 |
| | RMF_E2 | 0,45 | 0,66 |
| | RMF_NO | 0,45 | 0,55 |
| | RMF_N1 | 0,25 | 0,4 |
| | RPC_E1 | 0,45 | 0,58 |
| | RPC_E2 | 0,45 | 0,48 |
| | RPC_NO | 0,45 | 0,58 |
| | RPC_N1 | 0,25 | 0,42 |
| | RGC_E1 | 0,36 | 0,52 |
| | RGC_E2 | 0,34 | 0,47 |
| | RGC_NO | 0,34 | 0,44 |
| | RGC_N1 | 0,34 | 0,42 |
| | ZONA CLIMATICA B | RMF_E1 | 0,65 |
| RMF_E2 | | 0,65 | 0,78 |
| RMF_NO | | 0,65 | 0,7 |
| RMF_N1 | | 0,65 | 0,72 |
| RPC_E1 | | 0,48 | 0,49 |
| RPC_E2 | | 0,58 | 0,54 |
| RPC_NO | | 0,65 | 0,73 |
| RPC_N1 | | 0,42 | 0,56 |
| RGC_E1 | | 0,36 | 0,37 |
| RGC_E2 | | 0,48 | 0,60 |
| RGC_NO | | 0,48 | 0,57 |
| RGC_N1 | | 0,48 | 0,54 |

Tabella 3.4 Durata del periodo di raffrescamento degli edifici residenziali di riferimento

| | CODICE EDIFICIO | INIZIO | FINE |
|------------------|-----------------|--------|--------|
| ZONA CLIMATICA E | RMF_E1 | 5-giu | 29-ago |
| | RMF_E2 | 1-giu | 1-set |
| | RMF_N0 | 10-giu | 27-ago |
| | RMF_N1 | 13-giu | 24-ago |
| | RPC_E1 | 15-mag | 13-set |
| | RPC_E2 | 26-mag | 8-set |
| | RPC_N0 | 30-mag | 05-set |
| | RPC_N1 | 19-apr | 12-ott |
| | RGC_E1 | 12-mag | 17-set |
| | RGC_E2 | 3-mag | 24-set |
| | RGC_N0 | 22-apr | 6-ott |
| | RGC_N1 | 27-apr | 1-ott |
| ZONA CLIMATICA B | RMF_E1 | 7-giu | 20-set |
| | RMF_E2 | 6-giu | 21-set |
| | RMF_N0 | 9-giu | 20-set |
| | RMF_N1 | 4-giu | 25-set |
| | RPC_E1 | 22-apr | 31-ott |
| | RPC_E2 | 1-giu | 30-set |
| | RPC_N0 | 02-giu | 29-set |
| | RPC_N1 | 22-apr | 03-nov |
| | RGC_E1 | 5-mag | 22-ott |
| | RGC_E2 | 22-mag | 8-ott |
| | RGC_N0 | 22-mag | 10-ott |
| | RGC_N1 | 14-mag | 19-ott |

Tabella 3.5 Minimo costo globale e relativo valore ottimale di energia primaria annuale degli edifici residenziali di riferimento

| | CODICE EDIFICIO | Costo globale [€/m ²] | EP [kWh/m ²] |
|------------------|------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| ZONA CLIMATICA E | RMF_E1 | 312 | 24,93 |
| | RMF_E2 | 259 | 23,81 |
| | RMF_NO | 352 | 21,30 |
| | RMF_N1 | 204 | 12,30 |
| | RPC_E1 | 454 | 78,50 |
| | RPC_E2 | 373 | 50,52 |
| | RPC_NO | 424 | 29,05 |
| | RPC_N1 | 255 | 48,85 |
| | RGC_E1 | 613 | 69,41 |
| | RGC_E2 | 394 | 45,58 |
| | RGC_NO | 357 | 25,79 |
| | RGC_N1 | 379 | 37,51 |
| | ZONA CLIMATICA B | RMF_E1 | 289 |
| RMF_E2 | | 252 | 25,58 |
| RMF_NO | | 334 | 30,38 |
| RMF_N1 | | 192 | 24,00 |
| RPC_E1 | | 500 | 51,47 |
| RPC_E2 | | 418 | 34,11 |
| RPC_NO | | 390 | 50,89 |
| RPC_N1 | | 217 | 39,71 |
| RGC_E1 | | 503 | 71,79 |
| RGC_E2 | | 360 | 35,11 |
| RGC_NO | | 319 | 48,47 |
| RGC_N1 | | 315 | 51,15 |

3.2 Edifici ad uso ufficio

Tabella 3.6 Principali parametri tipologico-costruttivi degli edifici ad uso ufficio di riferimento.

| | CODICE EDIFICIO | V_l [m ³] | A_{env}/V_l [m ⁻¹] | A_w/A_{env} [-] | n° uffici | A_f [m ²] | U_{wall} [Wm ⁻² K ⁻¹] | U_{window} [Wm ⁻² K ⁻¹] | $U_{roof/ceiling}$ [Wm ⁻² K ⁻¹] | U_{floor} [Wm ⁻² K ⁻¹] |
|------------------|-----------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------|-----------|-------------------------|--|--|--|---|
| ZONA CLIMATICA E | UFF_E1 | 1339 | 0,60 | 0,14 | 12 | 363 | 1,53 | 2,60 | 1,20 | 0,36 (controterra) |
| | UFF_E2 | 7200 | 0,32 | 0,21 | 70 | 2007 | 0,50 | 3,20 | 0,85 | 0,25 (controterra) |
| | UFF_NO | 6100 | 0,35 | 0,20 | 56 | 1519 | 0,34 | 2,20 | 0,30 | 0,33 |
| | UFF_N1 | 6100 | 0,35 | 0,23 | 56 | 1519 | 0,34 | 2,20 | 0,30 | 0,33 |
| ZONA CLIMATICA B | UFF_E1 | 1339 | 0,60 | 0,12 | 12 | 363 | 1,53 | 4,00 | 1,20 | 0,36 (controterra) |
| | UFF_E2 | 7200 | 0,32 | 0,19 | 70 | 2007 | 0,50 | 3,20 | 0,85 | 0,25 (controterra) |
| | UFF_NO | 6077 | 0,35 | 0,20 | 56 | 1536 | 0,48 | 3,00 | 0,38 | 0,49 |
| | UFF_N1 | 6077 | 0,35 | 0,23 | 56 | 1536 | 0,48 | 3,00 | 0,38 | 0,49 |

Tabella 3.7 Valori ottimali dei parametri di progetto degli edifici ad uso ufficio di riferimento

| EEM | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | | |
|------------------|------------|------------|------------|-------------|-------|-------------|-----|---------------|---------------|-----------------|-----|-----|-----------------------|--------|----------|--------------|-----|-------|-------------|
| | U_{wall} | U_{wall} | U_{roof} | U_{floor} | U_w | τ_{sh} | EER | $\eta_{gn,H}$ | $\eta_{gn,W}$ | $\eta_{gn,H,W}$ | COP | EER | Solar collectors area | kWp PV | η_r | η_{ctr} | PN | F_o | $F_c (F_D)$ |
| ZONA CLIMATICA E | UFF_E1 | 0,34 | - | 0,3 | - | 1,9 | 0,4 | 3,5 | | 1,03 | - | - | 2 | 10 | 0,6 | 0,995 | 4,6 | 0,8 | 0,9 |
| | UFF_E2 | 0,25 | - | 0,3 | - | 1,9 | 0,4 | 3,5 | | 0,944 | - | - | 10 | 6 | 0,6 | - | 4,6 | 0,8 | 0,9 |
| | UFF_NO | 0,34 | - | 0,3 | 0,45 | 2,2 | 0,4 | 2,7 | | 0,938 | - | - | 6 | 20 | 0,6 | 0,995 | 4,6 | 0,8 | 0,9 |
| | UFF_N1 | 0,45 | - | 0,27 | 0,33 | 1,9 | 0,4 | 2,7 | | 0,938 | - | - | 6 | 20 | 0,6 | 0,995 | 4,6 | 0,8 | 0,9 |
| ZONA CLIMATICA B | UFF_E1 | 0,48 | - | 0,38 | - | 5,8 | 0,2 | 3,5 | | 1,03 | - | - | 2 | 5 | 0,6 | 0,995 | 4,6 | 0,8 | 0,9 |
| | UFF_E2 | 0,2 | - | 0,38 | - | 5,8 | 0,2 | 3,5 | | 0,944 | - | - | 10 | 20 | 0,6 | 0,97 | 4,6 | 0,8 | 0,9 |
| | UFF_NO | 0,48 | - | 0,38 | 0,49 | 5,8 | 0,2 | 2,7 | | 0,938 | - | - | 6 | 18 | 0,6 | 0,995 | 4,6 | 0,8 | 0,9 |
| | UFF_N1 | 0,65 | - | 0,5 | 0,49 | 5,8 | 1 | - | | - | 3,5 | 3,2 | 6 | 12 | 0,6 | 0,995 | 4,6 | 0,8 | 0,9 |

Tabella 3.8 Confronto tra il valore ottimale della trasmittanza termica U_{wall} e il valore della trasmittanza termica ottimale comprensiva di ponti termici U^* degli edifici ad uso ufficio di riferimento.

| | CODICE EDIFICIO | U_{wall} [Wm ⁻² K ⁻¹] | U^* [Wm ⁻² K ⁻¹] |
|------------------|-----------------|---|--|
| ZONA CLIMATICA E | UFF_E1 | 0,2 | 0,25 |
| | UFF_E2 | 0,25 | 0,88 |
| | UFF_N0 | 0,34 | 0,55 |
| | UFF_N1 | 0,45 | 0,64 |
| ZONA CLIMATICA B | UFF_E1 | 0,44 | 0,41 |
| | UFF_E2 | 0,3 | 0,95 |
| | UFF_N0 | 0,48 | 0,59 |
| | UFF_N1 | 0,65 | 0,74 |

Tabella 3.9 Durata del periodo di raffrescamento degli edifici ad uso ufficio di riferimento

| | CODICE EDIFICIO | INIZIO | FINE |
|------------------|-----------------|--------|--------|
| ZONA CLIMATICA E | UFF_E1 | 27-apr | 5-ott |
| | UFF_E2 | 26-mag | 9-set |
| | UFF_N0 | 12-mag | 20-set |
| | UFF_N1 | 9-mag | 21-set |
| ZONA CLIMATICA B | UFF_E1 | 7-giu | 22-set |
| | UFF_E2 | 9-giu | 21-set |
| | UFF_N0 | 9-giu | 22-set |
| | UFF_N1 | 25-apr | 4-nov |

Tabella 3.10 Minimo costo globale e relativo valore ottimale di energia primaria annuale degli edifici ad uso ufficio di riferimento

| | CODICE EDIFICIO | Costo globale [€/m ²] | EP [kWh/m ²] |
|------------------|-----------------|-----------------------------------|--------------------------|
| ZONA CLIMATICA E | UFF_E1 | 1036 | 291,78 |
| | UFF_E2 | 508 | 130,66 |
| | UFF_N0 | 573 | 90,34 |
| | UFF_N1 | 641 | 125,82 |
| ZONA CLIMATICA B | UFF_E1 | 694 | 96,67 |
| | UFF_E2 | 446 | 83,79 |
| | UFF_N0 | 502 | 77,40 |
| | UFF_N1 | 564 | 93,02 |

* il valore risulta superiore all'EP; si consideri che $EP_{i,ott}$ non tiene conto dell'energia prodotta da fonti rinnovabili.

4 Riferimenti bibliografici

Legislazione

- [1] Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia (EPBD recast).
- [2] 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.
- [3] Commissione Europea, "Orientamenti che accompagnano il regolamento delegato (UE) n. 244/2012 del 16 gennaio 2012 della Commissione che integra la direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio sulla prestazione energetica nell'edilizia istituendo un quadro metodologico comparativo per calcolare livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli elementi edilizi", 19 Aprile 2012.
- [4] Autorità per l'energia elettrica e il gas, *Glossario dei termini della bolletta*, http://www.autorita.energia.it/it/consumatori/glossario_bollettaele.htm
- [5] Autorità per l'energia elettrica e il gas, *Dati statistici – Evoluzione del servizio di maggior tutela*, http://www.autorita.energia.it/it/dati/evforn_ele.htm
- [6] Ministero dello sviluppo economico, Decreto 5 luglio 2012, Attuazione dell'articolo 25 del decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28, recante incentivazione della produzione di energia elettrica da impianti solari fotovoltaici, 2012.
- [7] Deliberazione della Giunta Regionale 4 agosto 2009, n. 46-11968. Aggiornamento del Piano regionale per il risanamento e la tutela della qualità dell'aria - Stralcio di piano per il riscaldamento ambientale e il condizionamento e disposizioni attuative in materia di rendimento energetico nell'edilizia ai sensi dell'articolo 21, comma 1, lettere a) b) e q) della legge regionale 28 maggio 2007, n. 13 "Disposizioni in materia di rendimento energetico nell'edilizia". Agosto 2009. Regione Piemonte.
- [8] Agenzia Energia e Ambiente di Torino. *Allegato energetico – ambientale al regolamento edilizio della città di Torino. Allegato alla deliberazione n. 2010-08963/38*. Agosto 2009. Regione Piemonte.

Norme tecniche

- [9] UNI EN 15459. Prestazione energetica degli edifici. Procedura di valutazione economica dei sistemi energetici degli edifici. Luglio 2008.
- [10] UNI EN 15603. Prestazione energetica degli edifici. Consumo energetico globale e definizione dei metodi di valutazione energetica. Luglio 2008.
- [11] UNI CEN/TR 15615. Spiegazione della relazione generale tra le varie norme europee e la direttiva sulla prestazione energetica degli edifici (EPBD). Documento riassuntivo. Settembre 2008.
- [12] UNI EN ISO 13790. Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling. March 2008.
- [13] EN 15316:2007 (series). Heating systems in buildings - Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies.
- [14] EN 15243. Ventilation for buildings - Calculation of room temperatures and of load and energy for buildings with room conditioning systems. August 2007.
- [15] EN 15193. Energy performance of buildings - Energy requirements for lighting, September 2007.
- [16] UNI/TS 11300-1 rev. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale. 2014.
- [17] UNI/TS 11300-2 rev. 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. 2014.

- [18] UNI/TS 11300-3. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva. 2010.
- [19] 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. 2012.
- [20] prUNI 10349-1. Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici. Medie mensili (e dati orari) per la valutazione della prestazione termo-energetica dell'edificio. Giugno 2014.
- [21] UNI 10339. Impianti aerulici a fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura. 1995.
- [22] EN 15232. Energy performance of buildings – Impact of Building Automation, Controls and Building Management. 2012

Pubblicazioni scientifiche

- [23] European Council for an Energy Efficient Economy. *Cost optimal building performance requirements Calculation methodology for reporting on national energy performance requirements on the basis of cost optimality within the framework of the EPBD*. Stockholm. Maggio 2011.
- [24] EEB. *Harmonized Cost Optimal Methodologies for the Energy Performance in Buildings Directive - EEB Principles to Calculate Minimum Energy Performance Requirements in Buildings*. Brussels. Aprile 2010.
- [25] BPIE. *Cost Optimality. Discussing methodology and challenges within the recast Energy Performance of Buildings Directive*. Settembre 2010.
- [26] Concerted Action. *Cost optimal levels for energy performance requirements - The Concerted Action's input to the Framework Methodology*. Maggio 2011.
- [27] Christenson, C., R. Anderson, et al.. *BEopt™ Software for Building Energy Optimization: Features and Capabilities*. U.S. Dep. of Energy. Golden, Colorado, National Renewable Energy Laboratory 21. 2006.
- [28] Wittchen K.B. Thomsen K.E. *Implementation of the cost optimal methodology according to the EPBD recast*. REHVA Journal. Marzo. 2012.
- [29] Corrado V. et al. *Building Typology Brochure – Italy. Fascicolo sulla Tipologia Edilizia Italiana*. Torino: Politecnico di Torino. Dicembre 2011.
- [30] AA.VV. *Use of Building Typologies for Energy Performance Assessment of National Building Stocks. Existent Experiences in European Countries and Common Approach*. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt. 2010.
- [31] T. Boermans, K. Bettgenhauser, A. Hermelink, S. Shimschar, *Cost optimal building performance requirements*, Eceee report, maggio 2011.
http://www.eceee.org/buildings/cost_optimality/cost_optimality-eceereport.pdf
- [32] Capros P. et al., *EU Energy trends to 2030*, agosto 2010
http://ec.europa.eu/energy/observatory/trends_2030/index_en.htm
- [33] F. Margiotta, "Metodologia per la determinazione delle caratteristiche strutturali ed impiantistiche di "Edifici Tipo" del Parco Edilizio Nazionale ad uso ufficio e Valutazione del Potenziale di Risparmio energetico sulla base della fattibilità degli interventi di riqualificazione Energetica", ENEA RdS/2010/197.
- [34] <http://ec.europa.eu/environment/air/pollutants/models/primes.htm>
- [35] Reinhart C. F. *Lightswitch-2002: a model for manual and automated control of electric lighting and blinds*. In «Solar Energy», pp. 15-28, 2004. Elsevier.
- [36] <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>
- [37] Corrado V., Capozzoli A., Gorrino A., Soma P., *Atlante nazionale dei ponti termici*, edizioni Edilclima, Borgomanero (NO), 2011.
- [38] CORRADO V.; BALLARINI I.; PADUOS S. (2013). *Sviluppo della metodologia comparativa cost-optimal secondo Direttiva 2010/31/UE*. Report RdS/2013/144. ROMA: Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA).

ALLEGATI

ALLEGATO A. ZONE CLIMATICHE E TRASMITTANZA POST-INTERVENTO

Le misure di riqualificazione energetica dell'involucro dipendono da:

- zona climatica di ubicazione;
- vincoli sulla trasmittanza da raggiungere post-intervento.

Riguardo alle zone climatiche è necessario fare riferimento alla loro istituzione introdotta con D.P.R. n. 412 del 26 agosto 1993, tabella A e successive modifiche ed integrazioni: *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.*

Gli oltre 8000 comuni italiani sono stati suddivisi in sei zone climatiche, per mezzo della tabella A allegata al decreto.

Sono stati forniti inoltre, per ciascun comune, le indicazioni sulla somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente, convenzionalmente fissata a 20 °C, e la temperatura media esterna giornaliera; l'unità di misura utilizzata è il grado giorno GG).

La zona climatica di appartenenza indica in quale periodo e per quante ore è possibile accendere il riscaldamento negli edifici. I sindaci dei comuni possono ampliare, a fronte di comprovate esigenze, i periodi annuali di esercizio e la durata giornaliera di accensione dei riscaldamenti, dandone immediata notizia alla popolazione.

Al di fuori di tali periodi, gli impianti termici possono essere attivati solo in presenza di situazioni climatiche che ne giustifichino l'esercizio e, comunque, con durata giornaliera non superiore alla metà di quella prevista a pieno regime.

Tabella A.1. Periodo di accensione dell'impianto di riscaldamento consentito nelle varie zone climatiche italiane secondo DPR 412/93.

| Zona climatica | Periodo di accensione | Orario consentito |
|----------------|------------------------|---------------------|
| A | 1 dicembre - 15 marzo | 6 ore giornaliere |
| B | 1 dicembre - 31 marzo | 8 ore giornaliere |
| C | 15 novembre - 31 marzo | 10 ore giornaliere |
| D | 1 novembre - 15 aprile | 12 ore giornaliere |
| E | 15 ottobre - 15 aprile | 14 ore giornaliere |
| F | nessuna limitazione | nessuna limitazione |

L'appartenenza di un comune ad una zona climatica piuttosto che ad un'altra, porta con sé la evidenza del minore o maggiore grado di isolamento che dovrà offrire l'intervento di riqualificazione energetica.

Riguardo alla trasmittanza, vanno applicate le disposizioni del DPR 59/09 del 02.04.2009, che ha sostituito l'Allegato I del DLgs 192/05 (modificato e integrato dal DLgs 311/06). Nell'ambito dell'involucro edilizio, i requisiti energetici degli edifici devono essere tali da soddisfare sia verifiche globali sull'intero edificio che sui singoli elementi edilizi (tabb. A.2, A.3, A.4, A.5, A.6).

In ottemperanza agli obiettivi dello studio, le verifiche sui singoli elementi edilizi, all'atto della costruzione per gli edifici nuovi o della realizzazione di un intervento di miglioramento energetico per gli edifici esistenti, devono rispettare i seguenti valori:

Tabella. A.2. Trasmittanza termica delle strutture opache verticali (colonna da 01.01.2010).

| Strutture opache verticali (U limite in W/m²K) | |
|--|---------------------------|
| <i>Limiti di legge</i> | |
| Zona climatica | Dal 1 gennaio 2010 |
| A | 0,62 |
| B | 0,48 |
| C | 0,40 |
| D | 0,36 |
| E | 0,34 |
| F | 0,33 |

Tabella A.3. Trasmittanza termica delle strutture opache orizzontali o inclinate – coperture (colonna da 01.01.2010).

| Coperture (U limite in W/m²K) | |
|---|---------------------------|
| <i>Limiti di legge</i> | |
| Zona climatica | Dal 1 gennaio 2010 |
| A | 0,38 |
| B | 0,38 |
| C | 0,38 |
| D | 0,32 |
| E | 0,30 |
| F | 0,29 |

Tabella A.4. Trasmittanza termica delle strutture opache orizzontali o inclinate – pavimenti verso locali non riscaldati o esterno (colonna da 01.01.2010).

| Pavimenti verso locali non riscaldati o esterno (U limite in W/m²K) - <i>Limiti di legge</i> | |
|--|---------------------------|
| Zona climatica | Dal 1 gennaio 2010 |
| A | 0,65 |
| B | 0,49 |
| C | 0,42 |
| D | 0,36 |
| E | 0,33 |
| F | 0,22 |

Tabella A.5. Trasmittanza termica delle strutture trasparenti - chiusure (colonna da 01.01.2010).

| Chiusure trasparenti (U limite in W/m²K) | |
|--|---------------------------|
| <i>Limiti di legge</i> | |
| Zona climatica | Dal 1 gennaio 2010 |
| A | 4,6 |
| B | 3,0 |
| C | 2,6 |
| D | 2,4 |
| E | 2,2 |
| F | 2,0 |

Tabella A.6. Trasmittanza termica delle strutture trasparenti - vetri (colonna da 01.01.2011).

| Vetri (U limite in W/m²K) | |
|---|---------------------------|
| <i>Limiti di legge</i> | |
| Zona climatica | Dal 1 gennaio 2011 |
| A | 3,7 |
| B | 2,7 |
| C | 2,1 |
| D | 1,9 |
| E | 1,7 |
| F | 1,3 |

ALLEGATO B. DATI CLIMATICI

I dati climatici adottati per il calcolo delle condizioni al contorno della modellazione sono tratti dalla norma UNI 10349:2013.

L'energia raggiante ricevuta da una superficie

La norma UNI 10349:2013 recepisce il rapporto tecnico UNI TR 11328-1-2009 che definisce un metodo di calcolo dell'energia raggiante ricevuta da una superficie fissa comunque inclinata ed orientata. Il calcolo si basa sui valori giornalieri medi mensili derivati dalla conoscenza di dati climatologici locali.

L'appendice C fornisce i dati climatologici locali medi mensili, quali declinazione media mensile del sole (δ_m), angolo orario di alba e tramonto (ω_s), irradiazione solare extraatmosferica (H_{ho}). A partire dal prospetto VIII è possibile conoscere i dati di irradiazione solare giornaliera media mensile sul piano orizzontale diretta (H_{bh}) e diffusa (H_{dh}) per numerose località del territorio italiano.

A titolo di esempio, alcuni dei dati tratti dalla norma sono riportati nella tabella seguente, in riferimento a Milano (latitudine 45°).

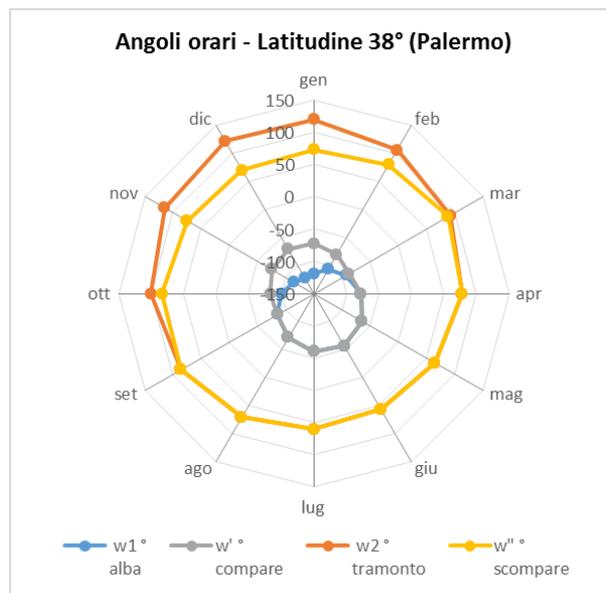
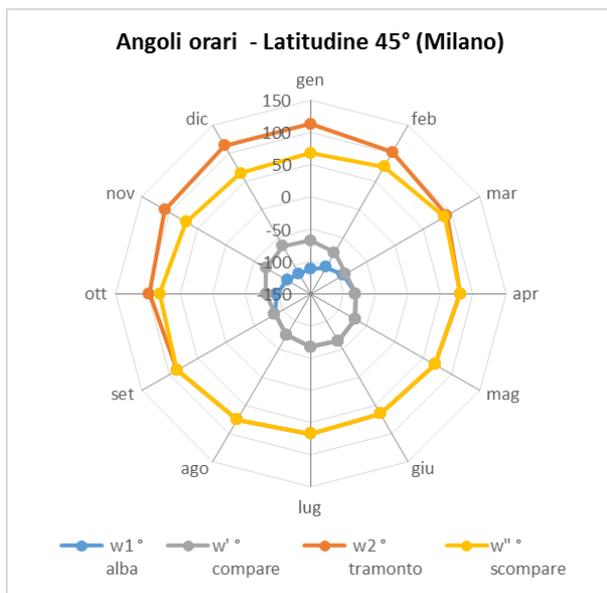
| mese | Dati da prospetto C.1 | | | | Dati da prospetto VIII | | |
|------|-----------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | δ_m [°] | $-\omega_s$ [°] alba | ω_s [°] tramonto | H_{ho} [MJ/m ²] | H_h [MJ/m ²] | H_{dh} [MJ/m ²] | H_{bh} [MJ/m ²] |
| gen | -20,9 | -68 | 68 | 12,2 | 4,9 | 2,2 | 2,7 |
| feb | -12,6 | -77 | 77 | 17,9 | 7,4 | 3,2 | 4,2 |
| mar | -2,0 | -88 | 88 | 25,4 | 11,8 | 5,0 | 6,8 |
| apr | 9,5 | -100 | 100 | 33,2 | 16,0 | 6,5 | 9,5 |
| mag | 18,7 | -110 | 110 | 39,1 | 19,0 | 8,3 | 10,7 |
| giu | 23,4 | -115 | 115 | 41,7 | 22,9 | 9,8 | 13,1 |
| lug | 21,4 | -113 | 113 | 40,5 | 23,3 | 8,8 | 14,5 |
| ago | 14,0 | -104 | 104 | 35,8 | 19,1 | 7,5 | 11,6 |
| set | 3,3 | -93 | 93 | 28,7 | 15,2 | 5,8 | 9,4 |
| ott | -8,2 | -82 | 82 | 19,6 | 8,0 | 3,6 | 4,4 |
| nov | -18,0 | -71 | 71 | 14,0 | 4,3 | 2,1 | 2,2 |
| dic | -22,8 | -65 | 65 | 10,8 | 3,6 | 1,9 | 1,7 |

Data una superficie comunque inclinata e orientata, l'appendice C calcola l'angolo di comparire (ω') e lo scomparire (ω'') del sole come intersezione tra la radiazione solare e la suddetta superficie. Si deve infatti tenere conto del fatto che il sole

Nella tabella seguente, a titolo di esempio, gli angoli calcolati in riferimento a Milano per una superficie ortogonale al terreno esposta a Sud, comparati a quelli di alba e tramonto, calcolati per la stessa località in assenza di ostruzioni. Come si nota dalla tabella, nei mesi da Ottobre a Marzo gli angoli di alba e tramonto non coincidono con quelli di apparire e scomparire del sole sulla superficie ortogonale al terreno esposta a Sud, sono coincidenti invece i suddetti angoli nei mesi estivi.

| mese | ω_1 ° alba | ω_2 ° tramonto | ω' ° compare | ω'' ° scompare |
|------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| gen | -112 | 112 | -68 | 68 |
| feb | -103 | 103 | -77 | 77 |
| mar | -92 | 92 | -88 | 88 |
| apr | -81 | 81 | -81 | 81 |
| mag | -71 | 71 | -71 | 71 |
| giu | -65 | 65 | -65 | 65 |
| lug | -67 | 67 | -67 | 67 |
| ago | -76 | 76 | -76 | 76 |
| set | -87 | 87 | -87 | 87 |
| ott | -98 | 98 | -82 | 82 |
| nov | -109 | 109 | -71 | 71 |
| dic | -114 | 114 | -65 | 65 |

La figura seguente riporta gli angoli di comparire e scomparire del sole per ogni mese dell'anno in relazione al valore dell'angolo orario di alba e tramonto per una latitudine di 45° (Milano) e per una latitudine di 38° (Palermo)



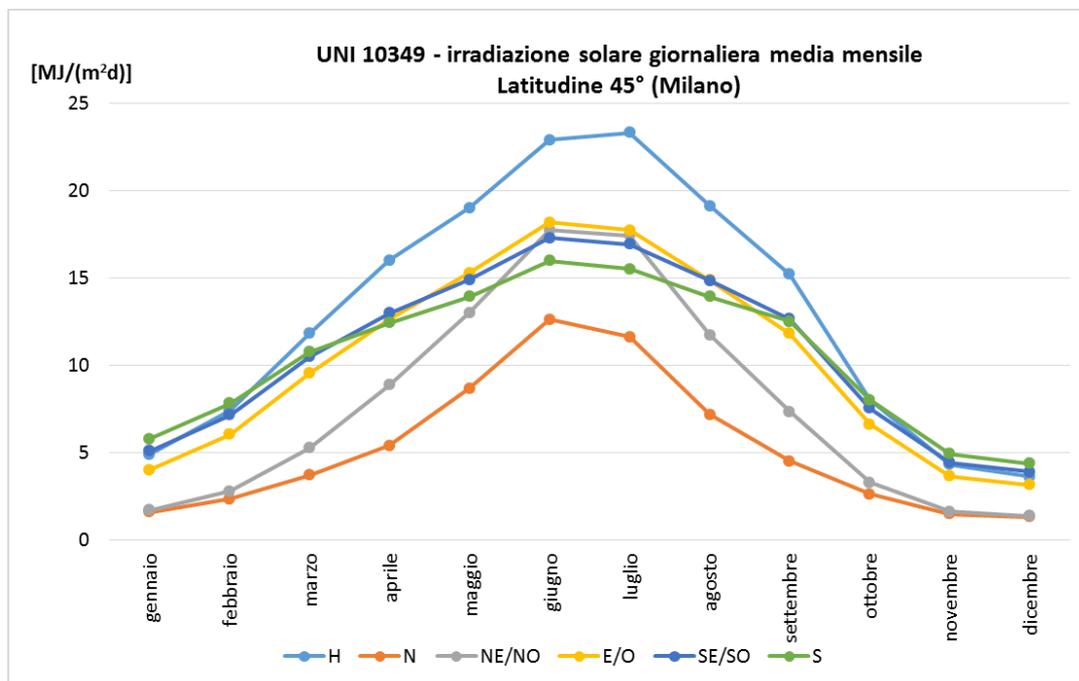
Noto il rapporto tra radiazione solare diretta sulla superficie sull'orizzontale medio mensile R_b , calcolato in funzione degli angoli di apparire e scomparire del sole sulla superficie inclinata e degli angoli orari di alba e tramonto, è possibile calcolare R, valore medio mensile del rapporto tra l'irradiazione H e l'irradiazione sul piano orizzontale H_h .

Il valore di R si compone di tre contributi dovuti alla radiazione solare diretta, diffusa e riflessa. La diretta è calcolata attraverso il rapporto R_b , la diffusa e la riflessa fanno riferimento alla porzione di cielo vista dalla superficie e il suo complementare. Per il calcolo della radiazione riflessa si considera un coefficiente di riflessione del suolo pari a 0,2.

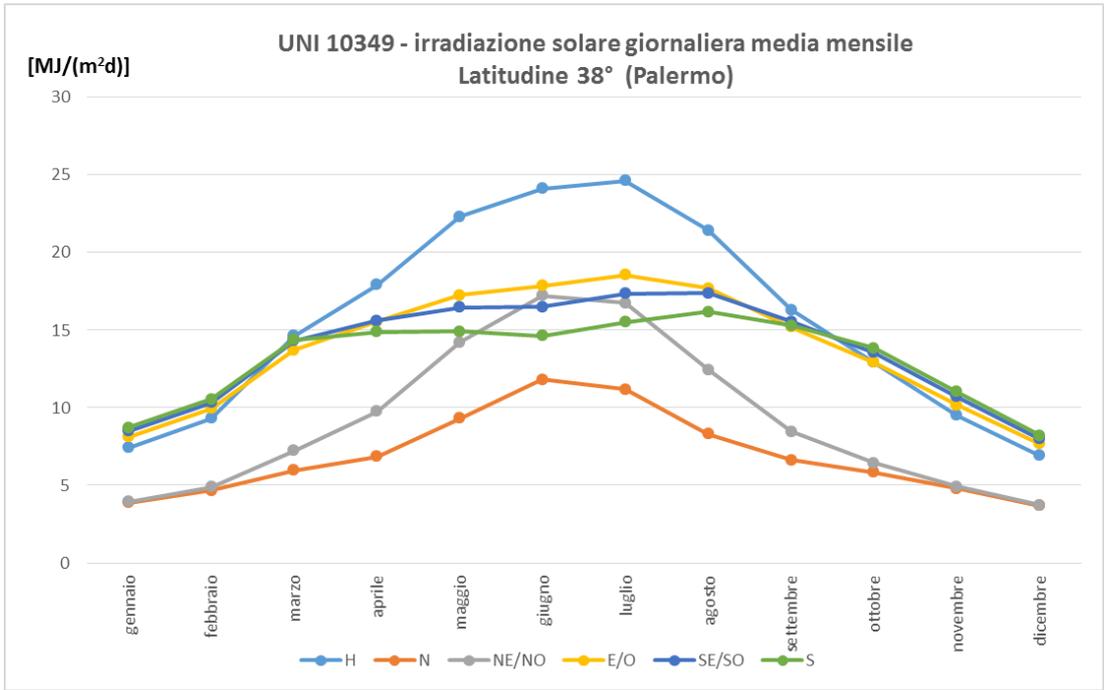
L'irradiazione H su una superficie inclinata comunque orientata risulta dal prodotto di R (valore medio mensile del rapporto tra l'irradiazione H e l'irradiazione sul piano orizzontale) e la radiazione solare sul piano orizzontale. Nella tabella seguente i valori di radiazione diretta, radiazione diretta sulla superficie orizzontale, rapporto tra radiazione sul piano inclinato e sul piano orizzontale, radiazione diffusa e radiazione su una superficie ortogonale al terreno esposta a Sud.

| mese | $R_{b,m}$ - | H_b MJ/m ² | H_{bh} MJ/m ² | R - | H_d MJ/m ² | H MJ/m ² |
|------|----------------|----------------------------|-------------------------------|--------|----------------------------|------------------------|
| gen | 0,96 | 2,60 | 2,70 | 1,18 | 3,18 | 5,8 |
| feb | 0,74 | 3,11 | 4,20 | 1,05 | 4,68 | 7,8 |
| mar | 0,50 | 3,38 | 6,80 | 0,91 | 7,36 | 10,7 |
| apr | 0,29 | 2,72 | 9,50 | 0,78 | 9,70 | 12,4 |
| mag | 0,17 | 1,81 | 10,70 | 0,73 | 12,10 | 13,9 |
| giu | 0,12 | 1,60 | 13,10 | 0,70 | 14,38 | 16,0 |
| lug | 0,14 | 2,05 | 14,50 | 0,67 | 13,46 | 15,5 |
| ago | 0,22 | 2,60 | 11,60 | 0,73 | 11,32 | 13,9 |
| set | 0,39 | 3,65 | 9,40 | 0,82 | 8,84 | 12,5 |
| ott | 0,63 | 2,79 | 4,40 | 1,00 | 5,20 | 8,0 |
| nov | 0,88 | 1,94 | 2,20 | 1,14 | 2,96 | 4,9 |
| dic | 1,02 | 1,74 | 1,70 | 1,21 | 2,62 | 4,4 |

La figura seguente riporta i valori di irradiazione solare giornaliera media mensile su una superficie ortogonale al terreno, per una località di latitudine 45° (Milano) e per ogni esposizione.



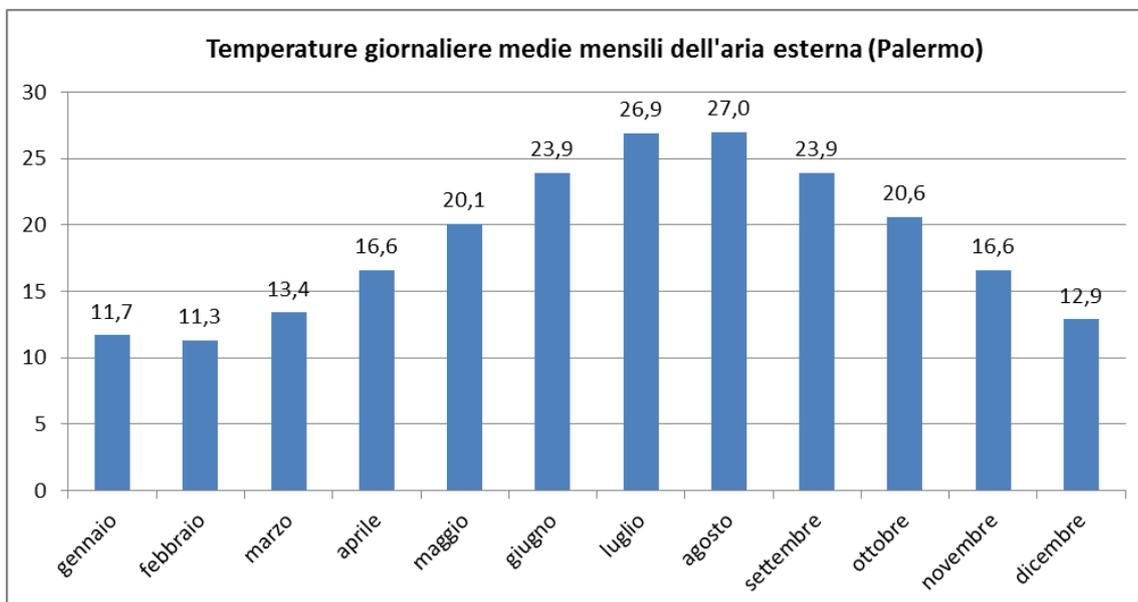
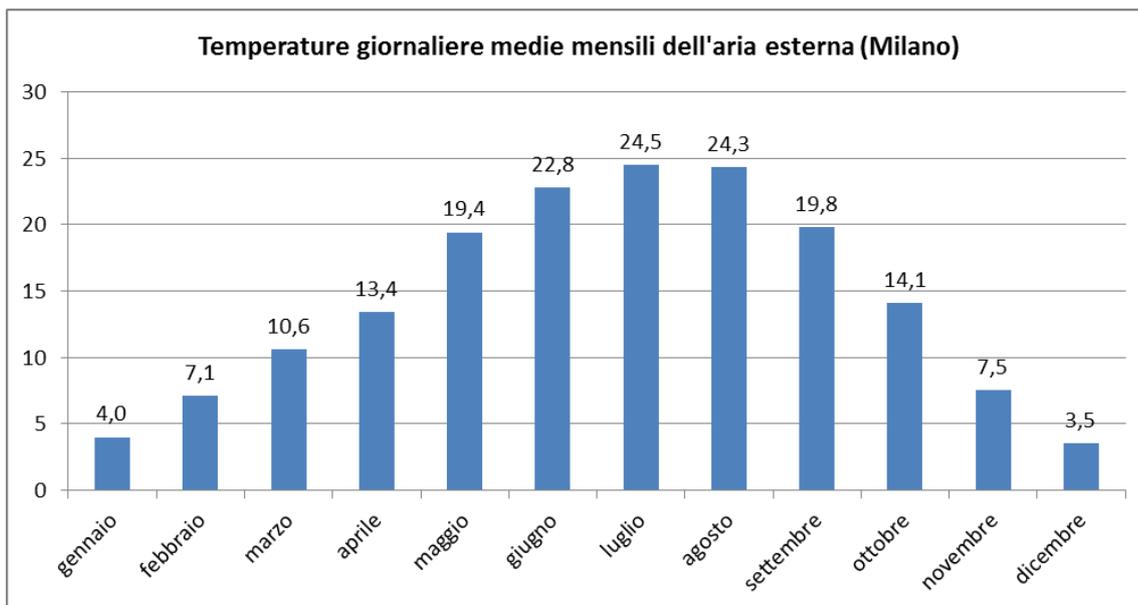
La figura seguente riporta i valori di irradiazione solare giornaliera media mensile su una superficie ortogonale al terreno, per una località di latitudine 45° (Milano) e per ogni esposizione.



Le temperature medie mensili

I dati di temperatura dell'aria esterna sono tratti dalla norma UNI 10349:2013.

Le figure seguenti riportano i valori medi mensili della temperatura media giornaliera dell'aria esterna per le due località considerate all'interno del presente lavoro, Milano e Palermo.



ALLEGATO C. VALUTAZIONE DETTAGLIATA DEI PONTI TERMICI

Per la valutazione del flusso termico attraverso i ponti termici la nuova norma UNI/TS 11300-1:2014 distingue la valutazione sul progetto rispetto alle altre: per la valutazione sul progetto si prende in considerazione la norma UNI EN ISO 10211 oppure atlanti di ponti termici conformi alla UNI EN ISO 14683:2008.

In particolare, per gli edifici esistenti non è possibile considerare un valore forfettario del ponte termico, ma è ammesso l'utilizzo del metodo di calcolo manuale previsto dalla UNI EN ISO 14683:2008 in aggiunta al calcolo numerico secondo la UNI EN ISO 10211 oppure atlanti di ponti termici contenuti nella UNI EN ISO 14683.

Le semplificazioni di calcolo riguardanti i ponti termici, di cui al punto D.13 del precedente Report [inserire titolo documento] non trovano applicazione nell'aggiornamento del presente lavoro: i valori delle trasmittanze termiche lineari sono stati calcolati utilizzando un atlante dei ponti termici, in particolare l'Atlante nazionale dei ponti termici¹⁰ e il corrispondente applicativo Software. La metodologia di calcolo adottata è conforme alle norme UNI EN ISO 14683:2008 "Ponti termici in edilizia - Coefficiente di trasmissione termica lineica - Metodi semplificati e valori di riferimento" e UNI EN ISO 10211:2008 "Ponti termici in edilizia - Flussi termici e temperature superficiali - Calcoli dettagliati".

L'uso dell'atlante dei ponti termici consente di ottenere un'accuratezza della valutazione che si discosta di un valore pari a $\pm 20\%$ del valore reale, contro un 50% di accuratezza che è possibile ottenere attraverso l'uso di valori standard precalcolati. Ai fini del presente lavoro, l'atlante utilizzato è dotato di database, il che consente di abbattere ulteriormente l'incertezza del valore di trasmittanza termica lineare calcolato, fino ad ottenere un valore – paragonabile a quello ottenibile attraverso metodi di calcolo numerici – che si discosta dal valore reale di $\pm 5\%$.

Sono prese in considerazione le seguenti tipologie di ponte termico:

- giunzioni tra elementi di involucro esterni (angoli tra pareti, tra parete e copertura, tra parete e pavimento);
- giunzioni tra pavimenti intermedi e pareti esterne;
- pilastri nelle pareti esterne;
- in prossimità dei serramenti.

La metodologia di calcolo alla base dell'atlante nazionale dei ponti termici, si basa sulla norma UNI EN ISO 10211:2008. La norma prevede la determinazione di tre possibili valori di k_{le} – trasmittanza termica lineare – in funzione della definizione della misura adottata per il calcolo. E' possibile misurare le strutture attraverso il bordo esterno o il bordo interno, nonché un terzo metodo di misurazione chiamato interno totale, che include anche lo spessore delle partizioni interne. Per il calcolo in oggetto è stato adottato il sistema di misurazione a filo esterno, che conduce alla valutazione di trasmittanza termica lineare k_{le} .

L'entità della trasmittanza termica lineare relativa ad un ponte termico, e la stessa esistenza di quest'ultimo dipendono principalmente dalle caratteristiche termofisiche dei materiali da costruzione, nonché dal livello di isolamento termico delle strutture costituenti l'involucro edilizio. La difficoltà di codificare e sintetizzare il lavoro di analisi dei ponti termici consiste nella mutazione delle tipologie di ponti termici al variare delle configurazioni dell'involucro edilizio esaminate in relazione sia all'involucro edilizio esistente, sia alle diverse misure di ottimizzazione. Per ogni edificio esaminato sono state valutate le differenti tipologie di ponte termico, e i relativi valori di trasmittanza termica lineare nella configurazione iniziale dell'involucro edilizio, e nelle cinque configurazioni corrispondenti ai diversi livelli di isolamento termico analizzati come EEM. Per i ponti termici che nascono dall'intersezione di strutture destinate a diverse funzioni dell'involucro, come ad esempio i ponti termici tipo R o GF, sono stati analizzati 25 valori differenti di

¹⁰ Corrado V., Capozzoli A., Gorrino A., Soma P., Atlante nazionale dei ponti termici, edizioni Edilclima, Borgomanero (NO), 2011

trasmissione termica lineare, corrispondenti alle diverse combinazioni di isolamento termico (ad es. una copertura isolata al massimo livello e una parete esterna isolata ad un livello intermedio all'interno del processo di ottimizzazione costituiscono una delle venticinque configurazioni esaminate). In totale sono stati valutati 1071 valori di trasmissione termica lineare, afferenti alle 6 diverse configurazioni dell'involucro edilizio dei 18 casi studio (tipologia residenziale).

La tabella seguente riassume i casi analizzati e le tipologie di ponte termico considerate per ogni caso studio, nella parte sinistra della tabella si trovano le tipologie di ponte termico considerate per la configurazione iniziale, nella parte destra della tabella si trovano le tipologie di ponte termico considerate ai fini dell'ottimizzazione.

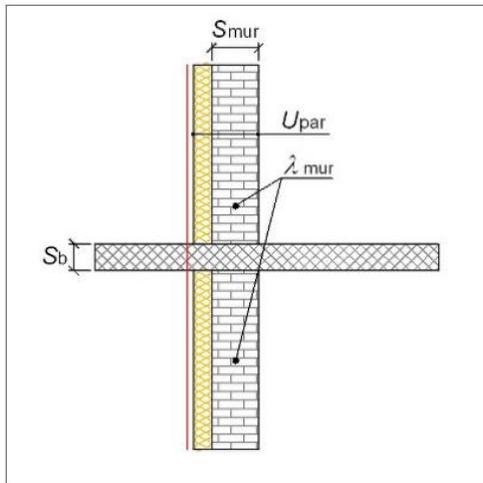
| n° | Edificio | Ponti termici - edificio esistente | | | | | | | Ponti termici – ottimizzazione | | | | | | | |
|----|----------|------------------------------------|-----|----|----|----|------|----|--------------------------------|-----|----|----|----|------|----|----|
| | | IF | W | R | Cx | Cy | GF | P | IF | W | R | Cx | Cy | GF | B | P |
| 1 | RGC_E1_B | | | | | | | | | W12 | R5 | | | | | |
| 2 | RGC_E1_E | IF4 | W10 | | | | | | IF5 | W11 | R6 | | | GF14 | | |
| 3 | RGC_E2_B | IF4 | W10 | | | | | | IF5 | W11 | R6 | | | GF14 | | |
| 4 | RGC_E2_E | IF4 | W10 | | | | | | IF5 | W11 | R6 | | | GF14 | | |
| 5 | RGC_NO_B | | W7 | R5 | C1 | C5 | GF13 | | | W7 | R5 | C1 | C5 | GF13 | | |
| 6 | RGC_NO_E | | W7 | R5 | C1 | C5 | GF13 | | | W7 | R5 | C1 | C5 | GF13 | | |
| 7 | RMF_E1_B | | | | | | | | | W12 | R1 | | | | | |
| 8 | RMF_E1_E | | | | | | | | IF1 | W12 | R1 | | | GF13 | | |
| 9 | RMF_E2_B | IF4 | W10 | | | | | P4 | IF5 | W11 | R2 | | | GF14 | | P2 |
| 10 | RMF_E2_E | IF4 | W10 | | C4 | | | P4 | IF5 | W11 | R2 | C1 | | GF14 | | P2 |
| 11 | RMF_NO_B | | W7 | R5 | | | GF13 | | | W7 | R5 | | | GF13 | | |
| 12 | RMF_NO_E | | W7 | R5 | C1 | | GF13 | | | W7 | R5 | C1 | | GF13 | | |
| 13 | RPC_E1_B | | | | | | | | | W12 | R5 | | | | | |
| 14 | RPC_E1_E | IF4 | W10 | | | | | | IF5 | W11 | R6 | | | | | |
| 15 | RPC_E2_B | IF4 | W10 | | | | | | IF5 | W11 | R6 | C2 | C6 | GF14 | B2 | |
| 16 | RPC_E2_E | IF4 | W10 | | | | | | IF1 | W12 | R5 | C1 | C5 | GF13 | B1 | |
| 17 | RPC_NO_B | | W7 | R5 | C1 | C5 | GF13 | | | W7 | R5 | C1 | C5 | GF13 | | |
| 18 | RPC_NO_E | | W7 | R5 | C1 | C5 | GF13 | | | W7 | R5 | C1 | C5 | GF13 | | |

Ai fini della valutazione della tipologia di ponte termico per edifici che presentano una trasmissione delle pareti perimetrali superiore a 0,7 W/m²K e una conduttività termica della muratura superiore a 0,5 W/mK sono stati considerati come ponti termici per strutture dotate di isolamento distribuito per affinità teorica e semplicità di calcolo.

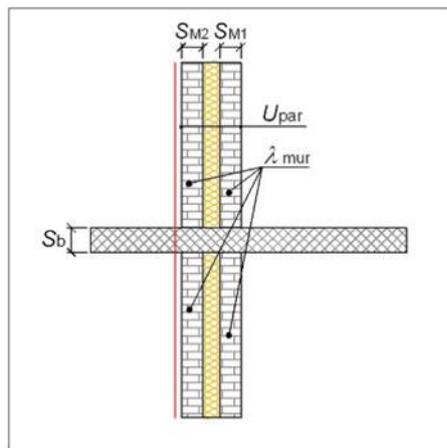
Le schede seguenti riportano i valori della trasmissione termica lineare per tutte le tipologie di ponte termico considerate ai fini del presente lavoro. Una prima tabella indica l'edificio interessato dal ponte termico in esame, una seconda tabella ne riporta i valori di trasmissione termica lineare.

Ponte termico tipo B1-B2

| n° | Edifici con B1 (pre-ottimizzazione) | Edifici con B2 (post-ottimizzazione) |
|----|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| 8 | | |
| 9 | | |
| 10 | | |
| 11 | | |
| 12 | | |
| 13 | | |
| 14 | | |
| 15 | | RPC_E2_B |
| 16 | RPC_E2_E | |
| 17 | | |
| 18 | | |
| 19 | | |
| 20 | | |
| 21 | | |
| 22 | | |
| 23 | | |
| 24 | | |



B1 - Giunto parete con isolamento esterno - balcone



B2 - Giunto parete con isolamento in intercapedine - balcone

Ponte termico tipo B1

Ψ_e – Edificio RPC_E2_E

| U_p | λ_{mur} | Ψ_e |
|-------------|-----------------|--------------|
| | | 0,430 |
| 0,45 | | 0,788 |
| 0,34 | | 0,781 |
| 0,29 | | 0,772 |
| 0,25 | | 0,750 |
| 0,20 | | 0,721 |

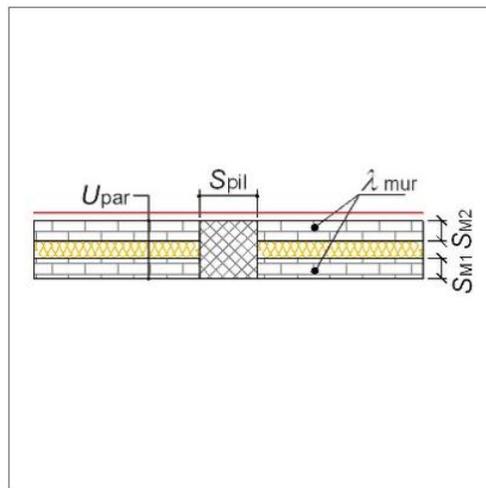
Ponte termico tipo B2

Ψ_e - edificio RPC_E2_B

| U_p | λ_{mur} | Ψ_e |
|-------------|-----------------|--------------|
| | | 0,376 |
| 0,65 | | 0,978 |
| 0,48 | | 1,006 |
| 0,42 | | 1,009 |
| 0,36 | | 1,002 |
| 0,30 | | 0,990 |

Ponte termico tipo P2

| n° | Edifici con P2 (pre-ottimizzazione) | Edifici con P2 (post-ottimizzazione) |
|----|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| 8 | | |
| 9 | | RMF_E2_B |
| 10 | | RMF_E2_E |
| 11 | | |
| 12 | | |
| 13 | | |
| 14 | | |
| 15 | | |
| 16 | | |
| 17 | | |
| 18 | | |
| 19 | | UFF_E1_B |
| 20 | | UFF_E1_E |
| 21 | | UFF_E2_B |
| 22 | | UFF_E2_E |
| 23 | | |
| 24 | | |



P2 - Giunto parete con isolamento in intercapedine - pilastro non isolato

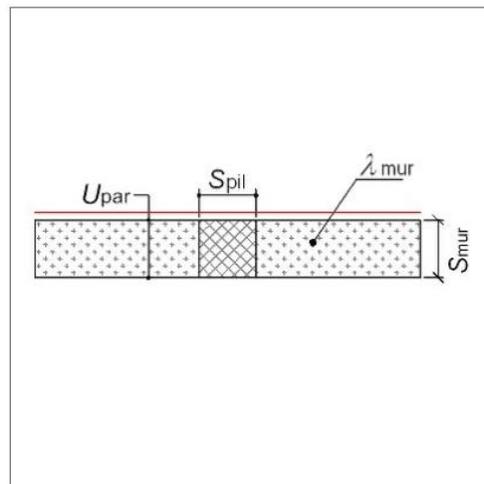
Ψ_e – Edifici RMF_E2_B, UFF_E1_B, UFF_E2_B, RMF_E2_E, UFF_E1_E, UFF_E2_E

| $U_p \backslash \lambda_{mur}$ | RMF_E2_B | UFF_E1_B | UFF_E2_B |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| 0,65 | 0,379 | 0,950 | 0,430 |
| 0,65 | 0,882 | 1,100 | 1,063 |
| 0,48 | 0,898 | 1,118 | 1,085 |
| 0,42 | 0,898 | 1,112 | 1,085 |
| 0,36 | 0,889 | 1,098 | 1,073 |
| 0,30 | 0,877 | 1,080 | 1,055 |
| 0,50 | - | - | 1,085 |

| $U_p \backslash \lambda_{mur}$ | RMF_E2_E | UFF_E1_E | UFF_E2_E |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| 0,45 | 0,554 | 0,950 | 0,500 |
| 0,45 | 1,050 | 1,115 | 1,098 |
| 0,34 | 1,031 | 1,092 | 1,079 |
| 0,29 | 1,012 | 1,071 | 1,059 |
| 0,25 | 0,983 | 1,035 | 1,029 |
| 0,20 | 0,947 | 0,990 | 0,992 |
| 0,50 | - | - | 1,158 |

Ponte termico tipo P4

| n° | Edifici con P4 (pre-ottimizzazione) | Edifici con P4 (post-ottimizzazione) |
|----|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| 8 | | |
| 9 | RMF_E2_B | |
| 10 | RMF_E2_E | |
| 11 | | |
| 12 | | |
| 13 | | |
| 14 | | |
| 15 | | |
| 16 | | |
| 17 | | |
| 18 | | |
| 19 | | |
| 20 | | |
| 21 | | |
| 22 | | |
| 23 | | |
| 24 | | |



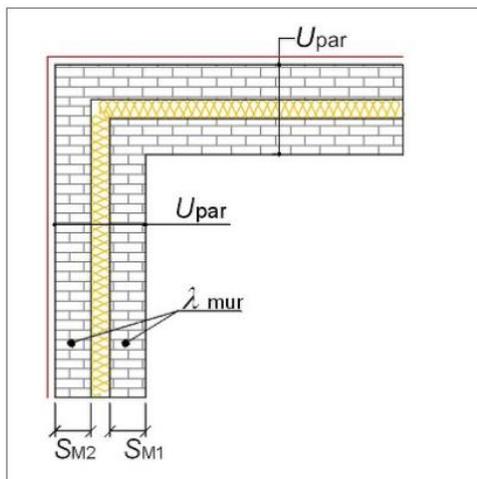
P4 - Giunto parete con isolamento ripartito - pilastro non isolato

Ψe – Edifici RMF_E2_B , RMF_E2_E

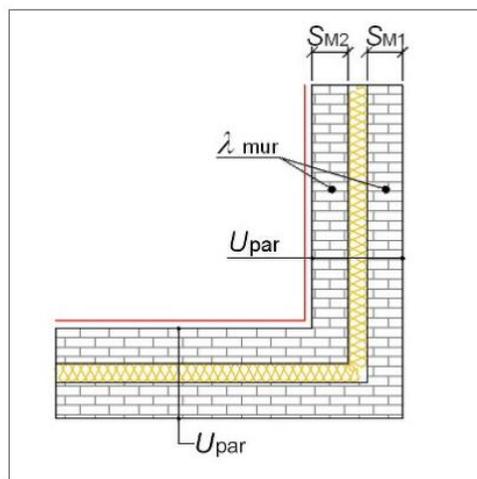
| RMF_E2_B | RMF_E2_E |
|----------|----------|
| 0,710 | 0,590 |

Ponte termico tipo C2-C6

| n° | Edifici con C2 (post-ottimizzazione) | Edifici con C6 (post-ottimizzazione) |
|----|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| 8 | | |
| 9 | | |
| 10 | | |
| 11 | | |
| 12 | | |
| 13 | | |
| 14 | | |
| 15 | RPC_E2_B | RPC_E2_B |
| 16 | | |
| 17 | | |
| 18 | | |
| 19 | UFF_E1_B | |
| 20 | UFF_E1_E | |
| 21 | UFF_E2_B | |
| 22 | UFF_E2_E | |
| 23 | | |
| 24 | | |



C2 - Giunto tra due pareti con isolamento in intercapedine (sporgente)



C6 - Giunto tra due pareti con isolamento in intercapedine (rientrante)

Ponte termico tipo C6

Ψ_e - Edificio RPC_E2_B

| U_p | λ_{mur} | Ψ_e |
|-------------|-----------------|--------------|
| | | 0,376 |
| 0,65 | | 0,108 |
| 0,48 | | 0,088 |
| 0,42 | | 0,082 |
| 0,36 | | 0,074 |
| 0,30 | | 0,065 |
| 0,98 | | 0,115 |

Ponte termico tipo C2

Ψ_e – Edifici RPC_E2_B, UFF_E1_B, UFF_E2_B

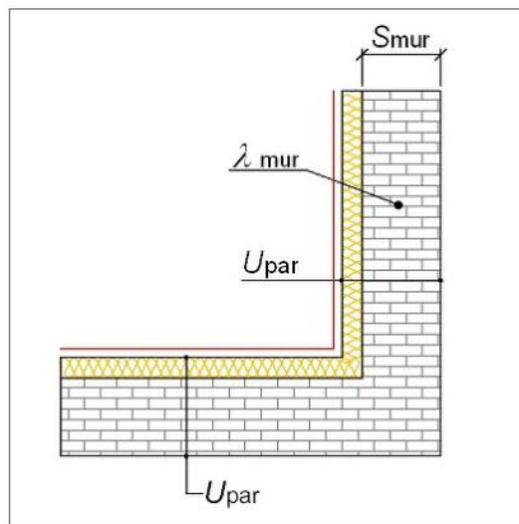
| Edificio: | RPC_E2_B | UFF_E1_B | UFF_E2_B |
|-------------------------|--------------|--------------|---------------|
| U_p / λ_{mur} | 0,376 | 0,950 | 0,810 |
| 0,65 | 0,108 | -0,205 | 0,132 |
| 0,48 | 0,088 | -0,164 | 0,104 |
| 0,42 | 0,082 | -0,146 | 0,094 |
| 0,36 | 0,074 | -0,132 | 0,085 |
| 0,30 | 0,065 | -0,120 | 0,078 |
| 0,50 | - | - | -0,170 |
| 0,98 | 0,115 | - | - |

Ψ_e – Edifici UFF_E1_E, UFF_E2_E

| | UFF_E1_E | UFF_E2_E |
|-------------------------|--------------|---------------|
| U_p / λ_{mur} | 0,950 | 0,810 |
| 0,45 | -0,155 | -0,155 |
| 0,34 | -0,128 | -0,128 |
| 0,29 | -0,118 | -0,118 |
| 0,25 | -0,110 | -0,110 |
| 0,20 | -0,100 | -0,100 |
| 0,50 | - | -0,170 |

Ponte termico tipo C5

| n° | Edifici con C5 (pre-ottimizzazione) | Edifici con C5 (post-ottimizzazione) |
|----|--|---|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | RGC_NO_B | RGC_NO_B |
| 6 | RGC_NO_E | RGC_NO_E |
| 7 | | |
| 8 | | |
| 9 | | |
| 10 | | |
| 11 | | |
| 12 | | |
| 13 | | |
| 14 | | |
| 15 | | |
| 16 | | RPC_E2_E |
| 17 | RPC_NO_B | RPC_NO_B |
| 18 | RPC_NO_E | RPC_NO_E |
| 19 | | |
| 20 | | |
| 21 | | |
| 22 | | |
| 23 | | |
| 24 | | |



C5 - Giunto tra due pareti con isolamento esterno (rientrante)

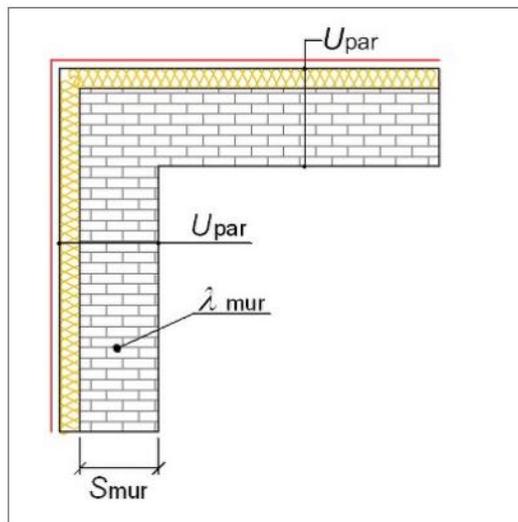
Ψe – Edifici RGC_NO_E, RPC_E2_E, RPC_NO_E, RGC_NO_B, RPC_NO_B

| | RGC_NO_E | RPC_E2_E | RPC_NO_E |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| $U_p \backslash \lambda_{mur}$ | 0,410 | 0,376 | 0,680 |
| 0,45 | 0,040 | 0,034 | 0,035 |
| 0,34 | 0,031 | 0,030 | 0,030 |
| 0,29 | 0,030 | 0,030 | 0,030 |
| 0,25 | 0,030 | 0,028 | 0,028 |
| 0,20 | 0,030 | 0,026 | 0,026 |
| 0,34 | 0,031 | - | 0,030 |

| | RGC_NO_B, | RPC_NO_B |
|--------------------------------|--------------|--------------|
| $U_p \backslash \lambda_{mur}$ | 0,410 | 0,680 |
| 0,65 | 0,074 | 0,053 |
| 0,48 | 0,044 | 0,038 |
| 0,42 | 0,036 | 0,032 |
| 0,36 | 0,032 | 0,030 |
| 0,30 | 0,030 | 0,030 |
| 0,48 | 0,044 | 0,038 |

Ponte termico tipo C1

| n° | Edifici con C1 (pre-ottimizzazione) | Edifici con C1 (post-ottimizzazione) |
|----|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | RGC_NO_B | RGC_NO_B |
| 6 | RGC_NO_E | RGC_NO_E |
| 7 | | |
| 8 | | |
| 9 | | |
| 10 | | RMF_E2_E |
| 11 | RMF_NO_B | RMF_NO_B |
| 12 | RMF_NO_E | RMF_NO_E |
| 13 | | |
| 14 | | |
| 15 | | |
| 16 | | RPC_E2_E |
| 17 | RPC_NO_B | RPC_NO_B |
| 18 | RPC_NO_E | RPC_NO_E |
| 19 | | |
| 20 | | |
| 21 | | |
| 22 | | |
| 23 | UFF_NO_B | UFF_NO_B |
| 24 | UFF_NO_E | UFF_NO_E |



C1 - Giunto tra due pareti con isolamento esterno (sporgente)

Ψ_e – Edifici RGC_NO_E, RMF_E2_E, RMF_NO_E, RMF_NO_B, RPC_E2_E, RPC_NO_E, UFF_NO_E

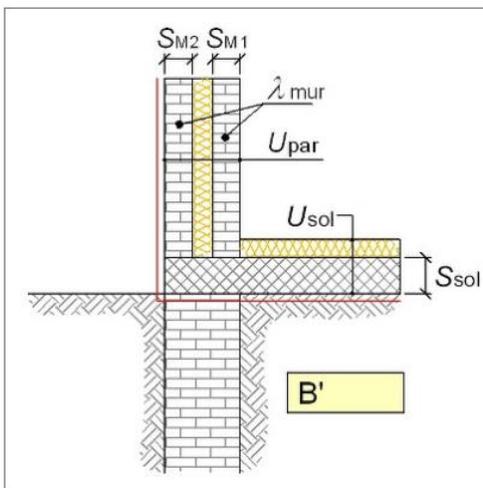
| | RGC_NO_E | RMF_E2_E | RMF_NO_E-B | RPC_E2_E | RPC_NO_E | UFF_NO_E |
|--------------------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|---------------|
| $U_p \backslash \lambda_{mur}$ | 0,410 | 0,554 | 0,680 | 0,376 | 0,680 | 0,500 |
| 0,45 | -0,171 | -0,183 | -0,140 | -0,128 | -0,149 | -0,160 |
| 0,34 | -0,131 | -0,137 | -0,108 | -0,101 | -0,113 | -0,122 |
| 0,29 | -0,114 | -0,118 | -0,095 | -0,089 | -0,098 | -0,107 |
| 0,25 | -0,100 | -0,105 | -0,086 | -0,083 | -0,088 | -0,095 |
| 0,20 | -0,084 | -0,088 | -0,074 | -0,076 | -0,076 | -0,080 |
| 0,34 | -0,131 | - | - | - | -0,113 | -0,122 |
| 0,33 | - | - | -0,105 | - | - | - |

Ψ_e – Edifici RGC_NO_B, RMF_NO_B, RPC_NO_B, UFF_NO_B

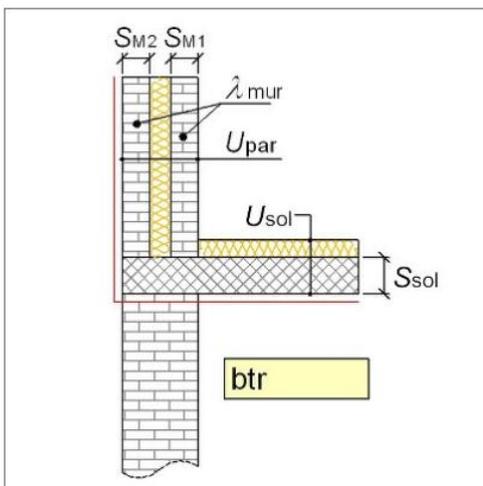
| | RGC_NO_B | RMF_NO_B | RPC_NO_B | UFF_NO_B |
|-------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| U_p / λ_{mur} | 0,410 | 0,680 | 0,680 | 0,430 |
| 0,65 | -0,261 | -0,225 | -0,225 | -0,258 |
| 0,48 | -0,183 | -0,159 | -0,159 | -0,180 |
| 0,42 | -0,159 | -0,138 | -0,138 | -0,156 |
| 0,36 | -0,137 | -0,119 | -0,119 | -0,135 |
| 0,30 | -0,117 | -0,101 | -0,101 | -0,116 |
| 0,48 | -0,183 | -0,159 | -0,159 | -0,180 |

Ponti termici tipo GF6 – GF14

| n° | Edifici con GF6 (post-ottimizzazione) | Edifici con GF14 (post-ottimizzazione) |
|----|---------------------------------------|--|
| 1 | | |
| 2 | | RGC_E1_E |
| 3 | | RGC_E2_B |
| 4 | | RGC_E2_E |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| 8 | | |
| 9 | | RMF_E2_B |
| 10 | | RMF_E2_E |
| 11 | | |
| 12 | | |
| 13 | | |
| 14 | | |
| 15 | | RPC_E2_B |
| 16 | | |
| 17 | | |
| 18 | | |
| 19 | | |
| 20 | | |
| 21 | UFF_E2_B | UFF_E2_B |
| 22 | UFF_E2_E | UFF_E2_E |
| 23 | | |
| 24 | | |



GF6 - Giunto parete con isolamento in intercapedine - solaio contro terra con isolamento all'estradosso



GF14 - Giunto parete con isolamento in intercapedine - solaio rialzato con isolamento all'intradosso su ambiente non riscaldato

Ponte termico tipo GF14

Ψe – Edifici RMF_E2_B, RPC_E2_B, RGC_E2_B

| U _p \ U _r | 0,50 | 0,38 | 0,35 | 0,33 | 0,30 |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0,65 | -0,294 | -0,264 | -0,257 | -0,253 | -0,246 |
| 0,48 | -0,253 | -0,228 | -0,221 | -0,217 | -0,211 |
| 0,42 | -0,240 | -0,215 | -0,209 | -0,205 | -0,199 |
| 0,36 | -0,228 | -0,203 | -0,197 | -0,193 | -0,187 |
| 0,30 | -0,215 | -0,191 | -0,185 | -0,180 | -0,174 |

Ψ_e – Edifici RGC_E1_E, RGC_E2_E

| $U_p \backslash U_f$ | 0,50 | 0,38 | 0,35 | 0,33 | 0,30 |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0,45 | -0,230 | -0,206 | -0,198 | -0,188 | -0,180 |
| 0,34 | -0,208 | -0,184 | -0,176 | -0,165 | -0,155 |
| 0,29 | -0,198 | -0,174 | -0,165 | -0,153 | -0,143 |
| 0,25 | -0,190 | -0,165 | -0,155 | -0,143 | -0,134 |
| 0,20 | -0,180 | -0,153 | -0,143 | -0,132 | -0,122 |

Ψ_e – Edificio RMF_E2_E

| $U_p \backslash U_f$ | 0,45 | 0,33 | 0,29 | 0,24 | 0,20 |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0,45 | -0,196 | -0,172 | -0,164 | -0,155 | -0,147 |
| 0,34 | -0,174 | -0,151 | -0,144 | -0,134 | -0,126 |
| 0,29 | -0,164 | -0,142 | -0,134 | -0,123 | -0,115 |
| 0,25 | -0,157 | -0,134 | -0,126 | -0,115 | -0,107 |
| 0,20 | -0,147 | -0,123 | -0,115 | -0,105 | -0,097 |

Ψ_e – Edificio UFF_E2_E

| $U_p \backslash U_f$ | 0,45 | 0,33 | 0,29 | 0,24 | 0,20 |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0,45 | 0,055 | 0,068 | 0,071 | 0,074 | 0,076 |
| 0,34 | 0,068 | 0,075 | 0,078 | 0,079 | 0,078 |
| 0,29 | 0,071 | 0,078 | 0,079 | 0,078 | 0,077 |
| 0,25 | 0,073 | 0,079 | 0,078 | 0,077 | 0,077 |
| 0,20 | 0,076 | 0,078 | 0,077 | 0,077 | 0,076 |

Ψ_e – Edificio UFF_E2_B

| $U_p \backslash U_f$ | 0,50 | 0,38 | 0,35 | 0,33 | 0,30 |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0,65 | -0,003 | 0,015 | 0,019 | 0,022 | 0,027 |
| 0,48 | 0,022 | 0,042 | 0,046 | 0,050 | 0,052 |
| 0,42 | 0,032 | 0,051 | 0,053 | 0,054 | 0,056 |
| 0,36 | 0,042 | 0,055 | 0,057 | 0,058 | 0,060 |
| 0,30 | 0,051 | 0,059 | 0,060 | 0,062 | 0,064 |

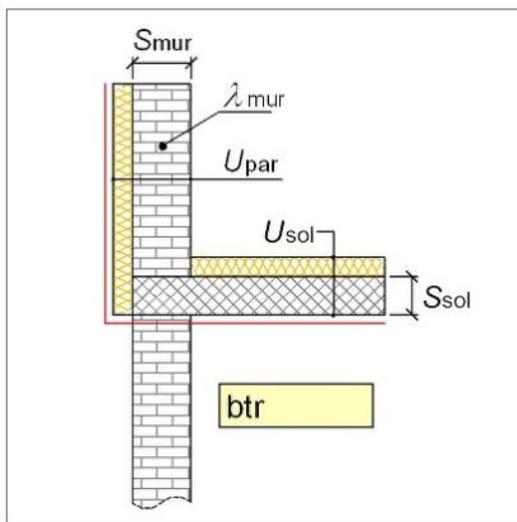
Ponte termico tipo GF6

I valori della trasmittanza termica lineare per il ponte termico G6 sono riportati di seguito.

| Edificio | Ψ_e |
|----------|----------|
| UFF_E2_B | 0,450 |
| UFF_E2_E | 0,450 |

Ponte termico tipo GF13

| | Edifici con GF13 (pre-ottimizzazione) | Edifici con GF13 (post-ottimizzazione) |
|----|--|---|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | RGC_NO_B |
| 6 | | RGC_NO_E |
| 7 | | |
| 8 | | RMF_E1_E |
| 9 | | |
| 10 | | |
| 11 | | RMF_NO_B |
| 12 | | RMF_NO_E |
| 13 | | |
| 14 | | |
| 15 | | |
| 16 | | RPC_E2_E |
| 17 | | RPC_NO_B |
| 18 | | RPC_NO_E |
| 19 | | |
| 20 | | |
| 21 | | |
| 22 | | |
| 23 | | UFF_NO_B |
| 24 | | UFF_NO_E |
| 25 | | RMF_N1_E |



GF13 - Giunto parete con isolamento esterno - solaio rialzato con isolamento all'estradosso su ambiente non riscaldato

Ψe – Edificio RGC_NO_B

| $U_p \backslash U_f$ | 0,65 | 0,49 | 0,43 | 0,36 | 0,30 | 0,38 |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0,65 | -0,300 | -0,243 | -0,222 | -0,197 | -0,177 | -0,137 |
| 0,48 | -0,240 | -0,184 | -0,164 | -0,141 | -0,121 | -0,100 |
| 0,42 | -0,218 | -0,164 | -0,144 | -0,121 | -0,100 | -0,083 |
| 0,36 | -0,197 | -0,144 | -0,124 | -0,100 | -0,080 | -0,070 |
| 0,30 | -0,177 | -0,124 | -0,104 | -0,080 | -0,060 | -0,055 |
| 0,48 | -0,170 | -0,131 | -0,117 | -0,100 | -0,087 | -0,147 |

Ψ_e – Edificio RGC_NO_E

| $U_p \backslash U_f$ | 0,45 | 0,33 | 0,29 | 0,24 | 0,20 | 0,33 |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0,45 | -0,160 | -0,121 | -0,107 | -0,090 | -0,077 | -0,121 |
| 0,34 | -0,124 | -0,083 | -0,070 | -0,055 | -0,045 | -0,083 |
| 0,29 | -0,107 | -0,067 | -0,055 | -0,043 | -0,034 | -0,067 |
| 0,25 | -0,094 | -0,055 | -0,045 | -0,034 | -0,024 | -0,055 |
| 0,20 | -0,077 | -0,043 | -0,034 | -0,022 | -0,012 | -0,043 |
| 0,34 | -0,124 | -0,083 | -0,070 | -0,055 | -0,045 | -0,083 |

Ψ_e – Edifici RPC_NO_B, RMF_NO_B

| $U_p \backslash U_f$ | 0,65 | 0,49 | 0,43 | 0,36 | 0,30 | 0,49 |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0,65 | -0,199 | -0,141 | -0,118 | -0,092 | -0,072 | - |
| 0,48 | -0,137 | -0,078 | -0,059 | -0,036 | -0,017 | - |
| 0,42 | -0,114 | -0,059 | -0,040 | -0,017 | 0,002 | - |
| 0,36 | -0,092 | -0,040 | -0,020 | 0,002 | 0,020 | - |
| 0,30 | -0,072 | -0,020 | -0,020 | 0,020 | 0,039 | - |
| 0,48 | - | - | - | - | - | -0,078 |

Ψ_e – Edifici RPC_NO_E, RMF_NO_E

| $U_p \backslash U_f$ | 0,45 | 0,33 | 0,29 | 0,24 | 0,20 | 0,33 |
|----------------------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|
| 0,45 | -0,056 | -0,017 | -0,005 | 0,011 | 0,023 | -0,017 |
| 0,34 | -0,020 | 0,017 | 0,030 | 0,044 | 0,054 | 0,017 |
| 0,29 | -0,050 | 0,033 | 0,044 | 0,057 | 0,067 | 0,033 |
| 0,25 | -0,008 | 0,044 | 0,054 | 0,067 | 0,077 | 0,044 |
| 0,20 | 0,023 | 0,057 | 0,067 | 0,079 | 0,090 | 0,057 |
| 0,33 | -0,017 | 0,020 | 0,033 | 0,047 | 0,057 | 0,020 |

Ψ_e – Edificio RPC_E2_E

| $U_p \backslash U_f$ | 0,45 | 0,33 | 0,29 | 0,24 | 0,20 |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0,45 | -0,104 | -0,075 | -0,066 | -0,054 | -0,044 |
| 0,34 | -0,078 | -0,049 | -0,039 | -0,029 | -0,022 |
| 0,29 | -0,066 | -0,037 | -0,029 | -0,020 | -0,013 |
| 0,25 | -0,056 | -0,029 | -0,022 | -0,013 | -0,006 |
| 0,20 | -0,044 | -0,020 | -0,013 | -0,004 | 0,003 |

Ψ_e – Edificio RMF_E1_E

| $U_p \backslash U_f$ | 0,45 | 0,33 | 0,29 | 0,24 | 0,20 |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0,45 | -0,085 | -0,048 | -0,036 | -0,021 | -0,009 |
| 0,34 | -0,051 | -0,015 | -0,003 | 0,010 | 0,020 |
| 0,29 | -0,036 | 0,000 | 0,010 | 0,023 | 0,033 |
| 0,25 | -0,024 | 0,010 | 0,020 | 0,033 | 0,043 |

| | | | | | |
|-------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 0,20 | -0,009 | 0,023 | 0,033 | 0,045 | 0,055 |
|-------------|--------|-------|-------|-------|-------|

Ψe – Edificio RMF_N1_E

| U_p \ U_f | 0,45 | 0,33 | 0,29 | 0,24 | 0,20 |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0,45 | 0,130 | 0,156 | 0,165 | 0,177 | 0,186 |
| 0,34 | 0,154 | 0,182 | 0,191 | 0,199 | 0,201 |
| 0,29 | 0,165 | 0,194 | 0,199 | 0,201 | 0,203 |
| 0,25 | 0,175 | 0,199 | 0,201 | 0,203 | 0,204 |
| 0,20 | 0,186 | 0,201 | 0,203 | 0,205 | 0,207 |

Ψe – Edificio UFF_NO_B

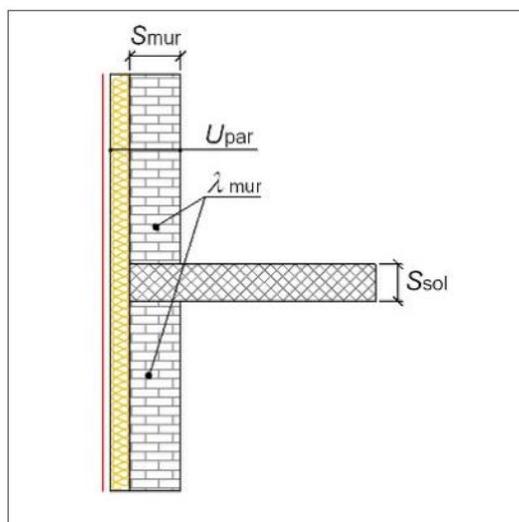
| U_p \ U_f | 0,65 | 0,49 | 0,43 | 0,36 | 0,30 | 0,49 |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0,65 | -0,198 | -0,150 | -0,132 | -0,112 | -0,095 | - |
| 0,48 | -0,147 | -0,101 | -0,083 | -0,063 | -0,046 | - |
| 0,42 | -0,130 | -0,083 | -0,066 | -0,046 | -0,030 | - |
| 0,36 | -0,112 | -0,066 | -0,048 | -0,030 | -0,014 | - |
| 0,30 | -0,095 | -0,048 | -0,032 | -0,014 | 0,002 | - |
| 0,48 | - | - | - | - | - | -0,101 |

Ψe – Edificio UFF_NO_E

| U_p \ U_f | 0,45 | 0,33 | 0,29 | 0,24 | 0,20 | 0,33 |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0,45 | - | - | - | - | - | - |
| 0,34 | - | 0,019 | 0,029 | 0,040 | 0,049 | - |
| 0,29 | - | 0,031 | 0,040 | 0,051 | 0,059 | - |
| 0,25 | - | 0,040 | 0,049 | 0,059 | 0,068 | - |
| 0,20 | - | 0,051 | 0,059 | 0,070 | 0,078 | - |
| 0,34 | - | - | - | - | - | 0,019 |

Ponte termico tipo IF1

| | Edifici con IF1 (post-ottimizzazione) | Edifici con IF1 (post-ottimizzazione) |
|----|--|--|
| n° | | |
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| 8 | | RMF_E1_E |
| 9 | | |
| 10 | | |
| 11 | | |
| 12 | | |
| 13 | | |
| 14 | | |
| 15 | | |
| 16 | | RPC_E2_E |
| 17 | | |
| 18 | | |
| 19 | | |
| 20 | | |
| 21 | | |
| 22 | | |
| 23 | | |
| 24 | | |
| 25 | | |
| 26 | RPC_N1_E | RPC_N1_E |
| 27 | RGC_N1_E | RGC_N1_E |



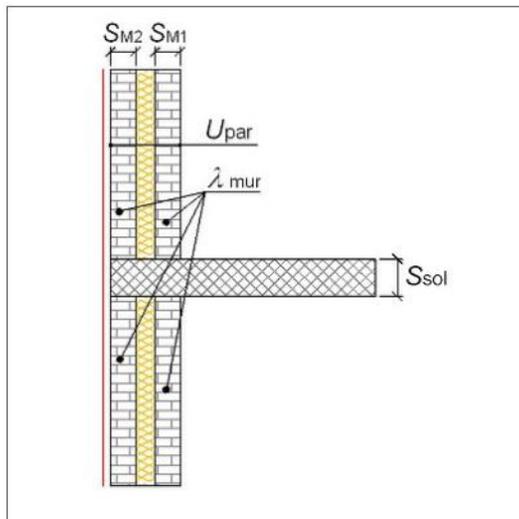
IF1 - Giunto parete con isolamento esterno continuo - solaio interpiano

Ψe – Edifici RMF_E1_E, RPC_E2_E, RGC_N1_E, RPC_N1_E

| | RMF_E1_E | RPC_E2_E, RGC_N1_E | RPC_N1_E |
|--------------------------------|--------------|-----------------------|--------------|
| $U_p \backslash \lambda_{mur}$ | 0,720 | 0,430 | 0,680 |
| 0,45 | 0,022 | 0,044 | 0,031 |
| 0,34 | 0,014 | 0,024 | 0,019 |
| 0,29 | 0,011 | 0,017 | 0,015 |
| 0,25 | 0,008 | 0,015 | 0,011 |
| 0,20 | 0,005 | 0,012 | 0,006 |

Ponte termico tipo IF2

| | Edifici con IF2 pre-ottimizzazione) | Edifici con IF2 (post-ottimizzazione) |
|----|-------------------------------------|---------------------------------------|
| n° | | |
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| 8 | | |
| 9 | | |
| 10 | | |
| 11 | | |
| 12 | | |
| 13 | | |
| 14 | | |
| 15 | | |
| 16 | | |
| 17 | | |
| 18 | | |
| 19 | | |
| 20 | | |
| 21 | UFF_E2_B | |
| 22 | UFF_E2_E | |
| 23 | | |
| 24 | | |
| 25 | | |
| 26 | | |
| 27 | | |



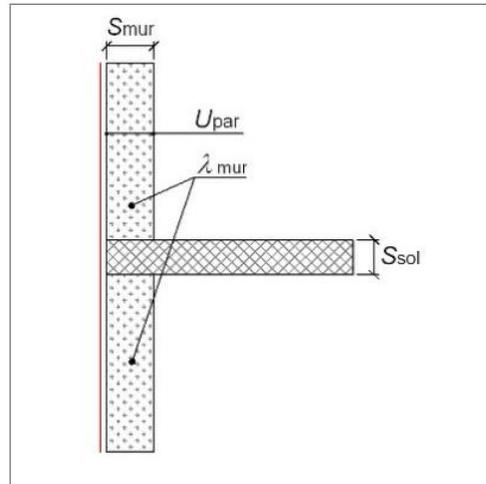
IF2 - Giunto parete con isolamento in intercapedine - solaio interpiano senza correzione

Ψ_e – Edifici UFF_E2_E, UFF_E2_B

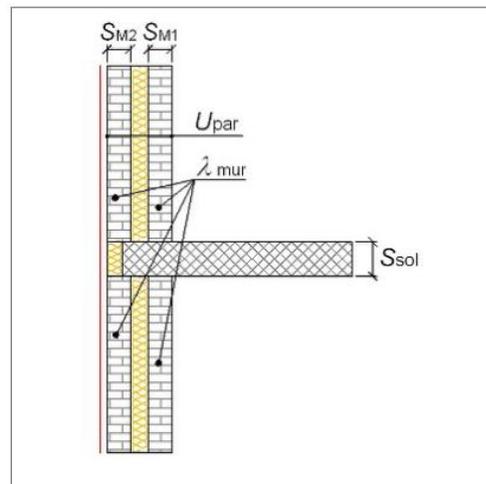
| | UFF_E2_E | UFF_E2_B |
|-------------------------|--------------|--------------|
| U_p / λ_{mur} | 0,810 | 0,810 |
| 0,50 | 0,948 | 0,948 |

Ponte termico tipo IF4-IF5

| n° | Edifici con IF4 (pre-ottimizzazione) | Edifici con IF5 (post-ottimizzazione) |
|----|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | | |
| 2 | RGC_E1_E | RGC_E1_E |
| 3 | RGC_E2_B | RGC_E2_B |
| 4 | RGC_E2_E | RGC_E2_E |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| 8 | | |
| 9 | RMF_E2_B | RMF_E2_B |
| 10 | RMF_E2_E | RMF_E2_E |
| 11 | | |
| 12 | | |
| 13 | | |
| 14 | RPC_E1_E | RPC_E1_E |
| 15 | RPC_E2_B | RPC_E2_B |
| 16 | RPC_E2_E | |
| 17 | | |
| 18 | | |
| 19 | | UFF_E1_B |
| 20 | | UFF_E1_E |
| 21 | | UFF_E2_B |
| 22 | | UFF_E2_E |
| 23 | | |
| 24 | | |
| 25 | | |
| 26 | | |



IF4 - Giunto parete con isolamento ripartito - solaio interpiano



IF5 - Giunto parete con isolamento in intercapedine - solaio interpiano con correzione

Ponte termico tipo IF5

Ψ_e – Edifici RGC_E1_E, RPC_E1_E, RGC_E2_E, RMF_E2_E, UFF_E2_E, UFF_E1_E

| $U_p \backslash \lambda_{mur}$ | RGC_E1_E RPC_E1_E | RGC_E2_E | RMF_E2_E | UFF_E2_E | UFF_E1_E |
|--------------------------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 0,407 | 0,401 | 0,554 | 0,810 |
| 0,45 | 0,405 | 0,402 | 0,480 | 0,575 | 0,609 |
| 0,34 | 0,429 | 0,426 | 0,499 | 0,587 | 0,618 |
| 0,29 | 0,436 | 0,433 | 0,503 | 0,587 | 0,617 |
| 0,25 | 0,436 | 0,433 | 0,499 | 0,578 | 0,605 |
| 0,20 | 0,436 | 0,433 | 0,495 | 0,565 | 0,590 |

Ψ_e – Edifici RGC_E2_B, RMF_E2_B, RPC_E2_B, UFF_E2_B, UFF_E1_B

| | RGC_E2_B | RMF_E2_B | RPC_E2_B | UFF_E2_B | UFF_E1_B |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| $U_p \backslash \lambda_{mur}$ | 0,387 | 0,379 | 0,376 | 0,810 | 0,950 |
| 0,65 | 0,332 | 0,327 | 0,327 | 0,527 | 0,563 |
| 0,48 | 0,386 | 0,381 | 0,381 | 0,571 | 0,605 |
| 0,42 | 0,402 | 0,397 | 0,397 | 0,580 | 0,613 |
| 0,36 | 0,414 | 0,410 | 0,410 | 0,586 | 0,618 |
| 0,30 | 0,425 | 0,421 | 0,421 | 0,590 | 0,620 |

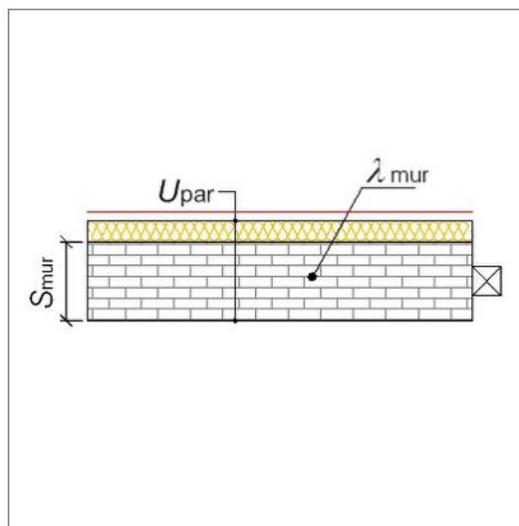
Ponte termico tipo IF4

Ψ_e – Edifici RGC_E1_E, RPC_E1_E, RGC_E2_B, RGC_E2_E, RMF_E2_B, RMF_E2_E, RPC_E2_B, RPC_E2_E

| | RGC_E1_E RPC_E1_E | RGC_E2_B | RGC_E2_E | RMF_E2_B | RMF_E2_E | RPC_E2_B | RPC_E2_E |
|--------------------------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| $S_p \backslash \lambda_{mur}$ | 0,407 | 0,387 | 0,401 | 0,379 | 0,554 | 0,376 | 0,430 |
| 26,0 | 0,611 | - | - | - | - | - | - |
| 30,0 | - | 0,588 | - | - | - | - | - |
| 35,0 | - | - | 0,543 | - | - | - | - |
| 26,0 | - | - | - | 0,629 | - | - | - |
| 35,0 | - | - | - | - | 0,494 | - | - |
| 30,0 | - | - | - | - | - | 0,594 | - |
| 21,5 | - | - | - | - | - | - | 0,634 |

Ponte termico tipo W7

| n° | Edifici con W7 (pre-ottimizzazione) | Edifici con W7 (post-ottimizzazione) |
|----|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | RGC_NO_B |
| 6 | | RGC_NO_E |
| 7 | | |
| 8 | | |
| 9 | | |
| 10 | | |
| 11 | | RMF_NO_B |
| 12 | | RMF_NO_E |
| 13 | | |
| 14 | | |
| 15 | | |
| 16 | | |
| 17 | | RPC_NO_B |
| 18 | | RPC_NO_E |
| 19 | | |
| 20 | | |
| 21 | | |
| 22 | | |
| 23 | | UFF_NO_B |
| 24 | | UFF_NO_E |



W7 - Giunto parete con isolamento esterno - telaio posto in mezzeria

Ψe – Edifici RGC_NO_E, RMF_NO_E, RPC_NO_E, UFF_NO_E

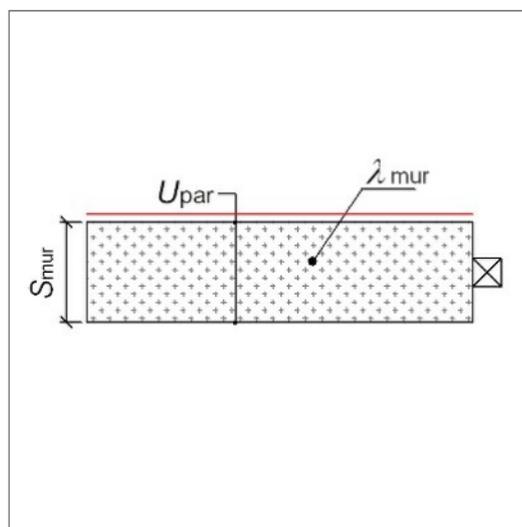
| | RGC_NO_E | RMF_NO_E | RPC_NO_E | UFF_NO_E |
|--------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| $U_p \backslash \lambda$ | 0,410 | 0,680 | 0,680 | 0,500 |
| 0,45 | 0,209 | 0,346 | 0,355 | 0,265 |
| 0,34 | 0,238 | 0,377 | 0,388 | 0,298 |
| 0,29 | 0,252 | 0,392 | 0,403 | 0,313 |
| 0,25 | 0,264 | 0,405 | 0,417 | 0,325 |
| 0,20 | 0,279 | 0,422 | 0,435 | 0,340 |
| 0,48 | 0,201 | 0,338 | 0,346 | - |

Ψ_e – Edifici RGC_NO_B, RMF_NO_B, RPC_NO_B, UFF_NO_B

| | RGC_NO_B | RMF_NO_B | RPC_NO_B | UFF_NO_B |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
| U_p \ λ | 0,410 | 0,680 | 0,680 | 0,430 |
| 0,65 | 0,170 | 0,302 | 0,300 | 0,181 |
| 0,48 | 0,201 | 0,338 | 0,346 | 0,213 |
| 0,42 | 0,217 | 0,355 | 0,364 | 0,230 |
| 0,36 | 0,233 | 0,372 | 0,382 | 0,246 |
| 0,30 | 0,249 | 0,388 | 0,400 | 0,262 |
| 0,48 | 0,201 | 0,338 | 0,346 | 0,213 |

Ponte termico tipo W10

| n° | Edifici con W10 (pre-ottimizzazione) | Edifici con W10 (post-ottimizzazione) |
|----|---|--|
| 1 | | |
| 2 | RGC_E1_E | |
| 3 | RGC_E2_B | |
| 4 | RGC_E2_E | |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| 8 | | |
| 9 | RMF_E2_B | |
| 10 | RMF_E2_E | |
| 11 | | |
| 12 | | |
| 13 | | |
| 14 | RPC_E1_E | |
| 15 | RPC_E2_B | |
| 16 | RPC_E2_E | |
| 17 | | |
| 18 | | |
| 19 | | |
| 20 | | |
| 21 | | |
| 22 | | |
| 23 | | |
| 24 | | |



W10 - Giunto parete con isolamento ripartito - telaio posto in mezzeria

Ψe – Edifici RGC_E1_E, RPC_E1_E, RPC_E2_E, RGC_E2_E, RMF_E2_E

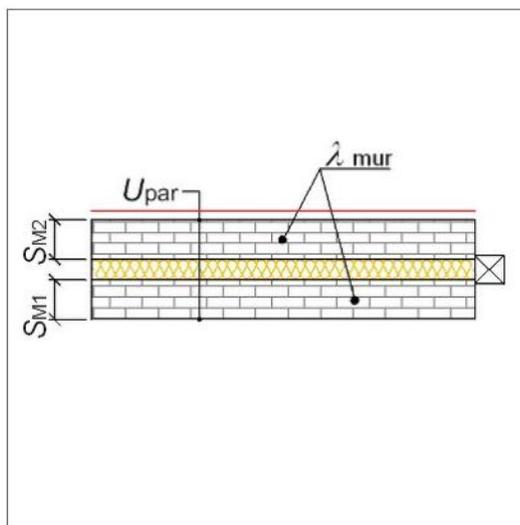
| | | RGC_E1_E RPC_E1_E | RPC_E2_E | RGC_E2_E | RMF_E2_E |
|-------|-------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|
| U_p | λ | 0,407 | 0,430 | 0,401 | 0,554 |
| | 1,15 | 0,088 | - | - | - |
| | 0,80 | - | 0,077 | - | - |
| | 0,76 | - | - | 0,108 | 0,130 |

Ψe – Edifici RGC_E2_B, RPC_E2_B, RMF_E2_B

| | | RGC_E2_B | RPC_E2_B | RMF_E2_B |
|-------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| U_p | λ | 0,387 | 0,376 | 0,379 |
| | 0,98 | 0,097 | 0,095 | - |
| | 1,10 | - | - | 0,084 |

Ponte termico tipo W11

| n° | Edifici con W11 (pre-ottimizzazione) | Edifici con W11 (post-ottimizzazione) |
|----|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | | |
| 2 | | RGC_E1_E |
| 3 | | RGC_E2_B |
| 4 | | RGC_E2_E |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| 8 | | |
| 9 | | RMF_E2_B |
| 10 | | RMF_E2_E |
| 11 | | |
| 12 | | |
| 13 | | |
| 14 | | RPC_E1_E |
| 15 | | RPC_E2_B |
| 16 | | |
| 17 | | |
| 18 | | |
| 19 | | UFF_E1_B |
| 20 | | UFF_E1_E |
| 21 | | UFF_E2_B |
| 22 | | UFF_E2_E |
| 23 | | |
| 24 | | |



W11 - Giunto parete con isolamento in intercapedine continuo - telaio posto in mezzzeria

Ψe – Edifici RGC_E1_E, RGC_E2_E, RMF_E2_E, UFF_E2_E, UFF_E1_E, RPC_E1_E

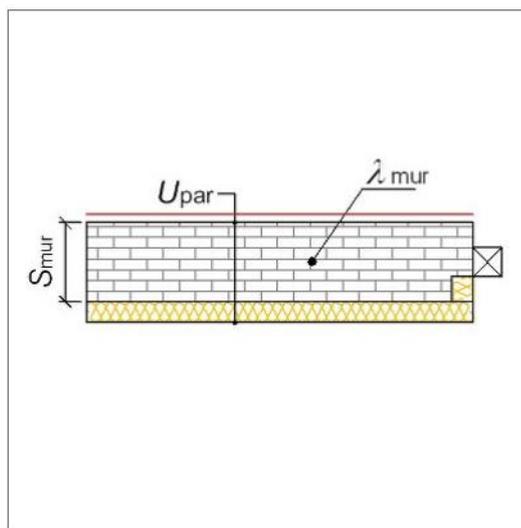
| | RGC_E1_E RPC_E1_E | RGC_E2_E | RMF_E2_E | UFF_E2_E | UFF_E1_E |
|-------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| U_p | 0,407 | 0,401 | 0,554 | 0,810 | 0,950 |
| 0,45 | 0,012 | 0,012 | 0,010 | 0,010 | 0,010 |
| 0,34 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 |
| 0,29 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 |
| 0,25 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 |
| 0,20 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 |
| 0,50 | - | - | - | 0,010 | - |

Ψ_e – Edifici RGC_E2_B, RPC_E2_B, UFF_E2_B, RMF_E2_B, UFF_E1_B

| | RGC_E2_B | RPC_E2_B | UFF_E2_B | RMF_E2_B | UFF_E1_B |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| U_p \ λ | 0,387 | 0,376 | 0,810 | 0,379 | 0,950 |
| 0,65 | 0,025 | 0,025 | 0,021 | 0,025 | 0,020 |
| 0,48 | 0,014 | 0,014 | 0,010 | 0,014 | 0,010 |
| 0,42 | 0,011 | 0,011 | 0,010 | 0,011 | 0,010 |
| 0,36 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 |
| 0,30 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 |
| 0,50 | - | - | 0,010 | - | |

Ponte termico tipo W12

| n° | Edifici con W12 (pre-ottimizzazione) | Edifici con W12 (post-ottimizzazione) |
|----|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | | RGC_E1_B |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | RMF_E1_B |
| 8 | | RMF_E1_E |
| 9 | | |
| 10 | | |
| 11 | | |
| 12 | | |
| 13 | | RPC_E1_B |
| 14 | | |
| 15 | | |
| 16 | | RPC_E2_E |
| 17 | | |
| 18 | | |
| 19 | | |
| 20 | | |
| 21 | | |
| 22 | | |
| 23 | | |
| 24 | | |



W12 - Giunto parete con isolamento interno continuo - telaio posto in mezzeria

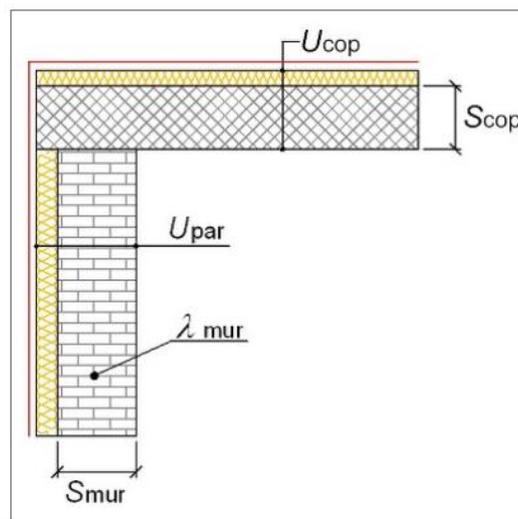
Ψ_e – Edifici RMF_E1_E, RPC_E2_E, RGC_E1_B, RMF_E1_B, RPC_E1_B

| U_p \ λ | RMF_E1_E | RPC_E2_E |
|-------------------|--------------|--------------|
| 0,45 | 0,720 | 0,430 |
| 0,45 | 0,135 | 0,089 |
| 0,34 | 0,146 | 0,102 |
| 0,29 | 0,151 | 0,109 |
| 0,25 | 0,158 | 0,116 |
| 0,20 | 0,167 | 0,124 |

| U_p \ λ | RGC_E1_B RPC_E1_B | RMF_E1_B |
|-------------------|----------------------|--------------|
| 0,65 | 0,337 | 0,430 |
| 0,65 | 0,025 | 0,025 |
| 0,48 | 0,015 | 0,012 |
| 0,42 | 0,011 | 0,011 |
| 0,36 | 0,010 | 0,010 |
| 0,30 | 0,010 | 0,010 |

Ponte termico tipo R1

| n° | Edifici con R1 (pre-ottimizzazione) | Edifici con R1 (post-ottimizzazione) |
|----|--|---|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | RMF_E1_B |
| 8 | | RMF_E1_E |
| 9 | | |
| 10 | | |
| 11 | | |
| 12 | | |
| 13 | | |
| 14 | | |
| 15 | | |
| 16 | | |
| 17 | | |
| 18 | | |
| 19 | | |
| 20 | | |
| 21 | | |
| 22 | | |
| 23 | UFF_NO_B | UFF_NO_B |
| 24 | UFF_NO_E | UFF_NO_E |



R1 - Giunto parete con isolamento esterno - copertura

Ψ_e - Edificio RMF_E1_E

| U _p \ U _r | 0,40 | 0,30 | 0,27 | 0,23 | 0,20 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,45 | 0,379 | 0,401 | 0,406 | 0,413 | 0,418 |
| 0,34 | 0,403 | 0,420 | 0,425 | 0,428 | 0,430 |
| 0,29 | 0,411 | 0,427 | 0,429 | 0,431 | 0,432 |
| 0,25 | 0,418 | 0,429 | 0,431 | 0,432 | 0,434 |
| 0,20 | 0,427 | 0,432 | 0,433 | 0,435 | 0,436 |

Ψ_e – Edificio RMF_E1_B

| $U_p \backslash U_r$ | 0,50 | 0,38 | 0,35 | 0,33 | 0,30 |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0,65 | 0,301 | 0,331 | 0,339 | 0,344 | 0,351 |
| 0,48 | 0,344 | 0,372 | 0,379 | 0,383 | 0,389 |
| 0,42 | 0,358 | 0,386 | 0,391 | 0,394 | 0,399 |
| 0,36 | 0,372 | 0,396 | 0,401 | 0,404 | 0,409 |
| 0,30 | 0,386 | 0,406 | 0,411 | 0,414 | 0,419 |

Ψ_e – Edificio UFF_NO_B

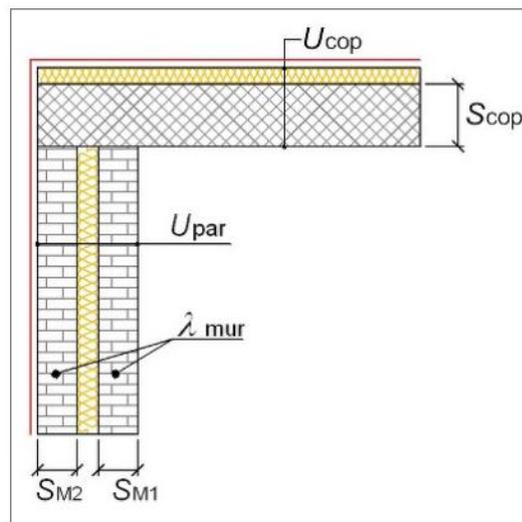
| $U_p \backslash U_r$ | 0,50 | 0,38 | 0,35 | 0,33 | 0,30 | 0,38 |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0,65 | 0,232 | 0,265 | 0,274 | 0,279 | 0,287 | 0,265 |
| 0,48 | 0,279 | 0,312 | 0,321 | 0,326 | 0,333 | 0,312 |
| 0,42 | 0,296 | 0,329 | 0,335 | 0,339 | 0,345 | 0,329 |
| 0,36 | 0,312 | 0,341 | 0,347 | 0,351 | 0,357 | 0,341 |
| 0,30 | 0,329 | 0,353 | 0,359 | 0,363 | 0,369 | 0,353 |
| 0,48 | 0,279 | 0,312 | 0,321 | 0,326 | 0,333 | 0,312 |

Ψ_e – Edificio UFF_NO_E

| $U_p \backslash U_r$ | 0,40 | 0,30 | 0,27 | 0,23 | 0,20 | 0,38 |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0,45 | 0,313 | 0,338 | 0,344 | 0,352 | 0,358 | 0,313 |
| 0,34 | 0,340 | 0,360 | 0,366 | 0,372 | 0,375 | 0,340 |
| 0,29 | 0,350 | 0,369 | 0,373 | 0,378 | 0,381 | 0,350 |
| 0,25 | 0,358 | 0,374 | 0,378 | 0,382 | 0,386 | 0,358 |
| 0,20 | 0,368 | 0,380 | 0,384 | 0,388 | 0,392 | 0,368 |
| 0,34 | 0,340 | 0,360 | 0,366 | 0,372 | 0,375 | 0,340 |

Ponte termico tipo R2

| n° | Edifici con R2 (pre-ottimizzazione) | Edifici con R2 (post-ottimizzazione) |
|----|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| 8 | | |
| 9 | | RMF_E2_B |
| 10 | | RMF_E2_E |
| 11 | | |
| 12 | | |
| 13 | | |
| 14 | | |
| 15 | | |
| 16 | | |
| 17 | | |
| 18 | | |
| 19 | | |
| 20 | | |
| 21 | UFF_E2_B | |
| 22 | UFF_E2_E | |
| 23 | | |
| 24 | | |



R2 - Giunto parete con isolamento in intercapedine - copertura

Ψe – Edificio RMF_E2_B

| $U_p \backslash U_r$ | 0,50 | 0,38 | 0,35 | 0,33 | 0,30 |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,65 | 0,431 | 0,460 | 0,467 | 0,471 | 0,476 |
| 0,48 | 0,471 | 0,493 | 0,499 | 0,502 | 0,507 |
| 0,42 | 0,482 | 0,504 | 0,508 | 0,510 | 0,513 |
| 0,36 | 0,493 | 0,511 | 0,514 | 0,516 | 0,520 |
| 0,30 | 0,504 | 0,518 | 0,521 | 0,523 | 0,526 |

Ψ_e – Edificio RMF_E2_E

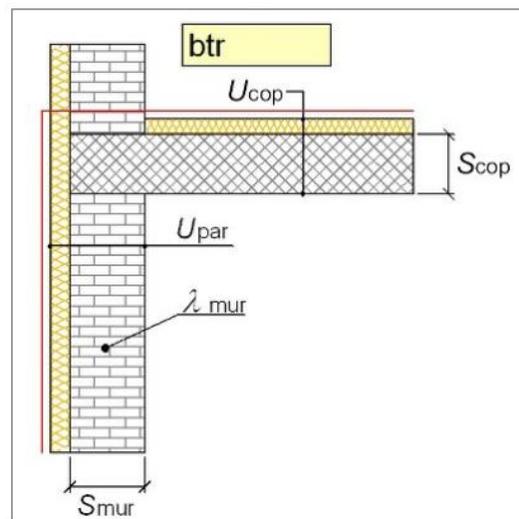
| $U_p \backslash U_r$ | 0,40 | 0,30 | 0,27 | 0,23 | 0,20 |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0,45 | 0,507 | 0,522 | 0,526 | 0,531 | 0,534 |
| 0,34 | 0,524 | 0,535 | 0,539 | 0,538 | 0,535 |
| 0,29 | 0,529 | 0,539 | 0,537 | 0,533 | 0,531 |
| 0,25 | 0,534 | 0,536 | 0,533 | 0,530 | 0,528 |
| 0,20 | 0,540 | 0,532 | 0,529 | 0,526 | 0,524 |

Ψ_e – Edifici UFF_E2_B, UFF_E2_E

| Edificio | Ψ_e |
|-----------------|----------------------------|
| UFF_E2_B | 0,459 |
| UFF_E2_E | 0,459 |

Ponte termico tipo R5

| | Edifici con R5 (pre-ottimizzazione) | Edifici con R5 (post-ottimizzazione) |
|----|--|---|
| n° | | |
| 1 | | RGC_E1_B |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | RGC_NO_B |
| 6 | | RGC_NO_E |
| 7 | | |
| 8 | | |
| 9 | | |
| 10 | | |
| 11 | | RMF_NO_B |
| 12 | | RMF_NO_E |
| 13 | | RPC_E1_B |
| 14 | | |
| 15 | | |
| 16 | | RPC_E2_E |
| 17 | | RPC_NO_B |
| 18 | | RPC_NO_E |
| 19 | | |
| 20 | | |
| 21 | | |
| 22 | | |
| 23 | | |
| 24 | | |



R5 - Giunto parete sporgente con isolamento esterno - copertura su ambiente non riscaldato

Ψ_e - Edifici RMF_NO_B, RPC_NO_B

| $U_p \backslash U_r$ | 0,50 | 0,38 | 0,35 | 0,33 | 0,30 | 0,38 |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,65 | 0,019 | 0,040 | 0,045 | 0,048 | 0,053 | 0,068 |
| 0,48 | 0,048 | 0,067 | 0,072 | 0,075 | 0,079 | 0,084 |
| 0,42 | 0,058 | 0,077 | 0,081 | 0,083 | 0,087 | 0,091 |
| 0,36 | 0,067 | 0,084 | 0,088 | 0,091 | 0,095 | 0,096 |
| 0,30 | 0,077 | 0,092 | 0,096 | 0,099 | 0,102 | 0,102 |
| 0,48 | 0,060 | 0,076 | 0,080 | 0,085 | 0,089 | 0,063 |

Ψ_e – Edificio RGC_NO_E

| $U_p \backslash U_r$ | 0,40 | 0,30 | 0,27 | 0,23 | 0,20 | 0,30 |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0,45 | 0,038 | 0,045 | 0,048 | 0,051 | 0,053 | 0,045 |
| 0,34 | 0,046 | 0,054 | 0,056 | 0,057 | 0,058 | 0,054 |
| 0,29 | 0,050 | 0,057 | 0,058 | 0,059 | 0,060 | 0,057 |
| 0,25 | 0,053 | 0,058 | 0,059 | 0,060 | 0,061 | 0,058 |
| 0,20 | 0,056 | 0,060 | 0,061 | 0,062 | 0,063 | 0,060 |
| 0,48 | 0,036 | 0,043 | 0,045 | 0,048 | 0,051 | 0,043 |

Ψ_e – Edifici RMF_NO_E, RPC_NO_E

| $U_p \backslash U_r$ | 0,40 | 0,30 | 0,27 | 0,23 | 0,20 | 0,30 |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0,45 | 0,069 | 0,083 | 0,087 | 0,092 | 0,096 | 0,083 |
| 0,34 | 0,084 | 0,097 | 0,101 | 0,105 | 0,107 | 0,097 |
| 0,29 | 0,091 | 0,103 | 0,105 | 0,108 | 0,110 | 0,103 |
| 0,25 | 0,096 | 0,106 | 0,108 | 0,111 | 0,113 | 0,106 |
| 0,20 | 0,102 | 0,110 | 0,112 | 0,115 | 0,113 | 0,110 |
| 0,33 | 0,086 | 0,099 | 0,102 | 0,105 | 0,107 | 0,099 |

Ψ_e – Edificio RPC_E2_E

| $U_p \backslash U_r$ | 0,40 | 0,30 | 0,27 | 0,23 | 0,20 |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0,45 | 0,078 | 0,082 | 0,083 | 0,085 | 0,086 |
| 0,34 | 0,082 | 0,086 | 0,088 | 0,087 | 0,085 |
| 0,29 | 0,084 | 0,088 | 0,086 | 0,084 | 0,083 |
| 0,25 | 0,086 | 0,086 | 0,084 | 0,083 | 0,081 |
| 0,20 | 0,088 | 0,083 | 0,082 | 0,080 | 0,079 |

Ψ_e – Edificio RGC_E1_B

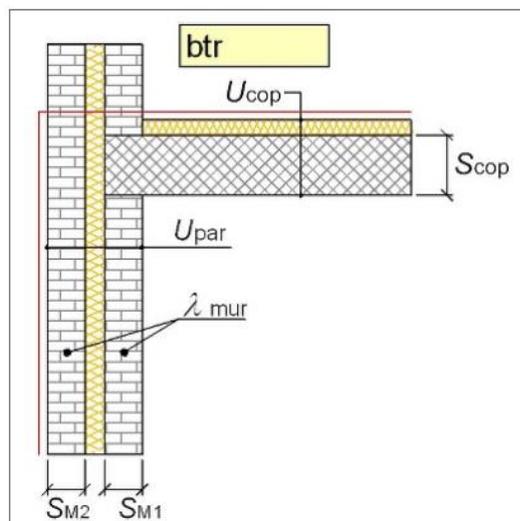
| $U_p \backslash U_r$ | 0,50 | 0,38 | 0,35 | 0,33 | 0,30 |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0,65 | 0,001 | 0,004 | 0,005 | 0,006 | 0,008 |
| 0,48 | 0,006 | 0,013 | 0,014 | 0,015 | 0,017 |
| 0,42 | 0,009 | 0,016 | 0,017 | 0,018 | 0,020 |
| 0,36 | 0,013 | 0,019 | 0,021 | 0,022 | 0,023 |
| 0,30 | 0,016 | 0,022 | 0,024 | 0,025 | 0,027 |

Ψ_e – Edificio RGC_NO_B

| $U_p \backslash U_r$ | 0,50 | 0,38 | 0,35 | 0,33 | 0,30 | 0,30 |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0,65 | 0,020 | 0,024 | 0,025 | 0,026 | 0,028 | 0,045 |
| 0,48 | 0,026 | 0,035 | 0,037 | 0,038 | 0,040 | 0,054 |
| 0,42 | 0,030 | 0,039 | 0,041 | 0,043 | 0,045 | 0,057 |
| 0,36 | 0,035 | 0,044 | 0,046 | 0,048 | 0,050 | 0,058 |
| 0,30 | 0,039 | 0,049 | 0,051 | 0,053 | 0,055 | 0,060 |
| 0,48 | 0,036 | 0,043 | 0,045 | 0,048 | 0,051 | 0,043 |

Ponte termico tipo R6

| n° | Edifici con R6 (pre-ottimizzazione) | Edifici con R6 (post-ottimizzazione) |
|----|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | | |
| 2 | | RGC_E1_E |
| 3 | | RGC_E2_B |
| 4 | | RGC_E2_E |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| 8 | | |
| 9 | | |
| 10 | | |
| 11 | | |
| 12 | | |
| 13 | | |
| 14 | | RPC_E1_E |
| 15 | | RPC_E2_B |
| 16 | | |
| 17 | | |
| 18 | | |
| 19 | | |
| 20 | | |
| 21 | | UFF_E2_B |
| 22 | | UFF_E2_E |
| 23 | | |
| 24 | | |



R6 - Giunto parete sporgente con isolamento in intercapedine - copertura su ambiente non riscaldato

Ψ_e – Edificio RGC_E2_B

| U _p \ U _r | 0,50 | 0,38 | 0,35 | 0,33 | 0,30 |
|---------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 0,65 | -0,003 | 0,008 | 0,010 | 0,011 | 0,013 |
| 0,48 | 0,011 | 0,019 | 0,021 | 0,022 | 0,023 |
| 0,42 | 0,015 | 0,023 | 0,023 | 0,023 | 0,024 |
| 0,36 | 0,019 | 0,024 | 0,024 | 0,024 | 0,025 |
| 0,30 | 0,023 | 0,025 | 0,025 | 0,025 | 0,026 |

Ψ_e – Edifici RGC_E2_E, RGC_E1_E, RPC_E1_E

| $U_p \backslash U_r$ | 0,40 | 0,30 | 0,27 | 0,23 | 0,20 |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0,45 | 0,023 | 0,027 | 0,027 | 0,028 | 0,028 |
| 0,34 | 0,027 | 0,029 | 0,029 | 0,028 | 0,027 |
| 0,29 | 0,028 | 0,029 | 0,028 | 0,026 | 0,025 |
| 0,25 | 0,028 | 0,027 | 0,026 | 0,024 | 0,023 |
| 0,20 | 0,029 | 0,025 | 0,024 | 0,022 | 0,021 |

Ψ_e – Edificio RPC_E2_B

| $U_p \backslash U_r$ | 0,50 | 0,38 | 0,35 | 0,33 | 0,30 |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0,65 | -0,005 | 0,005 | 0,008 | 0,009 | 0,011 |
| 0,48 | 0,009 | 0,016 | 0,018 | 0,019 | 0,020 |
| 0,42 | 0,013 | 0,020 | 0,020 | 0,021 | 0,021 |
| 0,36 | 0,016 | 0,021 | 0,021 | 0,022 | 0,022 |
| 0,30 | 0,020 | 0,022 | 0,022 | 0,023 | 0,023 |

Ψ_e – Edificio UFF_E2_E

| $U_p \backslash U_r$ | 0,40 | 0,30 | 0,27 | 0,23 | 0,20 |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0,45 | 0,040 | 0,051 | 0,053 | 0,056 | 0,056 |
| 0,34 | 0,051 | 0,058 | 0,060 | 0,062 | 0,062 |
| 0,29 | 0,055 | 0,061 | 0,062 | 0,063 | 0,063 |
| 0,25 | 0,058 | 0,062 | 0,063 | 0,064 | 0,064 |
| 0,20 | 0,061 | 0,063 | 0,064 | 0,065 | 0,065 |

Ψ_e – Edificio UFF_E2_B

| $U_p \backslash U_r$ | 0,50 | 0,38 | 0,35 | 0,33 | 0,30 |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0,65 | 0,133 | 0,145 | 0,148 | 0,150 | 0,152 |
| 0,48 | 0,150 | 0,159 | 0,162 | 0,163 | 0,164 |
| 0,42 | 0,154 | 0,164 | 0,164 | 0,164 | 0,164 |
| 0,36 | 0,159 | 0,164 | 0,164 | 0,164 | 0,164 |
| 0,30 | 0,164 | 0,164 | 0,164 | 0,164 | 0,164 |

ALLEGATO D. SCHEDE EDIFICI DI RIFERIMENTO

(vedi pdf allegati)