



Ricerca di Sistema elettrico

Aggiornamento della metodologia di calcolo dei livelli ottimali di prestazione energetica in funzione dei costi

V. Corrado, I. Ballarini, F. Bianco Mauthe Degerfeld, M. Piro



**Politecnico
di Torino**

Report RdS/PTR2021/108

AGGIORNAMENTO DELLA METODOLOGIA DI CALCOLO DEI LIVELLI OTTIMALI DI PRESTAZIONE ENERGETICA IN FUNZIONE DEI COSTI

V. Corrado, I. Ballarini, F. Bianco Mauthe Degerfeld, M. Piro (Politecnico di Torino – Dipartimento di Energia)

Con il contributo di: E. Fabrizio

Dicembre 2021

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico (oggi Ministero della Transizione Ecologica) - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - III annualità

Obiettivo: *N. 1 - Tecnologie*

Progetto: *1.5 - Tecnologie, tecniche e materiali per l'efficienza energetica ed il risparmio di energia negli usi finali elettrici degli edifici nuovi ed esistenti*

Work package: *1 - Edifici ad alta efficienza energetica*

Linea di attività: *LA1.11 - Aggiornamento della metodologia di calcolo dei livelli ottimali di prestazione energetica in funzione dei costi*

Responsabile del Progetto: Giovanni Puglisi, ENEA

Responsabile del Work package: Domenico Iatauro, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione *“Applicazioni del modello di calcolo orario semplificato (UNI EN 52016-1:2018) e aggiornamento della metodologia di calcolo dei livelli ottimali di prestazione energetica in funzione dei costi”*

Responsabile scientifico ENEA: Ing. Paolo Signoretti

Responsabile scientifico Politecnico di Torino – Dipartimento di Energia: Prof. Vincenzo Corrado

Indice

SOMMARIO.....	5
1 INTRODUZIONE.....	7
1.1 INQUADRAMENTO DELL'ATTIVITÀ.....	7
1.2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE.....	8
2 METODI E STRUMENTI DI CALCOLO.....	9
2.1 CALCOLO DEI FABBISOGNI DI ENERGIA.....	9
2.2 IL METODO DI CALCOLO ORARIO DELLA UNI EN ISO 52016-1.....	11
2.2.1 <i>Ipotesi di calcolo</i>	11
2.2.2 <i>Procedura di calcolo</i>	12
2.2.3 <i>Bilancio di energia di una zona termica</i>	13
2.2.4 <i>Modalità di discretizzazione degli elementi edilizi in nodi (modello RC)</i>	13
2.3 L'APPENDICE NAZIONALE ITALIANA DELLA UNI EN ISO 52016-1.....	14
2.4 CALCOLO DEL COSTO GLOBALE.....	20
2.5 PROCEDURA DI OTTIMIZZAZIONE.....	24
3 DESCRIZIONE DEGLI EDIFICI DI RIFERIMENTO.....	28
3.1 EDIFICI AD USO RESIDENZIALE.....	30
3.2 EDIFICI AD USO UFFICIO.....	31
3.3 EDIFICIO AD USO SCOLASTICO.....	32
4 ANALISI DELLE MISURE DI EFFICIENZA ENERGETICA.....	34
4.1 MISURE DI EFFICIENZA ENERGETICA DELL'INVOLUCRO.....	35
4.2 MISURE DI EFFICIENZA ENERGETICA DEGLI IMPIANTI DI RISCALDAMENTO, RAFFRESCAMENTO E ACS.....	38
4.3 MISURE DI EFFICIENZA ENERGETICA DEGLI IMPIANTI A FONTI RINNOVABILI.....	43
4.4 MISURE DI EFFICIENZA ENERGETICA APPLICATE AGLI EDIFICI DI RIFERIMENTO.....	43
5 COSTI DELLE MISURE DI EFFICIENZA ENERGETICA.....	70
5.1 COSTI DEGLI INTERVENTI SUI COMPONENTI D'INVOLUCRO OPACO.....	70
5.1.1 <i>EEM1 e EEM2: Isolamento delle pareti esterne</i>	70
5.1.2 <i>EEM3: Isolamento della copertura o del solaio superiore</i>	72
5.1.3 <i>EEM4: Isolamento del solaio inferiore</i>	76
5.2 COSTI DEGLI INTERVENTI SUI COMPONENTI D'INVOLUCRO TRASPARENTE.....	77
5.2.1 <i>EEM5: Isolamento dell'involucro trasparente</i>	77
5.2.2 <i>EEM 6: Sistemi di schermatura solare</i>	79
5.3 COSTI DEI SISTEMI IMPIANTISTICI.....	80
5.3.1 <i>EEM 7: High efficiency chiller</i>	80
5.3.2 <i>EEM8: Generatore di calore per riscaldamento centralizzato</i>	81
5.3.3 <i>EEM9: Generatore di calore per la produzione di acqua calda sanitaria</i>	88
5.3.4 <i>EEM10: Generatore di calore combinato per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria</i>	89
5.3.5 <i>EEM11: Generatore di calore combinato per riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria</i>	91
5.3.6 <i>Costi aggiuntivi associati alle misure EEM8, EEM10 e EEM11</i>	91
5.3.6.1 Terminali di emissione.....	91
5.3.6.2 Serbatoio di accumulo.....	95
5.3.7 <i>EEM12: Impianto solare termico</i>	97
5.3.8 <i>EEM13: Impianto solare fotovoltaico</i>	98
5.3.9 <i>EEM14: Ventilazione meccanica con recuperatore di calore</i>	98
5.3.10 <i>EEM15: Sistema di regolazione</i>	102
5.3.11 <i>EEM16: Sistema di illuminazione</i>	106

5.4	COSTI DEI VETTORI ENERGETICI.....	106
5.4.1	<i>Energia elettrica</i>	106
5.4.2	<i>Gas naturale</i>	108
5.4.3	<i>Evoluzione del costo dei vettori energetici</i>	108
5.5	COSTI DEGLI EDIFICI ESISTENTI.....	109
6	SIMULAZIONI E RISULTATI.....	112
6.1	DEFINIZIONE DEI DATI CLIMATICI.....	112
6.2	OPZIONI DI COMPATIBILITÀ TRA MODELLI.....	112
6.3	CONFRONTO OTTIMIZZAZIONI ORARIE E MENSILI.....	113
6.4	CONFRONTO MODELLI DI DISCRETIZZAZIONE IN NODI DEI COMPONENTI OPACHI.....	206
6.5	ANALISI DI SENSIBILITÀ AI PARAMETRI ECONOMICI.....	210
6.6	EDIFICI NZEB.....	220
6.6.1	<i>Requisiti minimi</i>	220
6.6.2	<i>Determinazione della soluzione NZEB</i>	221
6.6.3	<i>Risultati</i>	223
7	CONCLUSIONI.....	227
8	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	228
9	RINGRAZIAMENTI.....	230
10	ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	230
	CURRICULUM SCIENTIFICO DEI COMPONENTI DEL GRUPPO DI LAVORO.....	233
	APPENDICE A – MANUALE UTENTE TOOL.....	A.1

Sommario

La presente relazione illustra il lavoro svolto nell'ambito dell'attività di ricerca inerente all'aggiornamento delle informazioni per la valutazione tecnico-economica degli interventi di riqualificazione energetica degli edifici, e nello specifico l'aggiornamento della metodologia di analisi comparativa, con il proposito di determinare i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici in funzione dei livelli ottimali di costo (*cost optimality*). L'attività si colloca in un contesto normativo che prevede un prossimo aggiornamento del D.M. 26 giugno 2015 sulle nuove prescrizioni e i requisiti minimi di prestazione energetica [1].

Il lavoro è stato suddiviso in cinque fasi: definizione degli edifici di riferimento ai quali applicare la procedura di calcolo, messa a punto degli strumenti di calcolo della prestazione energetica degli edifici, del costo globale e la procedura di ottimizzazione, definizione delle misure di efficienza energetica e dei loro costi, applicazione della procedura di ottimizzazione per definire i livelli *cost-optimal*, infine analisi dei risultati. Questi ultimi sono rappresentati dai pacchetti di misure di efficienza energetica che garantiscono il livello ottimale di costo, accompagnati da un'analisi di sensibilità in riferimento alle principali variabili di calcolo economico.

Per la definizione degli edifici di riferimento rappresentativi del parco edilizio italiano, soggetti all'applicazione dei metodi di calcolo aggiornati nell'ambito nel presente accordo di collaborazione, si è fatto riferimento ad archetipi (edifici virtuali) estrapolati dai risultati dei progetti di ricerca TABULA [2] e BEEPS [3] e dall'indagine effettuata da CRESME per ENEA [4]. Nella Sezione 3 vengono riportate le descrizioni delle tipologie edilizie di riferimento (residenziale monofamiliare, condominio residenziale di piccole e grandi dimensioni, edificio ad uso ufficio ed edificio a uso scolastico) e le principali caratteristiche geometriche e costruttive dei 26 edifici di riferimento considerati (da Tabella 3 a Tabella 3).

La definizione degli strumenti di calcolo utilizzati ai fini dell'aggiornamento dei requisiti minimi di prestazione energetica corrispondenti ai livelli di costo ottimale per gli edifici di riferimento, e i relativi aggiornamenti, viene riportata nella Sezione 2. In particolare, la procedura di valutazione energetica (Sezione 2.1), condotta in accordo con la serie di specifiche tecniche UNI/TS 11300 [5]-[9], è stata ampliata ed è stato aggiunto il nuovo modello di calcolo orario del fabbisogno di energia termica per riscaldamento e raffrescamento introdotto dalla UNI EN ISO 52016-1 [10]. Il pacchetto integrato di fogli di calcolo, sviluppato nell'ambito del precedente Piano Annuale di Realizzazione 2017 [11], è stato a sua volta modificato e aggiornato per recepire le modifiche sopraindicate. Per quanto riguarda la valutazione economica, nella Sezione 2.4 vengono riportate le specifiche per il calcolo del costo globale (in accordo con la norma UNI EN 15459-1 [12]) relative al periodo di calcolo e alle voci di costo considerate. Infine, la Sezione 2.5 descrive la procedura di ottimizzazione a soluzioni discrete, la quale permette di individuare il pacchetto di misure di efficienza energetica, e i relativi livelli di prestazione, che garantisce il minor costo globale nell'arco di vita dell'edificio.

La Sezione 4 riporta le informazioni (in particolare i livelli di prestazione energetica e i costi) relative alle misure di efficienza energetica (EEM) testate dalla procedura di ottimizzazione per ciascun edificio di riferimento. In seguito alla definizione delle misure di efficienza energetica e ai livelli di prestazione di ciascuna di esse (Tabella 4.9 per le misure sull'involucro, Tabella 4.14 per le misure sugli impianti e Tabella 4.17 per le misure relative agli impianti a fonti rinnovabili), nelle Sezioni 4.1, 4.2 e 4.3 vengono specificate le assunzioni considerate nei calcoli. In particolare, viene descritto il metodo di definizione dei livelli di trasmittanza termica dei componenti d'involucro e del contributo dei ponti termici, dei livelli di prestazione energetica delle misure sugli impianti a fonti rinnovabili e delle configurazioni impiantistiche, e le relative tecnologie considerate per ciascuna tipologia edilizia. Per ciascun edificio di riferimento vengono riportati, inoltre, i parametri relativi a ciascun livello di ciascuna misura di efficienza energetica (da Tabella 4.18 a Tabella 4.43).

Per quanto riguarda l'aggiornamento dei costi considerati nella procedura di ottimizzazione, la Sezione 5 riporta i costi relativi alle misure di efficienza energetica. In particolare, per ciascuna misura sull'involucro

(Sezione 5.1 e 5.2) e sui sistemi impiantistici (Sezione 5.3) sono riportati i costi delle tecnologie (in funzione della superficie d'involucro o delle potenze dei generatori) e i costi aggiuntivi per le misure (es. manodopera). Invece, i costi relativi ai vettori energetici considerati nei calcoli e i costi di manutenzione e sostituzione per gli edifici esistenti sono riportati rispettivamente nelle Sezioni 5.4 e 5.5.

I risultati del processo di ottimizzazione sono riportati con diversi elaborati nella Sezione 6.3. Da Tabella 6.103 a Tabella 6.180 si riportano, per ciascun edificio di riferimento e per ambedue i metodi di calcolo considerati (in condizioni quasi-stazionarie, secondo UNI/TS 11300-1 [5], e in condizioni dinamiche, secondo il modello orario della UNI EN ISO 52016-1 [10]), una tabella riassuntiva del pacchetto *cost-optimal* delle misure di efficienza energetica, ed il fronte di Pareto con gli ottimi parziali risultanti dalla procedura di ottimizzazione. Vengono inoltre presentati quattro grafici per ciascun metodo di calcolo che rappresentano rispettivamente l'energia consegnata e prodotta da fonti rinnovabili, l'indice di prestazione energetica (*EP*) rinnovabile e non rinnovabile per ciascun servizio (e la relativa copertura da fonti rinnovabili), e i costi della soluzione *cost-optimal*.

Nella Sezione 6.4 viene sviluppata, per due edifici di riferimento, un'analisi comparativa tra le due differenti metodologie di discretizzazione dei componenti opachi utilizzate per valutare lo scambio termico per conduzione, ossia la procedura standard prevista dalla UNI EN ISO 52016-1 [10] e quella della sua Appendice Nazionale Italiana [13]. Nella Sezione 6.5 sono riportati i risultati dell'analisi di sensibilità in riferimento alle principali variabili di calcolo economico (tasso di sconto e andamento dei costi energetici); nella Sezione 6.6 sono presentate verifiche e confronti tra misure di efficienza *cost-optimal* e soluzioni per edifici ad energia quasi zero (NZEB).

Infine, le conclusioni del presente lavoro sono state sviluppate nella Sezione 7, in riferimento alle diverse tipologie edilizie e a carattere generale.

1 Introduzione

1.1 Inquadramento dell'attività

Nell'ambito del Piano Triennale di Realizzazione (2019-2021) e del relativo Accordo di Programma 2019-2021 del 4 giugno 2020 tra il Ministero dello Sviluppo Economico e l'ENEA, Progetto 1.5 "Tecnologie, tecniche e materiali per l'efficienza energetica ed il risparmio di energia negli usi finali elettrici degli edifici nuovi ed esistenti", e secondo quanto definito nell'Accordo di collaborazione tra l'ENEA e il Politecnico di Torino (Dipartimento Energia) per una attività di ricerca dal titolo "Applicazioni del modello di calcolo orario semplificato (UNI EN ISO 52016-1:2018) e aggiornamento della metodologia di calcolo dei livelli ottimali di prestazione energetica in funzione dei costi", la presente relazione illustra il lavoro svolto nell'ambito dell'attività di ricerca concernente l'aggiornamento della metodologia di calcolo dei livelli ottimali di prestazione energetica in funzione dei costi.

La direttiva 2002/91/CE EPBD [14], sostituita dalla direttiva 2010/31/UE (EPBD recast) [15], poi modificata e integrata dalla direttiva 2018/844 [16], ha definito i principi relativi al miglioramento della prestazione energetica degli edifici. Nella EPBD recast è richiesto agli Stati Membri di definire i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici in funzione dei livelli ottimali di costo. A tal fine, la direttiva introduce 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" [15], dove il costo più basso è determinato tenendo conto dei costi di investimento legati all'energia, dei costi di manutenzione e di funzionamento e degli eventuali costi di smaltimento. Il Regolamento delegato (UE) N. 244/2012 [17] e le successive linee guida di accompagnamento hanno definito il quadro metodologico per la determinazione dei requisiti energetici ottimali degli edifici, dal punto di vista sia tecnico che economico.

Più recentemente, la direttiva 2018/844 [16] ha introdotto una strategia a lungo termine per la riqualificazione del patrimonio edilizio esistente che ciascuno Stato Membro dovrà promuovere, per conseguire la decarbonizzazione entro il 2050, attuando una trasformazione degli edifici esistenti in edifici ad energia quasi-zero (NZEB) che sia efficace dal punto di vista dei costi.

In Italia, l'applicazione della metodologia di analisi comparativa è stata sviluppata da un gruppo di lavoro, coordinato dal MiSE, cui hanno partecipato ENEA, RSE, CTI e il Politecnico di Torino, ed è stata esplicitata nel report "Applicazione della metodologia di calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica (direttiva 2010/31/CE Art. 5)" pubblicato nel 2013. In questa relazione sono contenuti tutti i dati e le ipotesi utilizzati per il calcolo, con i relativi risultati. Con l'impiego di questa metodologia sono stati identificati i requisiti minimi di prestazione energetica corrispondenti ai livelli di costo ottimali, per edifici nuovi e per edifici esistenti sottoposti a ristrutturazioni importanti e a riqualificazione energetica. I risultati di queste valutazioni sono stati confrontati con i corrispondenti valori vigenti al 2013, e successivamente utilizzati nel DM 26 giugno 2015 [1] per la definizione delle prestazioni e dei requisiti minimi degli edifici e per la definizione di edifici a energia quasi zero (NZEB). Nel 2018, la metodologia comparativa è stata aggiornata come previsto dalla stessa direttiva [18], che fissa una rivisitazione periodica, ad intervalli regolari non superiori a cinque anni, dei requisiti minimi di prestazione energetica.

Il tema sviluppato nell'ambito del presente accordo di collaborazione tra ENEA e Dipartimento Energia (DENERG) del Politecnico di Torino riguarda l'aggiornamento dei metodi di calcolo e dei risultati della metodologia di analisi comparativa sviluppata nel 2018 [18]. L'attività di ricerca comprende inoltre il confronto dei livelli ottimali calcolati su base mensile con quelli determinati considerando un *time step* orario.

Per l'applicazione della suddetta metodologia, nell'ambito del precedente Piano Annuale di Realizzazione 2017 [11], è stato definito un pacchetto integrato costituito da fogli di calcolo in formato MS Excel *user friendly* in grado, per ogni edificio di riferimento 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 energetici annuali per riscaldamento, produzione di acqua calda per usi igienico-sanitari (ACS), raffrescamento ed illuminazione (quest'ultima nel caso di edifici non residenziali), 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 edifici di riferimento nell'ambito delle precedenti attività, è ora stato aggiornato includendo il metodo di calcolo orario introdotto dalla norma UNI EN ISO 52016-1 [10] e applicato nuovamente agli edifici di riferimento.

1.2 Descrizione delle attività svolte

Il lavoro si struttura nelle seguenti quattro fasi:

1. Descrizione degli edifici di riferimento;
 2. Implementazione degli strumenti di calcolo;
 3. Analisi delle misure di efficienza energetica;
 4. Presentazione dei risultati.
- Descrizione degli edifici di riferimento: Il lavoro si basa sugli edifici campione già precedentemente definiti nel 2018 [18] dal gruppo di lavoro tecnico istituito dal Ministero dello Sviluppo Economico per l'attuazione della Direttiva 2010/31/UE [15]. 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 [2]) è stato definito un numero congruo di edifici di riferimento (sia residenziali che non residenziali, sia esistenti che nuovi), rappresentativi del parco edilizio italiano per funzionalità, caratteristiche tipologiche e costruttive e condizioni climatiche.
 - Implementazione degli strumenti di calcolo: la valutazione energetica è condotta mediante metodologia semplificata, in accordo con le specifiche tecniche UNI/TS 11300-1/5 [5]-[9] e UNI EN ISO 52016-1 [10], con lo scopo di prevedere i consumi energetici globali per singolo edificio campione considerando riscaldamento, produzione ACS, raffrescamento ed illuminazione (solo per i non residenziali). La valutazione economica è condotta in accordo con la norma UNI EN 15459-1 [12] con lo scopo di prevedere il costo globale in un contesto di nuova costruzione o ristrutturazione edilizia totale, considerando il costo dell'investimento iniziale, di manutenzione, di eventuale sostituzione, di dismissione e costo residuo.

In questa fase l'attività ha previsto l'aggiornamento degli strumenti di calcolo al fine di recepire l'implementazione della procedura oraria di calcolo prevista dalla norma UNI EN ISO 52016-1 [10] e della sua Appendice Nazionale [13].

- Analisi delle misure di efficienza energetica: le misure di efficienza energetica considerate all'interno della metodologia comparativa vengono analizzate e caratterizzate per ciascun edificio di riferimento, sia per quanto riguarda i livelli di prestazione energetica sia per i costi di ciascun intervento. Le misure considerate e i relativi costi sono gli stessi utilizzati nelle valutazioni del 2018 [18].
- Presentazione dei risultati: per ogni edificio di riferimento, i risultati del processo di ottimizzazione consistono nell'individuazione del pacchetto di misure di efficienza energetica ottimale che determina il minor costo globale nel ciclo di vita dell'edificio. I risultati sono stati riportati con diversi elaborati, tra i quali una tabella riassuntiva del pacchetto ottimale e, per gli edifici esistenti, un confronto con lo stato di fatto.

I risultati sono stati valutati determinando il fabbisogno utile di energia termica del fabbricato sia con il metodo di calcolo orario della norma UNI EN ISO 52016-1 [10] (implementata con due delle

principali opzioni di calcolo dell'Appendice Nazionale [13], come descritte nei punti 11 e 13 della Tabella 2.1 della Sezione 2.3), sia con il metodo di calcolo quasi-stazionario su base mensile della specifica tecnica UNI/TS 11300-1 [5]. Gli esiti dell'attività del 2018 [18] sono stati aggiornati per uniformare i dati climatici tra i due metodi di calcolo. I risultati ottenuti sono stati confrontati al fine di far emergere le principali differenze.

La procedura di ottimizzazione è stata inoltre applicata a due edifici di riferimento, seguendo tutte le principali ipotesi formulate nell'Appendice Nazionale della UNI EN ISO 52016-1 [13], come descritte nei punti 5, 11 e 13 della Tabella 2.1 della Sezione 2.3. I risultati sono stati confrontati con le ottimizzazioni precedentemente svolte sui medesimi casi studio.

Per un edificio di riferimento è stata svolta un'analisi parametrica, variando una alla volta le quattro principali categorie di costo e confrontando i risultati in termini sia di costo globale sia di combinazione *cost-optimal*. Per due edifici di riferimento è stata infine determinata una combinazione di misure di efficienza energetica tale da verificare i requisiti dell'edificio ad energia quasi-zero (D.M. 26/06/2015 [1]); sono stati confrontati i risultati ottenuti, in termini di costi e di livelli delle misure di efficienza, con i risultati delle ottimizzazioni.

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

2 Metodi e strumenti di calcolo

2.1 Calcolo dei fabbisogni di energia

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

1. calcolo del fabbisogno termico utile di energia termica per soddisfare le esigenze 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 gli apporti termici interni (da apparecchiature, sistemi di illuminazione e occupazione) e «naturali» (riscaldamento solare passivo);
2. sottrazione dell'energia termica da sorgenti rinnovabili generata e utilizzata in situ (ad esempio, da collettori solari);
3. calcolo del consumo di energia per ciascun uso finale (riscaldamento e raffrescamento di ambienti, acqua calda, illuminazione, ventilazione) e per ciascun vettore di energia (elettricità, combustibili), tenendo conto delle caratteristiche (efficienza stagionale) dei sistemi di produzione, di distribuzione, di emissione e di controllo del calore;
4. sottrazione dell'energia elettrica da sorgenti rinnovabili generata e utilizzata in situ (ad esempio, da pannelli fotovoltaici);
5. calcolo dell'energia consegnata all'edificio (*delivered*) per ciascun vettore energetico;
6. calcolo dell'energia primaria associata all'energia consegnata (*delivered*), utilizzando i fattori nazionali di conversione (D.M. 26/06/2015 [1]).

Nel presente lavoro, la determinazione del fabbisogno di energia degli edifici di riferimento è stata condotta sia mediante il metodo di calcolo in condizioni quasi-stazionarie della serie UNI/TS 11300 [5]-[9], sia con il metodo di calcolo dinamico della norma UNI EN ISO 52016-1 [10]. Le analisi sono state condotte con la serie aggiornata e attualmente in vigore, implementata nei fogli di calcolo *Excel* sviluppati nelle precedenti attività [11] e [18] e nella corrente. Nello specifico, sono state utilizzate le seguenti norme tecniche:

- UNI/TS 11300-1:2014 "Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale" [5];

- UNI/TS 11300-2:2019 “Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali” [6];
- UNI/TS 11300-3:2010 “Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva” [7];
- UNI/TS 11300-4:2016 “Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria” [8];
- UNI/TS 11300-5:2016 “Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 5: Calcolo dell'energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili” [9];
- UNI EN ISO 52016-1:2018 “Prestazione energetica degli edifici - Fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne e carichi termici sensibili e latenti - Parte 1: Procedure di calcolo” [10].

In aggiunta, per il calcolo del fabbisogno energetico per l'illuminazione in edifici non residenziali si è fatto riferimento alla norma UNI EN 15193:2008 “Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per illuminazione” [19].

Inoltre, è necessario ricordare che la determinazione delle prestazioni energetiche degli edifici, secondo la serie delle UNI/TS 11300 [5]-[9] e la UNI EN ISO 52016-1 [10] è una valutazione di calcolo basata sui dati dei componenti dell'edificio, come assemblati, in condizioni definite di clima, di uso, di esercizio. Tale scelta non presenta criticità nel caso di valutazioni sul progetto per edifici di nuova costruzione, mentre nel caso di edifici esistenti la mancanza di dati dei componenti e delle modalità di costruzione, il cui accertamento risulta in certi casi non praticabile o comunque eccessivamente costoso, determina difficoltà nella valutazione e classificazione energetica degli edifici. La UNI/TS 11300 [5]-[9], in considerazione di tali difficoltà, fornisce dati di riferimento per gli edifici esistenti per i casi in cui non siano disponibili sufficienti informazioni.

Nell'ambito dei precedenti Piano Annuale di Realizzazione 2012 [11] e Piano Annuale di Realizzazione 2017 [18], è stato definito un pacchetto integrato costituito da fogli di calcolo in formato *MS Excel 'user friendly'* per il calcolo dei fabbisogni di energia degli edifici di riferimento. Rispetto al precedente pacchetto, nell'ambito di questo lavoro, sono state apportate delle modifiche e delle integrazioni ai fogli di calcolo. I principali aggiornamenti sono di seguito riportati:

- I fogli di calcolo per la valutazione della prestazione energetica degli edifici sono stati implementati inserendo le opzioni di calcolo orario descritte nella norma UNI EN ISO 52016-1 [10] e riportate nella Sezione 2.2 e 2.3;
- È stato implementato un nuovo foglio di calcolo MS Excel, in cui l'utente possa agevolmente inserire in input le informazioni climatiche della località di interesse, i dati riguardanti l'involucro edilizio e l'intensità e la distribuzione temporale degli apporti termici interni. In esso è anche possibile impostare le varie opzioni di calcolo previste dalla UNI EN ISO 52016-1 [10] e della sua Appendice Nazionale [13], come dettagliato nella Sezione 2.2 e 2.3;
- Nei fogli di calcolo è stata aggiunta un'interfaccia per permettere una modifica percentuale delle voci di costo;
- I dati climatici standard, determinati secondo la norma UNI 10349-1 [20], sono stati sostituiti dai dati climatici dell'anno tipo (*TMY*) forniti su base oraria dal CTI. A partire da questi sono state determinate le medie mensili.

2.2 Il metodo di calcolo orario della UNI EN ISO 52016-1

L'uso di un metodo dinamico dettagliato consente di tenere conto delle proprietà non lineari nella modellazione energetica dell'edificio e dei suoi impianti tecnici. Tuttavia, ciò introduce molte scelte, dettagli e complessità. L'uso di un metodo semplificato può quindi essere più adatto a ridurre la quantità di dati di ingresso. La norma internazionale UNI EN ISO 52016-1 [10] specifica due metodi semplificati:

- un metodo orario semplificato;
- un metodo mensile.

L'obiettivo principale del metodo di calcolo orario semplificato è tenere conto dell'influenza delle variazioni orarie e giornaliere relative alle condizioni meteorologiche, all'esercizio (gestione delle schermature solari, gestione dei parametri ambientali interni, profilo di occupazione, inerzia termica, ecc.) e delle loro interazioni dinamiche per il riscaldamento e raffrescamento. Allo stesso tempo, i dati di ingresso aggiuntivi rispetto al metodo di calcolo mensile sono ridotti al minimo.

Il modello di calcolo dinamico semplificato della UNI EN ISO 52016-1 [10] è applicabile per valutare su base oraria:

- a) il carico termico sensibile per il riscaldamento e il raffrescamento;
- b) il carico termico latente e la (de-)umidificazione degli ambienti;
- c) la temperatura interna (dell'aria, media radiante, operativa);
- d) il fabbisogno di energia termica utile (sensibile) per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti;
- e) il fabbisogno di energia termica latente per la deumidificazione degli ambienti;
- f) il carico termico di progetto sensibile e latente per il riscaldamento e il raffrescamento;
- g) le condizioni dell'aria di mandata per garantire l'eventuale umidificazione e/o deumidificazione degli ambienti.

I calcoli sono eseguiti separatamente per le diverse zone termiche, che possono essere tra loro accoppiate o meno. La norma fornisce indicazioni per la valutazione delle zone termiche.

2.2.1 Ipotesi di calcolo

Il metodo si basa sulla risoluzione oraria del bilancio termico sull'aria, secondo le ipotesi della UNI EN ISO 52003-1 [21], che considera la temperatura dell'aria uniforme in tutta la zona termica e la conduzione termica nei componenti edilizi (escluso il terreno) come uni-dimensionale. Si aggiungono inoltre alcune ipotesi semplificative specificate nella UNI EN ISO 52016-1 [10]:

- la zona termica è considerata uno spazio chiuso delimitato da elementi di chiusura;
- le proprietà termo-fisiche dei materiali che compongono gli elementi della zona termica sono indipendenti dal tempo, ma non sono escluse proprietà dei componenti basate su un'attivazione;
- l'ambiente radiante esterno (cielo escluso) è alla stessa temperatura dell'aria esterna;
- la distribuzione spaziale della radiazione solare all'interno della stanza è uniforme e indipendente dal tempo;
- la distribuzione della massa di ciascun componente costruttivo è semplificata;
- le proprietà solari delle finestre non dipendono dall'angolo di incidenza della radiazione solare e si assume che la trasmissione di energia solare totale sia assimilata ad una trasmissione diretta all'interno della zona;
- la temperatura media radiante è calcolata come media ponderata sull'area delle temperature della superficie interna di ciascun componente;

- i coefficienti di scambio termico convettivo, sia sulla superficie esterna sia interna, e i coefficienti di scambio termico radiativo nell'infrarosso della superficie esterna degli elementi di chiusura esterna sono considerati invarianti nel tempo.

2.2.2 Procedura di calcolo

Esistono due tipi di calcolo dei carichi termici e dei fabbisogni: *di base* e *con impianto specifico*.

Il calcolo *di base* non tiene conto dell'influenza di uno specifico impianto di climatizzazione: si assumono condizioni ambientali standard e il riscaldamento/raffreddamento avviene in modo ideale con potenza disponibile illimitata totalmente convettiva e regime continuo.

Il calcolo *con impianto specifico* può prevedere potenze di riscaldamento o raffreddamento limitate, valori specifici per la frazione convettiva del sistema di riscaldamento e raffreddamento; perdite di calore recuperabili, profili di *set-point* di temperatura, limitazioni della stagione di riscaldamento o di raffreddamento; assenza di impianto di riscaldamento o raffreddamento.

Nel calcolo dei carichi termici di riscaldamento e raffreddamento e delle temperature possono verificarsi cinque possibili situazioni (si veda Figura 2.1):

- 1) La zona termica richiede riscaldamento e la potenza di riscaldamento non è sufficiente per raggiungere il *set-point*. Questo di solito accade nel periodo di ripresa (*boost period*).
- 2) La zona termica richiede riscaldamento e la potenza di riscaldamento è sufficiente. La temperatura interna è uguale al *set-point*.
- 3) La zona termica non richiede né riscaldamento né raffreddamento (condizioni di fluttuazione libera). Viene calcolata la temperatura interna.
- 4) La zona termica richiede raffreddamento e la potenza di raffreddamento è sufficiente. La temperatura interna è uguale al *set-point*.
- 5) La zona termica richiede raffreddamento e la potenza di raffreddamento non è sufficiente. La temperatura interna calcolata è superiore al *set-point*.

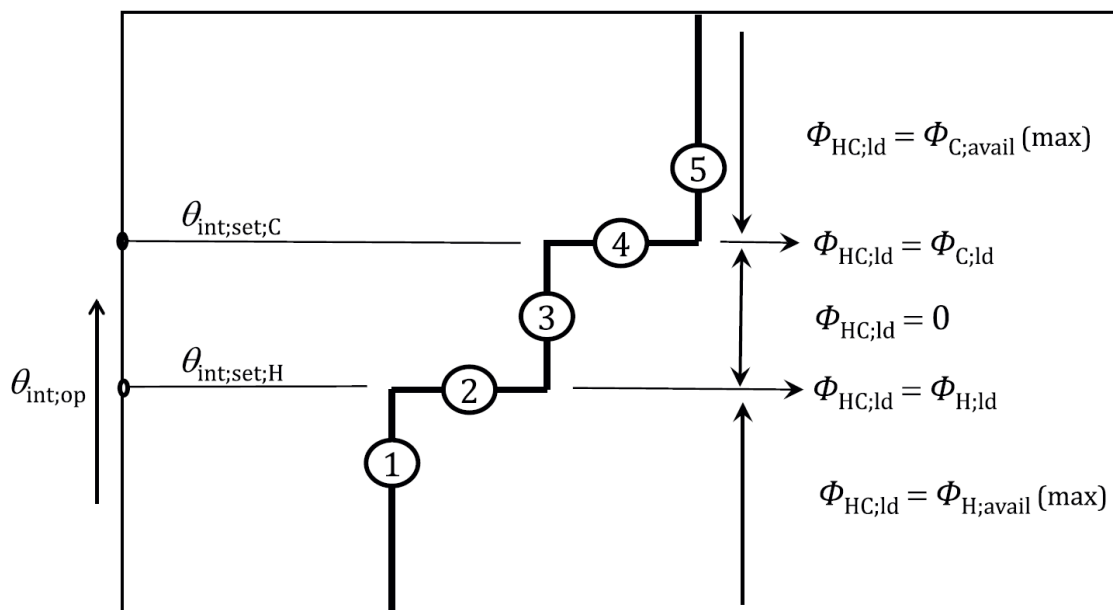


Figura 2.1. Controllo ambientale e determinazione dei carichi termici e della temperatura in una zona termica (fonte: UNI EN ISO 52016-1 [10]).

2.2.3 Bilancio di energia di una zona termica

Per quanto riguarda il bilancio di energia termica della zona, il metodo riportato nella norma è una rivisitazione del metodo a tre nodi (5R1C), già presente nella UNI EN ISO 13790 [22]. La differenza principale è che gli elementi costruttivi non sono aggregati ai parametri concentrati di zona, ma considerati separatamente.

Bilancio di energia a livello di zona termica

Il bilancio di energia per la zona ztc e l'intervallo di tempo t si scrive come:

$$\left[\frac{C_{f,ztc}}{\Delta t} + \sum_{eli=1}^{eln} (A_{eli} \cdot h_{ci;eli}) + \sum_{vei=1}^{ven} H_{ve;vei;t} + H_{tr;tb;ztc} \right] \cdot \theta_{f;a;ztc;t} - \sum_{eli=1}^{eln} (A_{eli} \cdot h_{ci;eli} \cdot \theta_{pli;eli;t})$$

$$+ \frac{C_{f,ztc}}{\Delta t} \cdot \theta_{f;a;ztc;t-1} + \sum_{vei=1}^{ven} (H_{ve;vei;t} \cdot \theta_{vei;t}) + H_{tr;tb;ztc} \cdot \theta_{e;a;t}$$

$$+ f_{f,c} \cdot \square_{f;ztc;t} + f_{sol,c} \cdot \square_{sol;ztc;t} + f_{H/C,c} \cdot \square_{HC;ztc;t}$$

Bilancio di energia a livello di elemento edilizio

Per il nodo $pli = pln$ della superficie che si affaccia sulla zona di calcolo ztc:

$$- (h_{pli-1;eli} \cdot \theta_{pli-1;eli;t}) + \left[\frac{\square_{pli;eli}}{\Delta t} + h_{ci;eli} + h_{ri;eli} \cdot \sum_{elk=1}^{eln} \left(\frac{A_{elk}}{A_{tot}} \right) + h_{pli-1;eli} \right] \cdot \theta_{pli;eli;t}$$

$$- h_{ci;eli} \cdot \theta_{f;a;ztc;t} - \sum_{elk=1}^{eln} \left(\frac{A_{elk}}{A_{tot}} \cdot h_{ri;eli} \cdot \theta_{pli;elk;t} \right)$$

$$+ \frac{\square_{pli;eli}}{\Delta t} \cdot \theta_{pli;eli;t-1} + \frac{1}{A_{tot}} \cdot \left[(1-f_{f,c}) \cdot \square_{f;ztc;t} + (1-f_{sol,c}) \cdot \square_{sol;ztc;t} + (1-f_{H/C,c}) \cdot \square_{HC;ztc;t} \right]$$

Per il nodo $pli = 1$ della superficie che si affaccia all'esterno:

$$\left(\frac{\square_{pli;eli}}{\Delta t} + h_{ce;eli} + h_{R;eli} + h_{pli;eli} \right) \cdot \theta_{pli;eli;t} - h_{pli;eli} \cdot \theta_{pli+1;eli;t}$$

$$+ \frac{\square_{pli;eli}}{\Delta t} \cdot \theta_{pli;eli;t-1} + (h_{ce;eli} + h_{R;eli}) \cdot \theta_{e;t}$$

$$+ a_{sol;pli;eli} \cdot (I_{sol;dif;eli;t} + I_{sol;dir;eli;t} F_{sh;obst;eli;t}) - \square_{sky;eli;t}$$

2.2.4 Modalità di discretizzazione degli elementi edilizi in nodi (modello RC)

Per elementi costruttivi opachi, il numero di nodi è 5 (nodo $pli = 1, \dots, 5$), rispettivamente un nodo di superficie esterno, tre nodi all'interno dell'elemento di costruzione e un nodo di superficie interno (rivolto verso la zona). Si veda a tal proposito la Figura 2.2, che rappresenta il modello a parametri concentrati di un generico componente dell'involucro.

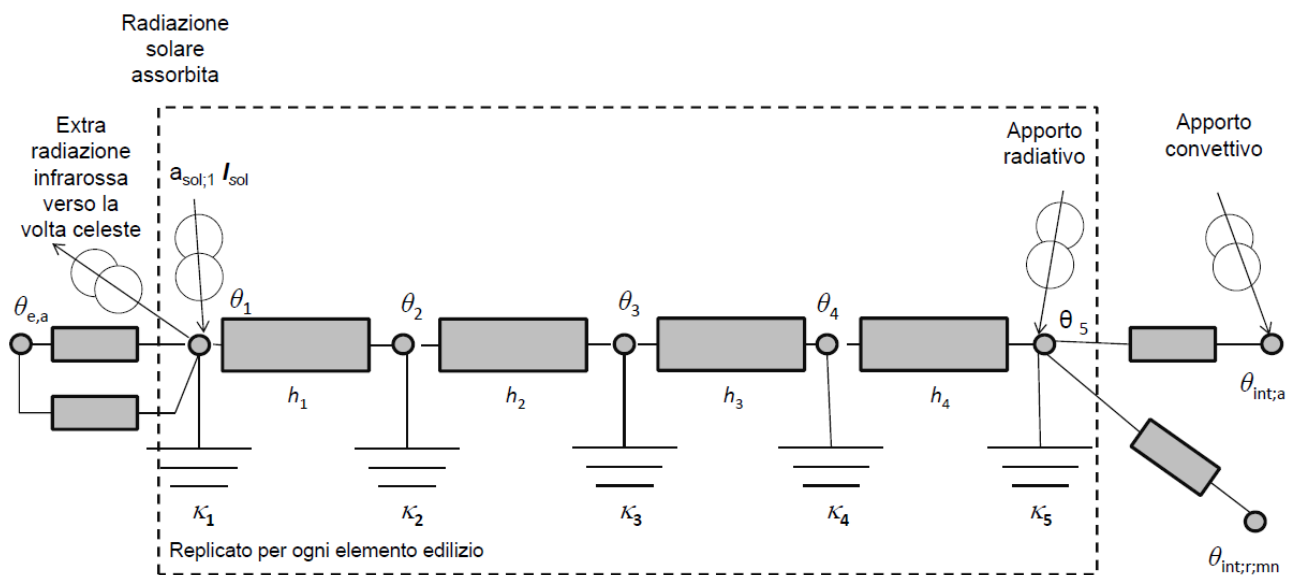


Figura 2.2. Modello a parametri concentrati per un componente di involucro opaco (fonte: UNI EN ISO 52016-1 [10]).

La conduttanza tra i nodi pli e il nodo $pli-1$ è data da:

$$h_{pl4;eli} = h_{pl1;eli} = \frac{6}{R_{c;eli}}$$

$$h_{pl2;eli} = h_{pl3;eli} = \frac{3}{R_{c;eli}}$$

dove pli indica lo strato, eli indica l'elemento i -esimo.

A seconda della classe di costruzione rispetto alla distribuzione della massa nella costruzione, la capacità termica areica del nodo pli dell'elemento opaco eli è suddivisa sui nodi.

Elementi a contatto con il terreno

Anche per gli elementi a contatto con il suolo il numero di nodi è 5; il componente definito dal modello R-C è una combinazione del pavimento e di uno strato di terreno ad esso adiacente e i coefficienti di scambio termico della superficie esterna sono sostituiti dalla conduttanza termica dello strato virtuale del terreno.

Componenti trasparenti

Per i componenti trasparenti il numero di nodi è pari a 2. Viene inoltre trascurata la massa del componente.

2.3 L'Appendice Nazionale italiana della UNI EN ISO 52016-1

Nell'Appendice italiana della UNI EN ISO 52016-1 [13] sono indicati, in accordo con quanto previsto dalla norma stessa, i valori di input predefiniti e le procedure di calcolo scelte per la sua applicazione nazionale. Le principali differenze ed assunzioni riferite al metodo orario rispetto all'Appendice B della UNI EN ISO 52016-1 [10] sono indicate nella Tabella 21.

Tabella 2.1. Principali differenze tra l'Appendice Nazionale italiana e l'appendice B (parametri di default) della norma UNI EN ISO 52016-1 [10].

N°	Tabelle di riferimento	Principali differenze tra l'Appendice Nazionale e l'Appendice B della UNI EN ISO 52016-1
1	NA.4 –B.4	Non sono ammesse zone termiche non climatizzate della tipologia <i>internal</i> , sono inoltre forniti valori predefiniti dei coefficienti b_{ztu}
2	NA.5 –B.5	Non è ammesso un coefficiente predefinito per la definizione degli scambi termici per ventilazione con l'ambiente esterno per le zone termiche non climatizzate adiacenti
3	NA.6 –B.6	Non è ammessa la procedura di calcolo della media spaziale della temperatura di <i>set-point</i> per gli edifici residenziali
4	NA.7 –B.7	Sono ammesse ambedue le opzioni di calcolo: zone termicamente accoppiate o disaccoppiate
5	NA.10/NA.10-bis/NA.10-ter – B.10	È presentato un metodo sostitutivo per la conversione delle proprietà dei componenti edilizi secondo il modello R-C
6	NA.11 –B.11	È presente un ampio numero di opzioni nella definizione della frazione convettiva per differenti terminali di emissione
7	NA.12 –B.12	Non è ammessa l'assunzione di valori predefiniti delle proprietà termiche delle partizioni interne
8	NA.13 –B.13	Non è ammesso l'uso delle classi semplificative di massa per la caratterizzazione termica dei componenti opachi
9	NA.14 –B.14	Non è ammesso l'uso di valori predefiniti della capacità termica areica dei componenti opachi
10	NA.18 –B.18	È specificata una formula per il calcolo del fattore di vista verso la volta celeste di superfici diversamente inclinate
11	NA.19 –B.19	È specificata una formula per il calcolo della differenza di temperatura tra l'ambiente esterno e la volta celeste
12	NA.21 –B.21	È modificato il valore predefinito per il fattore telaio dei componenti edilizi trasparenti
13	NA.22 –B.22	Sono indicate le procedure per il calcolo dei fattori correttivi dei parametri di trasmissione solare dei componenti trasparenti in funzione dell'angolo di incidenza della radiazione solare diretta

Nell'Appendice Nazionale [13] (con riferimento ai punti 5, 10, 11, 13 della Tabella 2.1) vengono presentate nuove procedure di calcolo, di seguito esplicitate.

Componenti opachi -Proprietà dei nodi secondo l'approccio nazionale (punto 5)

Il metodo descritto nell'Appendice Nazionale [13] opera una diversa discretizzazione della parete in nodi, in modo più aderente alle caratteristiche fisiche degli strati (si veda la Figura 2.3).

Si applica la procedura seguente:

- Per lo strato j -esimo il numero di Fourier è definito come $Fo_j = \lambda_j / (\rho_j \cdot c_j) / d_j^2$.
- Il numero di Fourier di riferimento (Fo_{ref}) è fissato pari a 0,5.
- Il numero di nodi capacitivi nello strato j -esimo è calcolato come:

$$Nc n_j = \max \left\{ 1; \left\lfloor \sqrt{\frac{Fo_{ref}}{Fo_j}} + 0,999999 \right\rfloor \right\}$$

$$\sum_{j=1}^N Ncn_j$$

- d) Il numero totale di nodi capacitivi è calcolato come
- e) Il numero di nodi (p/n) è uguale al numero totale di nodi capacitivi più due.
- f) ρ_j , c_j sono rispettivamente la densità [kg/m^3] e la capacità termica per unità di massa [$\text{J}/(\text{kg K})$] del materiale dello strato j -esimo dell'elemento edilizio.
- g) $R_{c;j,eli}$ è la resistenza conduttiva [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$] dello strato j -esimo dell'elemento edilizio, calcolata come d_j/λ_j dove d_j è lo spessore dello strato [m], e λ_j è la conduttività termica del materiale dello strato [$\text{W}/(\text{m K})$].
- h) $\Delta x_j = d_j/Ncn_j$ è lo spessore [m] della porzione di strato associata a ciascun nodo capacitivo nello strato j -esimo dell'elemento edilizio.
- i) $\rho_j \cdot c_j \cdot \Delta x_j$ è la capacità termica areica [$\text{J}/\text{m}^2 \text{K}$] associate a ciascun nodo capacitivo nello strato j -esimo dell'elemento edilizio.
- j) $R_{c;j,eli}/Ncn_j$ è la resistenza conduttiva [$\text{m}^2 \text{K}/\text{W}$] della porzione di strato associata a ciascun nodo capacitivo nello strato j -esimo dell'elemento edilizio, calcolata come $\Delta x_j/\lambda_j$.
- k) Se uno strato interno è un'intercapedine d'aria, la capacità termica areica $\kappa_{pli,eli}$ deve essere posta pari zero.

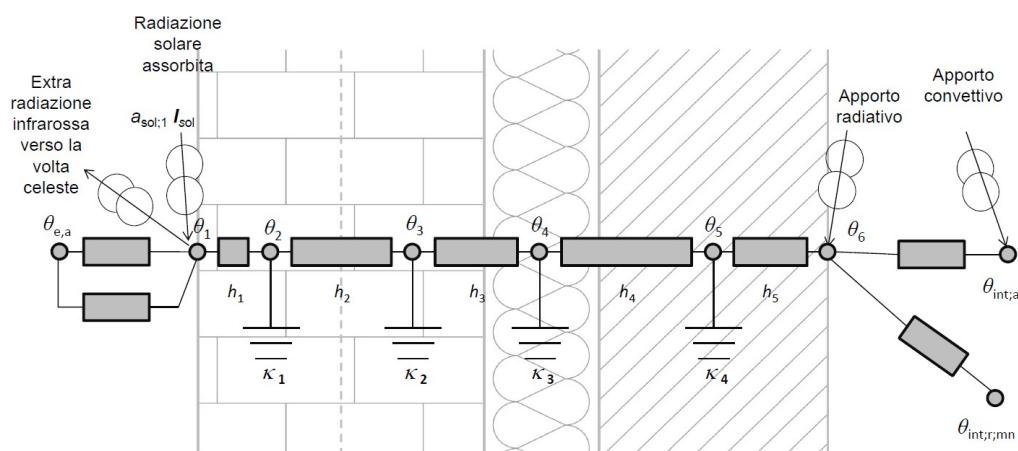


Figura 2.3. Modello a parametri concentrati per un componente di involucro opaco (fonte: UNI EN ISO 52016-1 – Appendice Nazionale [13]).

Fattore di vista per superfici comunque inclinate (punto 10)

Il metodo descritto nell'Appendice Nazionale [13] propone una formula aggiuntiva necessaria alla definizione del fattore di vista per superfici non orizzontali o verticali, per le quali sono invece definiti dei valori predefiniti.

$$F_{sky} = (1 + \cos \beta_{eli})/2$$

dove:

- β_{eli} è l'inclinazione del componente sul piano orizzontale [°].

La differenza di temperatura tra l'ambiente esterno e la volta celeste (punto 11)

In sostituzione dei valori costanti definiti dall'Appendice B [10], nell'Appendice italiana [13] è presentata la seguente formula per il calcolo orario della differenza tra la temperatura esterna e la temperatura della volta celeste:

$$\Delta\theta_{sky;t} = \theta_{e;a;t} - \left(18 - 51,6 \cdot e^{\frac{-p_{e;t}}{1000}} \right)$$

dove:

- $\theta_{e;a;t}$ è la temperatura dell'aria esterna [°C];
- $p_{e;t}$ è la pressione di vapore esterna [Pa].

Sono di seguito presentate le variazioni derivate da tale procedura, su base annua per le località di Milano e Palermo.

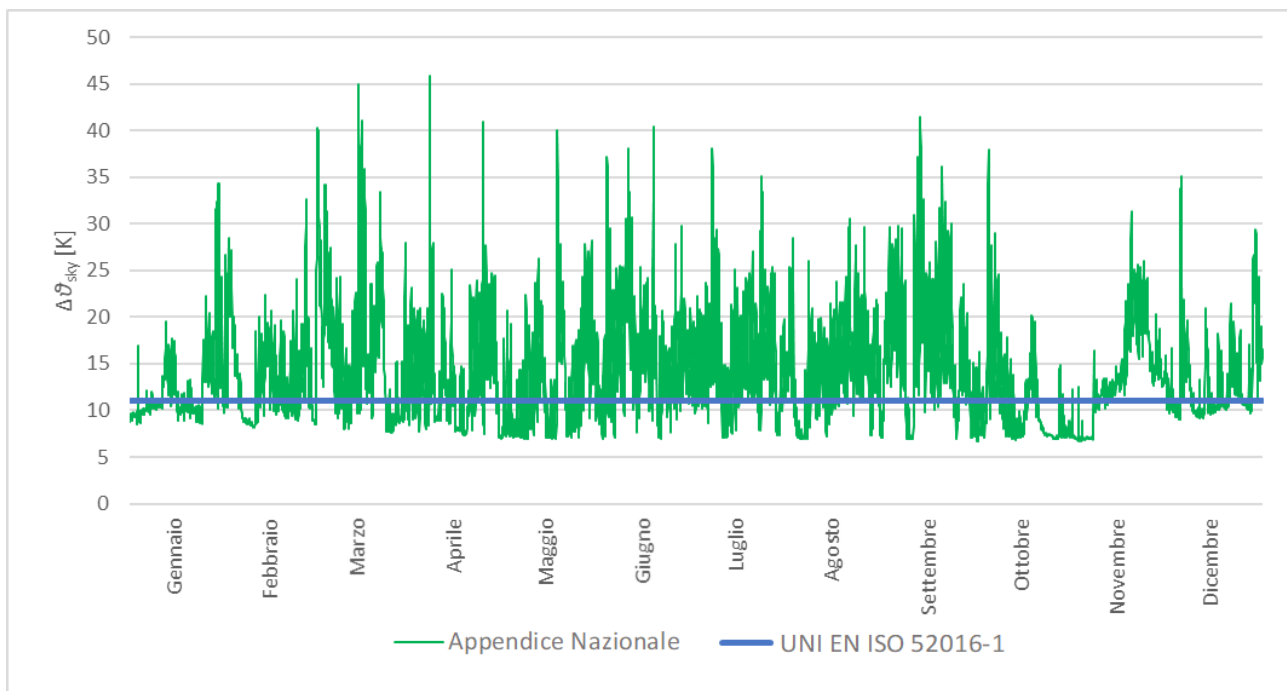


Figura 2.4 - Variazione annuale del $\Delta\theta_{sky,t}$ (Milano).

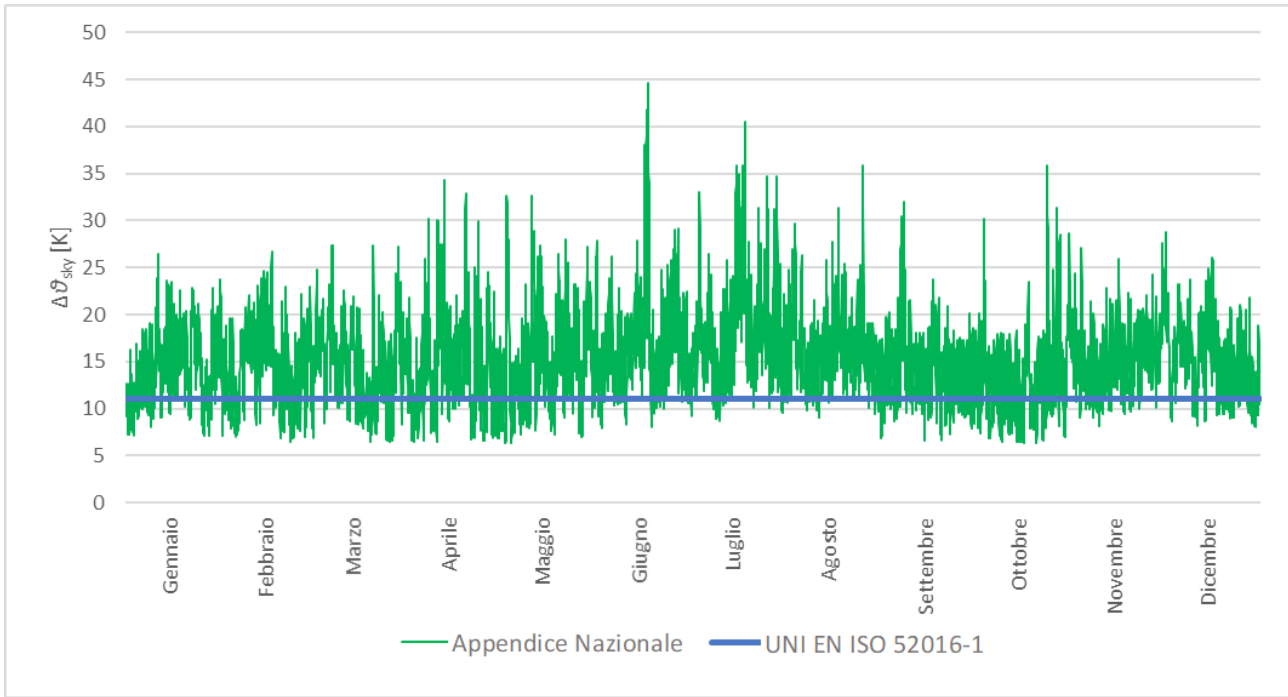


Figura 2.5 - Variazione annuale del $\Delta\theta_{sky,t}$ (Palermo).

I fattori correttivi associati ai parametri di trasmissione solare dei componenti trasparenti (punto 13)

Nell'Appendice Nazionale alla norma [13] viene definito il calcolo del fattore correttivo della trasmissione solare per i componenti vetrati F_w , definito su base oraria come di seguito indicato.

$$F_w = \frac{F_{w,dif} \cdot I_{sol,dif;wi;t} + F_{w,dir} \cdot I_{sol,dir;wi;t} \cdot F_{sh;obst;wi;t}}{F_{w,dif} + F_{w,dir} \cdot F_{sh;obst;wi;t}}$$

$$F_{w,dir} = 1 - 8 \cdot z^{5,2+0,7 \cdot q} - (0,25/q) \cdot z^2 + (7+0,25/q) \cdot z^{[(5,26+0,06 \cdot p)+(0,73+0,04 \cdot p) \cdot q]}$$

$$F_{w,dif} = 0,8$$

dove:

- $I_{sol,dif;wi;t}$ è l'irradianza solare diffusa incidente sulla superficie vetrata al tempo t [W/m²];
- $I_{sol,dir;wi;t}$ è l'irradianza solare diretta incidente sulla superficie vetrata al tempo t [W/m²];
- $F_{sh;obst;wi;t}$ è il fattore correttivo riferito all'ombreggiamento del componente finestrato al tempo t [-];
- z è l'angolo di incidenza della radiazione solare normalizzato rispetto all'angolo retto [-];
- q è un coefficiente di calcolo riferito alla tipologia di rivestimento delle lastre del componente finestrato [-];
- p è il numero di lastre presenti nel componente finestrato.

Di seguito vengono rappresentate le variazioni medie mensili del fattore di esposizione rispetto al valore di riferimento tratto dalla UNI EN ISO 52016-1, considerando una finestra con vetro singolo senza rivestimenti, per gli orientamenti cardinali nelle città di Milano e Palermo.

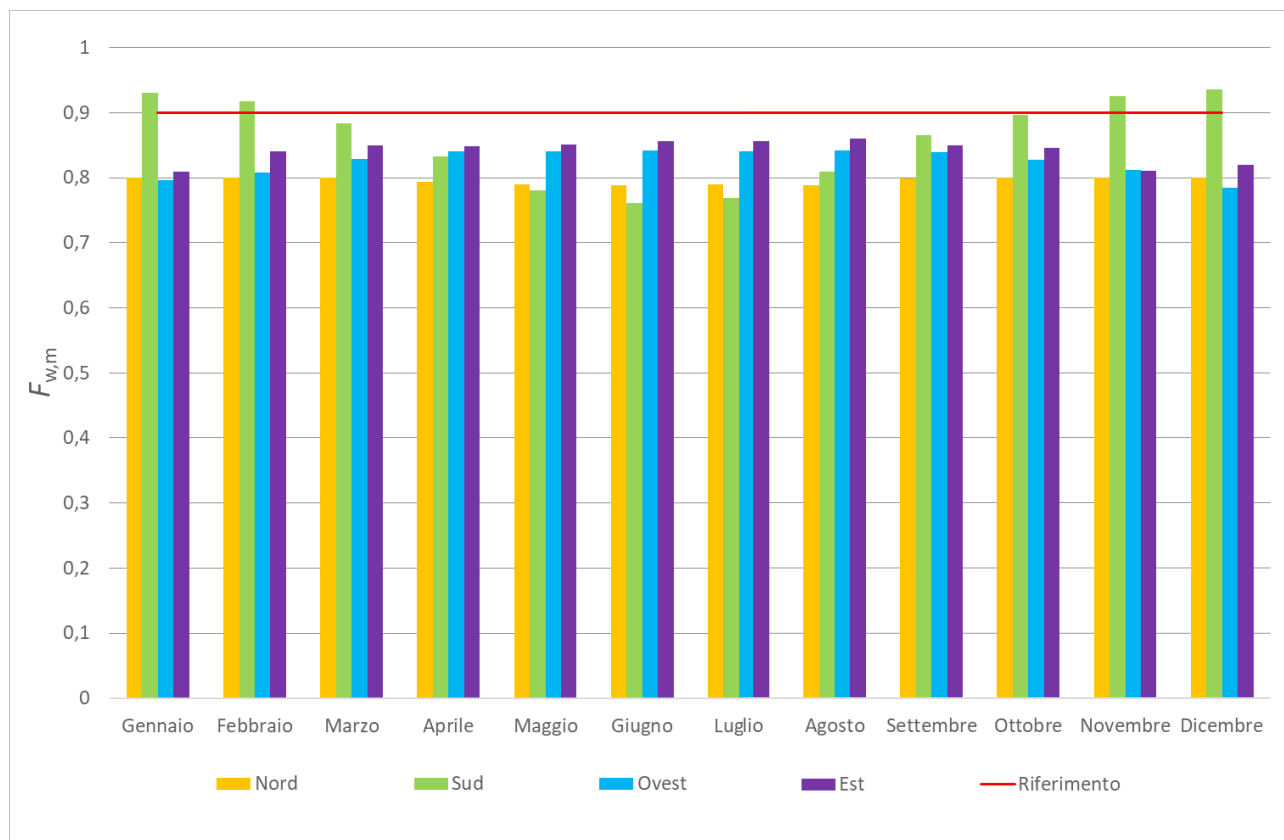


Figura 2.6 - Confronto dei fattori di esposizione mensili (Milano).

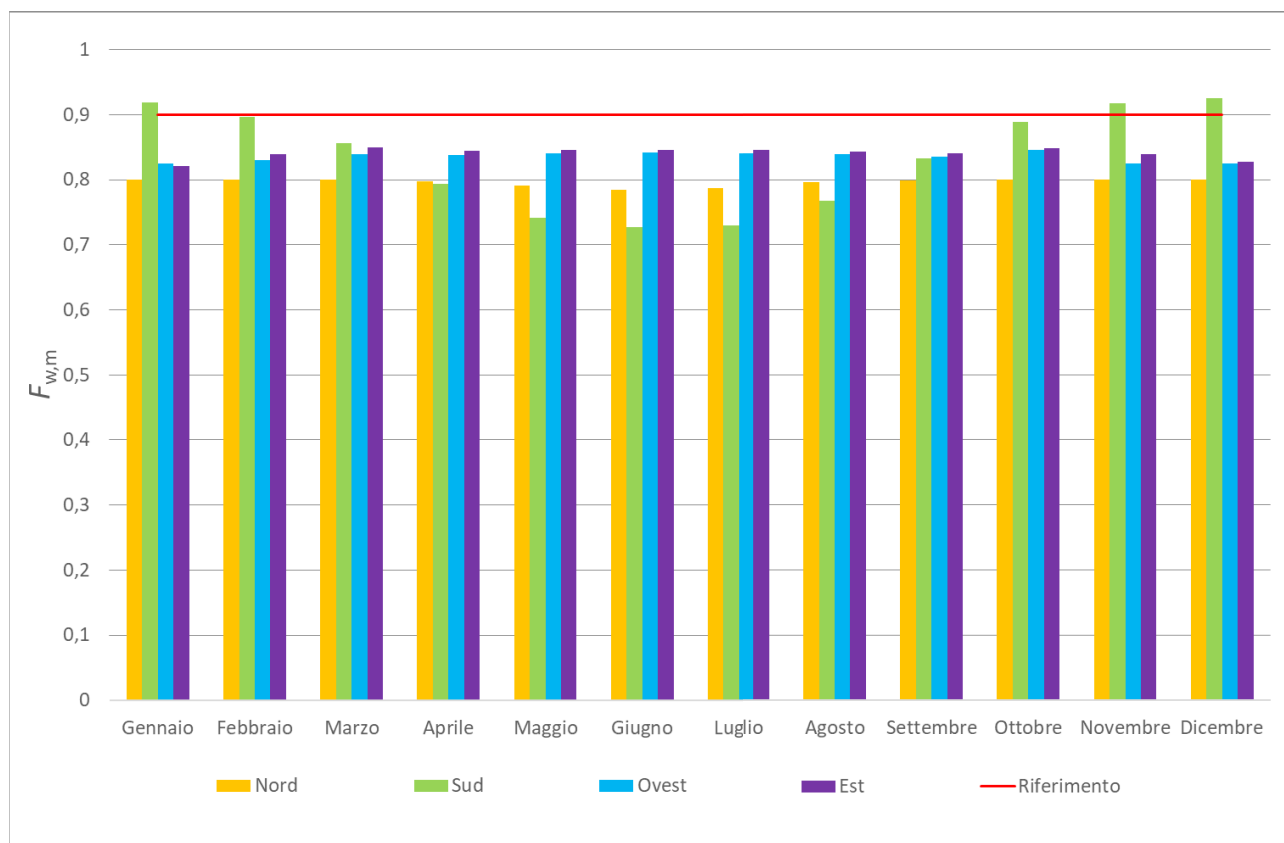


Figura 2.7 - Confronto dei fattori di esposizione mensili (Palermo).

2.4 Calcolo del costo globale

Il Regolamento prescrive che i calcoli economici siano effettuati in accordo con la norma UNI EN 15459-1 [12]. Tale norma distingue tra due metodologie di calcolo: la rendita finanziaria (*annuity cost*) e il costo globale (*global cost*), metodologia che il Regolamento prescrive di seguire.

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

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

Periodo di calcolo

Il periodo di calcolo per la determinazione del costo globale di ciascun edificio è stato imposto pari a 30 anni. Nell'attuale applicazione nazionale della *cost-optimal methodology*, l'anno di partenza per il calcolo è stato fissato nell'anno 2018 in conformità con la precedente ottimizzazione; pertanto, si assume che nel 2017 venga completata la realizzazione o la ristrutturazione dell'edificio e a partire dal 2018 comincino a incidere i costi annui (costi energetici, manutenzione, etc.).

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 28.

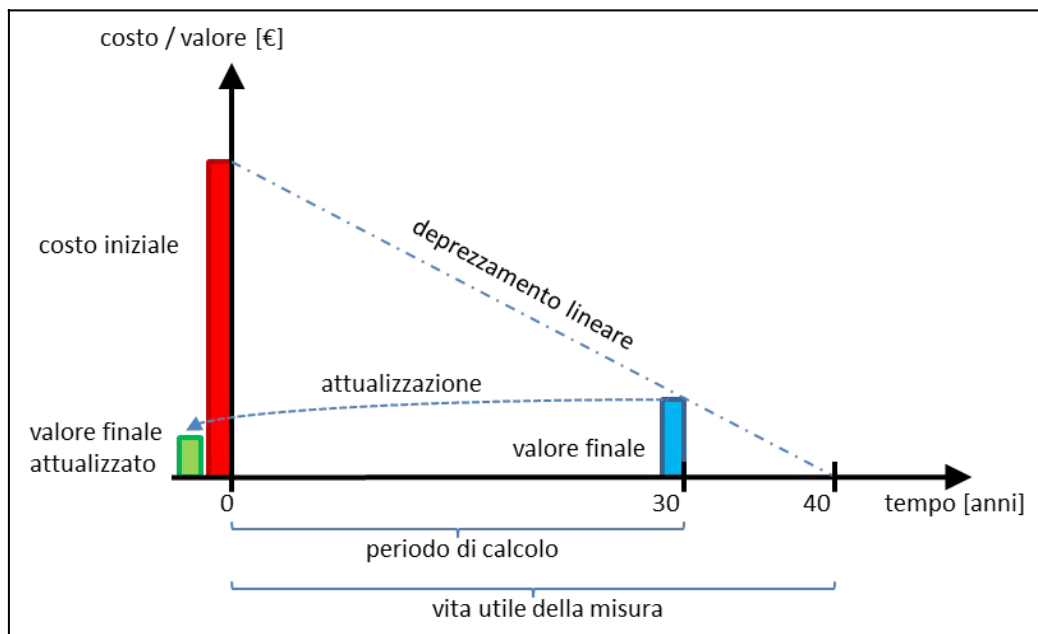


Figura 2.8 Esempio di valutazione del valore finale di una misura.

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 2.9. 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.

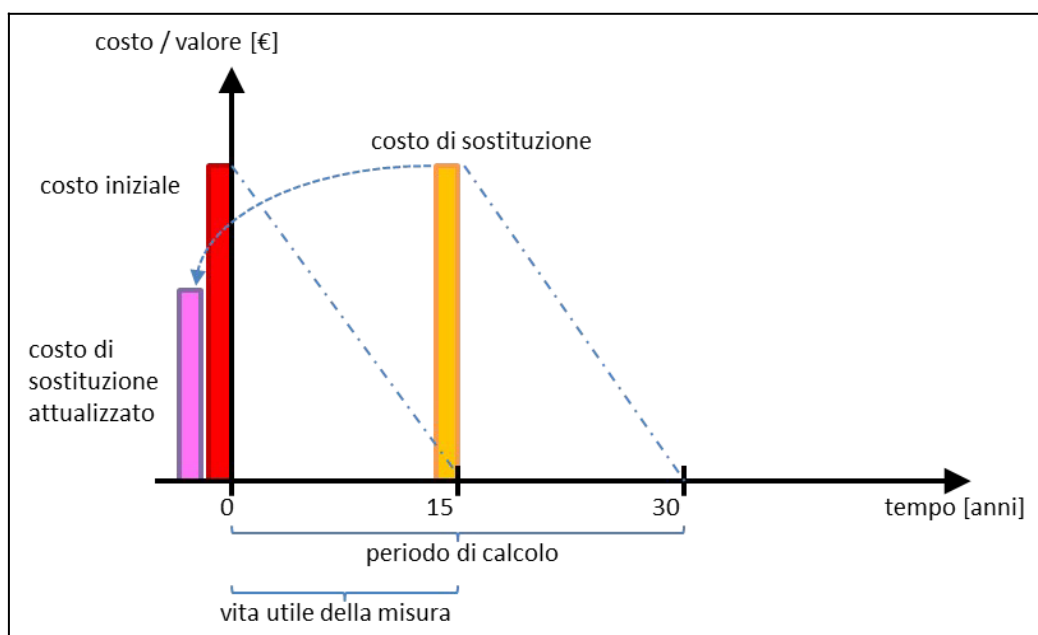


Figura 2.9 Esempio di valutazione del costo di sostituzione per una misura.

In Figura 2.10 è mostrato il caso più complesso in cui l'elemento sostituito ha una vita che eccede il periodo di calcolo, per cui è da calcolarsi il valore residuo della misura sostituita e attualizzare sia il costo del valore residuo che della misura sostituita.

Valutazioni analoghe sono da farsi anche per eventuali costi di smaltimento, che vanno attualizzati come tutti gli altri flussi di cassa. Più delicata da trattare è la situazione in cui il costo di smaltimento interviene per una misura la cui vita utile eccede il periodo di calcolo. Diventa, allora, necessario attualizzare una prima volta il costo di smaltimento dal termine della vita utile alla fine del periodo di calcolo e successivamente attualizzare tale valore all'anno di partenza del periodo di calcolo (a tal proposito si veda la Figura 2.11). 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.

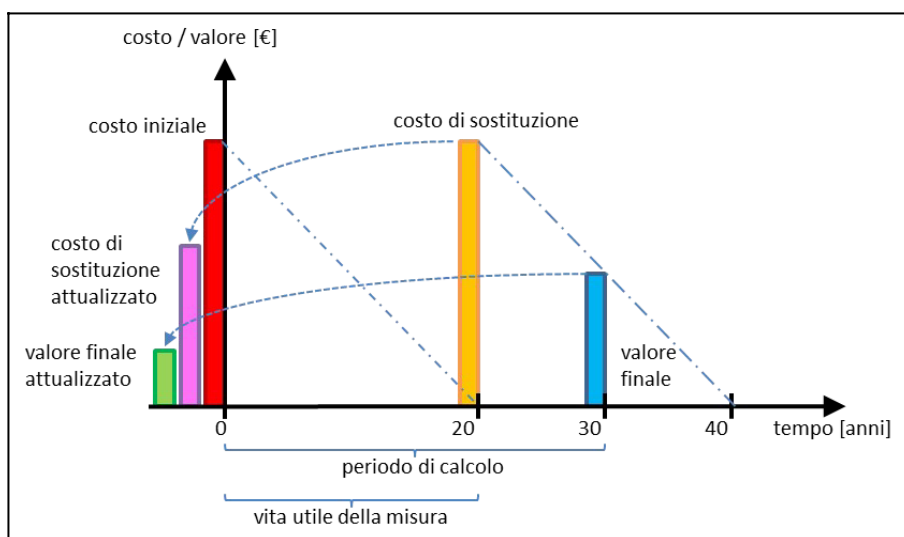


Figura 2.10 Esempio di valutazione del valore finale nel caso di sostituzione per una misura.

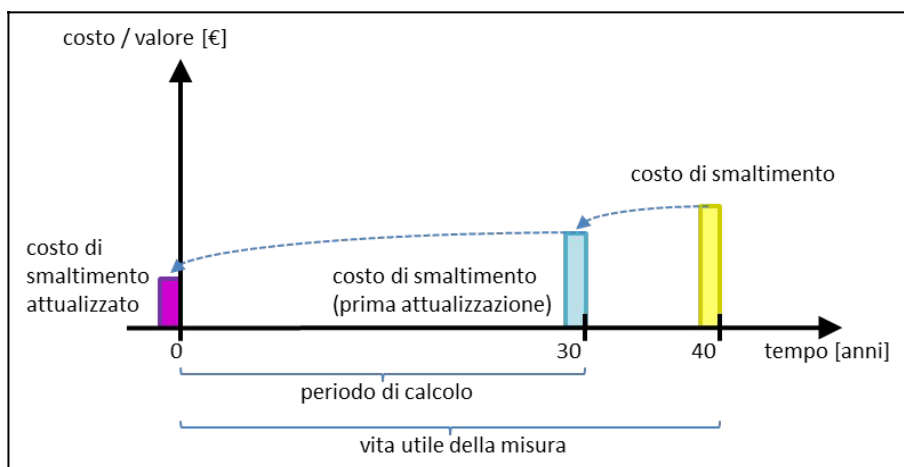


Figura 2.11 Esempio di attualizzazione del costo di smaltimento.

Lo schema generale delle voci di costo indicato nel Regolamento è mostrato nella Figura 2.12. Tuttavia, lo scopo del calcolo non è determinare il costo dell'edificio in sé, ma confrontare il costo globale risultante dall'applicazione di misure di efficienza energetica o alimentate da fonti rinnovabili. Per questa ragione non sono presi in conto i flussi di cassa dovuti a elementi dell'edificio che non hanno influenza sulla prestazione energetica dell'edificio e che non sono legati direttamente o indirettamente all'adozione di misure. A titolo di esempio non esaustivo, non sono rilevanti ai fini della *cost-optimal methodology* i costi del terreno sui cui è costruito l'edificio, delle fondazioni, della pavimentazione e dell'arredamento. Devono, invece, essere considerati i seguenti flussi di cassa:

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

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

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

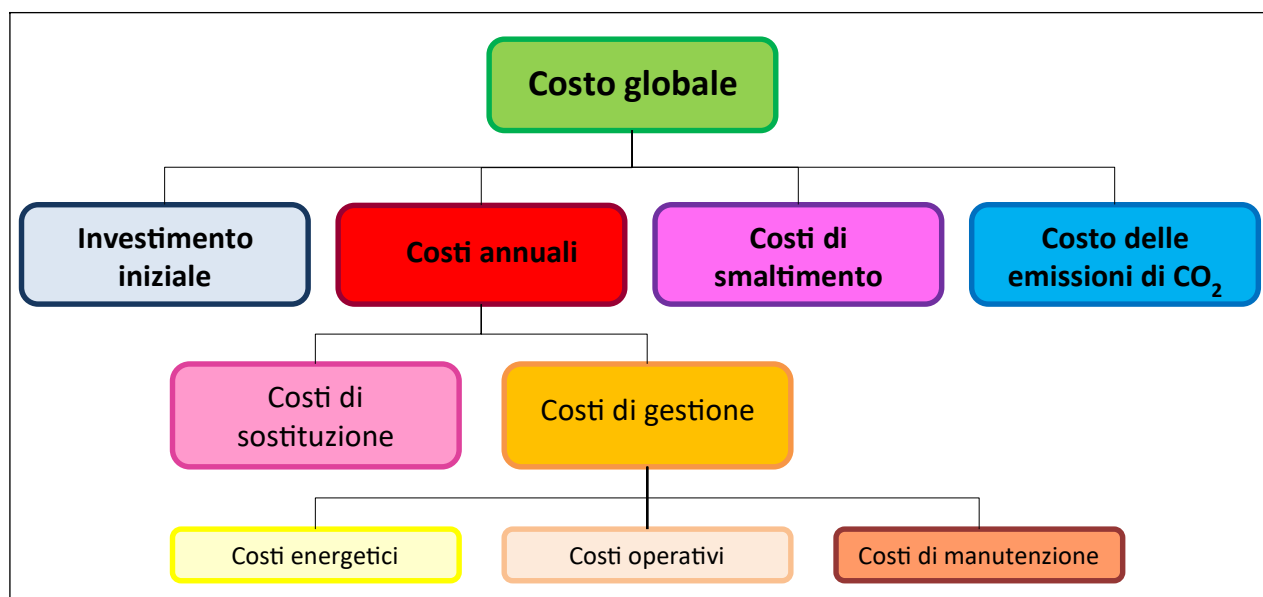


Figura 2.12 Schema delle categorie di costi (UNI EN 15459-1 [12]).

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

Prospettiva finanziaria e prospettiva macroeconomica

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

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

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

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

Il calcolo, effettuato nella presente attività nella prospettiva finanziaria, è stato affiancato da un'analisi parametrica (Sezione 6.5), in cui le possibili variazioni di costo ammissibili sono state raggruppate in quattro categorie così descritte: costi di investimento per la riqualificazione dell'involucro, costi di investimento per la riqualificazione degli impianti, costo dei vettori energetici e variazione in percentuale assoluta del tasso di interesse reale.

2.5 Procedura di ottimizzazione

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

A tal fine è stata sviluppata una macro di ottimizzazione che si interfaccia con i fogli per il calcolo del fabbisogno di energia (UNI/TS 11300-1, -2, -3, -4 e -5 [5]-[9] e UNI EN ISO 52016-1 [10]) 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 ad effettuare i calcoli energetici. Rispetto al *tool* precedente, la macro di ottimizzazione è stata adattata al fine di ammettere l'ipotesi di calcolo del fabbisogno energetico di riscaldamento e raffrescamento secondo le procedure mensili ed orarie, rispettivamente contenute nelle norme UNI/TS 11300-1 [5] e UNI EN ISO 52016-1 [10].

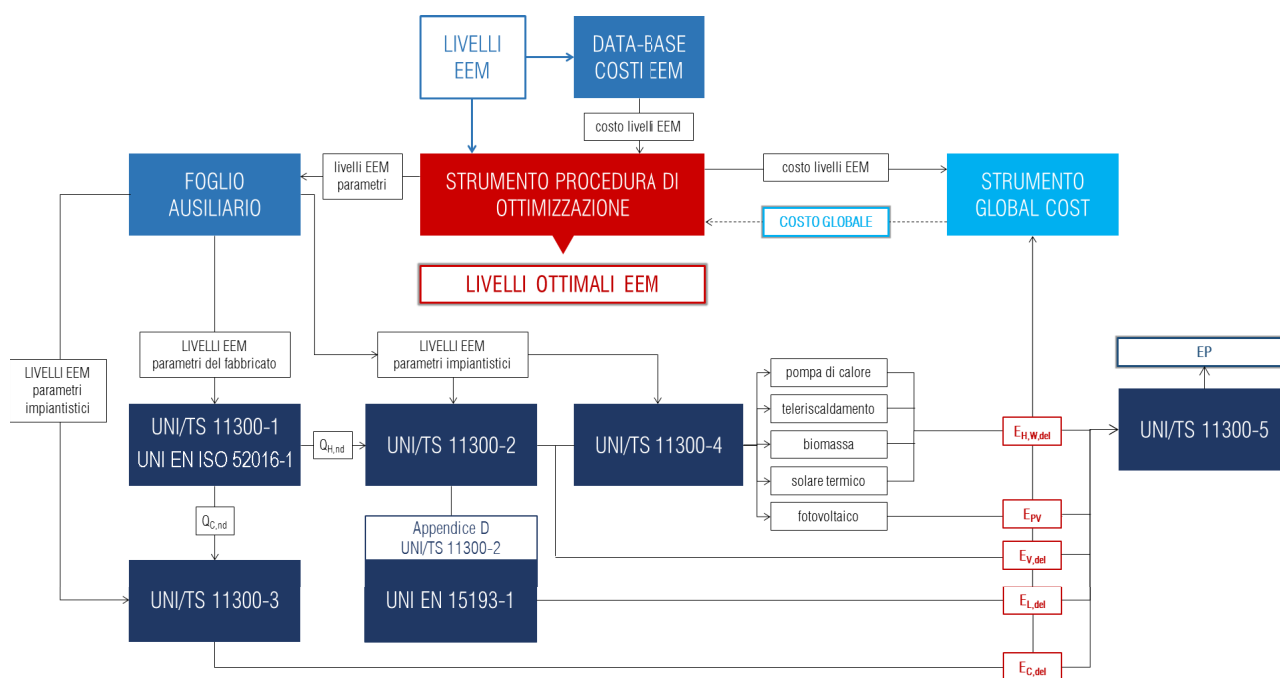


Figura 2.13 La procedura di ottimizzazione e il collegamento tra i passaggi della procedura calcolo.

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

Si assume come punto di partenza del calcolo iterativo di ottimizzazione un pacchetto di riferimento di opzioni energetiche efficienti; il valore attuale di ciascuna serie di opzioni energetiche efficienti è definita rispetto al set di riferimento. Successivamente la procedura consente di individuare una successione di configurazioni (pacchetti di interventi) che costituiscono "ottimi parziali". Per passare da un ottimo parziale al successivo vengono modificati, uno alla volta, tutti i parametri che caratterizzano i livelli di ciascuna misura di efficienza energetica. Tra tutte le configurazioni testate, l'ottimo parziale successivo è quello che consente la maggiore riduzione del costo globale. In Figura 2.14 si riporta il *flow-chart* della procedura di ottimizzazione.

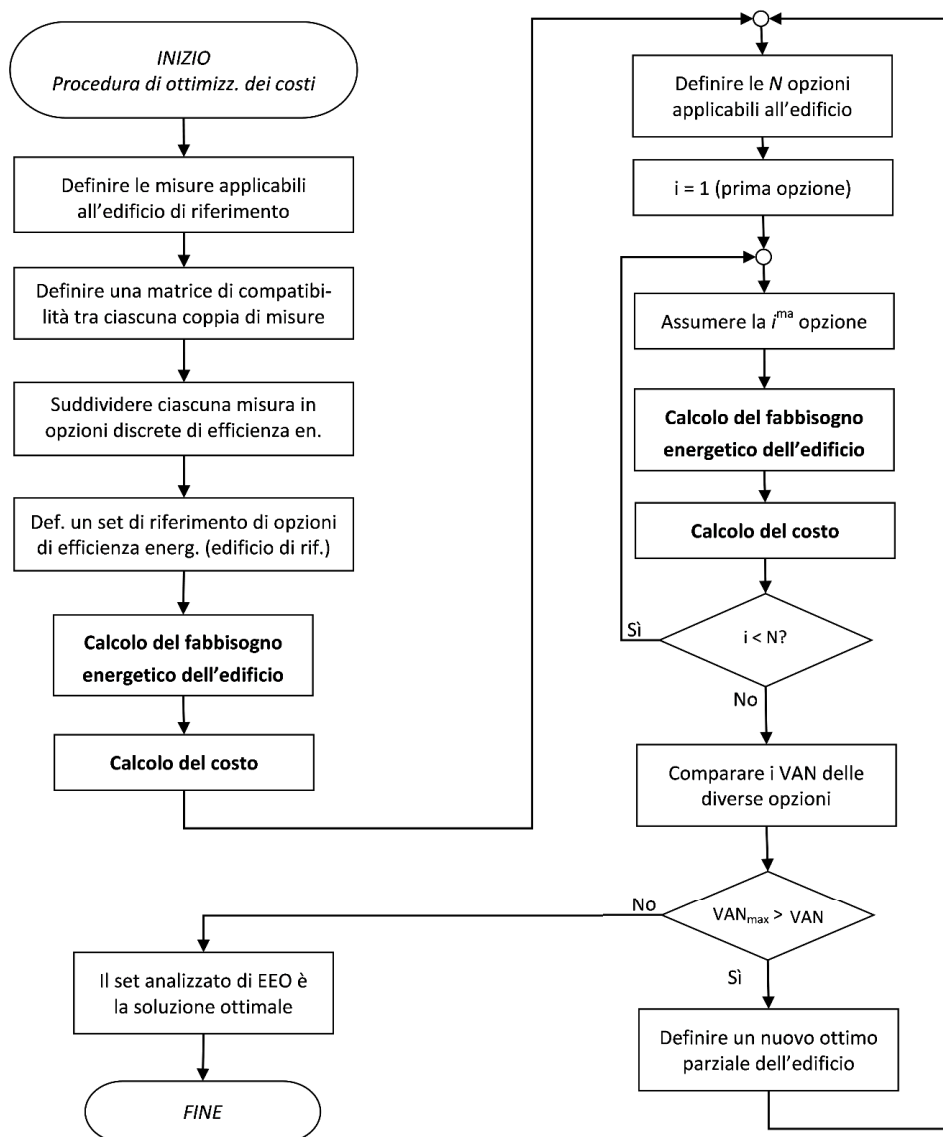


Figura 2.14 Flow-chart della procedura di ottimizzazione.

Nelle successive figure si riportano alcuni esempi di rappresentazione dei risultati. La Figura 2.15 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 di efficienza energetica 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.

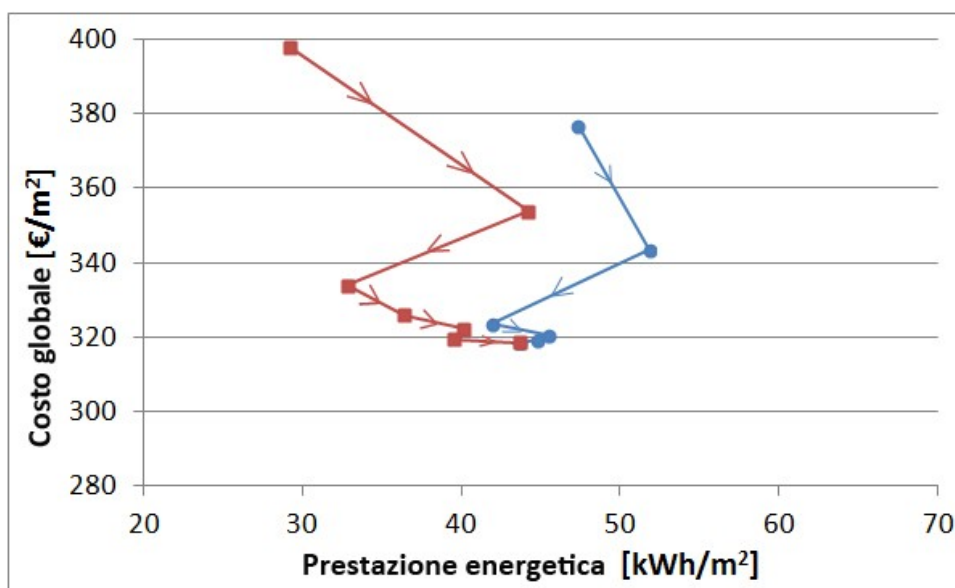


Figura 2.15 Percorso di ottimizzazione per due differenti scenari iniziali.

La Figura 2.16 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 della Figura 2.15. Il sesto ottimo parziale corrisponde al livello ottimale finale.

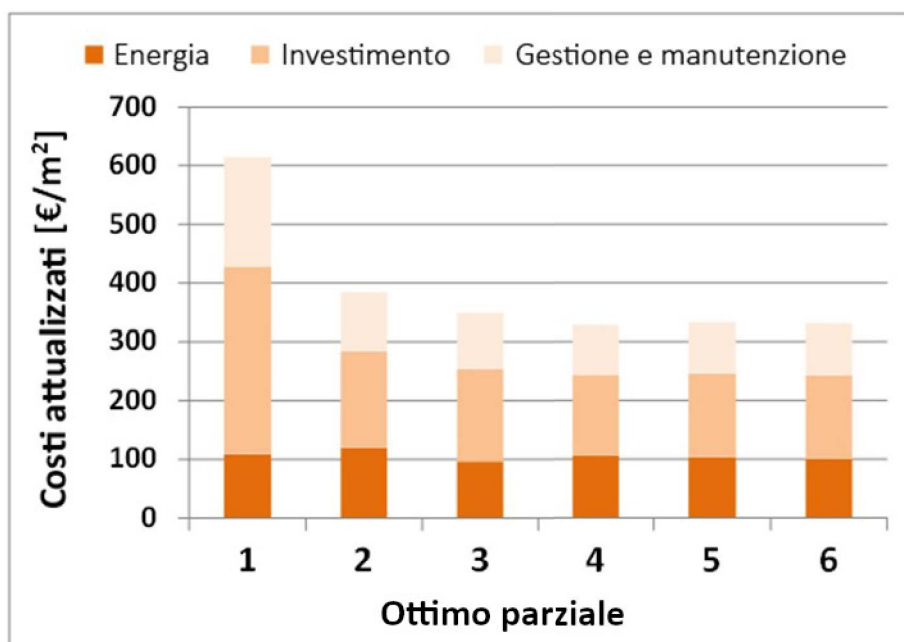


Figura 2.16 Costi attualizzati dei successivi ottimi parziali in un processo di ottimizzazione.

Applicando differenti scenari iniziali al processo di ottimizzazione, si ottiene quanto riportato in Figura 2.17: i punti più bassi corrispondono allo scenario per il quale si ottiene il minore costo globale, mentre i corrispettivi valori di energia primaria costituiscono un "intervallo ottimale".

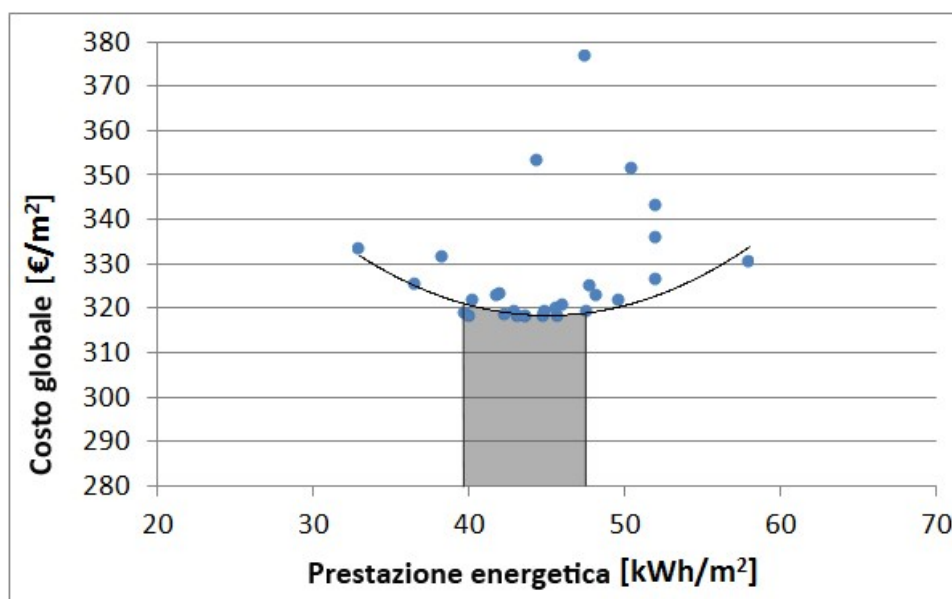


Figura 2.17 Intervallo del livello ottimale in funzione dei costi.

3 Descrizione degli edifici di riferimento

I contenuti presentati in questo capitolo sono tratti dal report inerente l'aggiornamento della metodologia comparativa del 2018 [18].

Ai fini della procedura di calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica, così come richiesto all'allegato III della Direttiva 2010/31/UE [15] e all'allegato I del Regolamento delegato (UE) N. 244/2012 della Commissione del 16 gennaio 2012 [17], gli Stati Membri sono tenuti a definire edifici di riferimento che siano rappresentativi del parco immobiliare.

Gli edifici di riferimento possono essere reali esempi di edifici più diffusi all'interno di una data categoria, oppure archetipi (edifici virtuali), rappresentativi di una data categoria ma non comunque realmente esistenti [2].

Secondo le Linee Guida del Regolamento delegato (UE) N. 244/2012 [17], si possono utilizzare le due diverse modalità a seconda del tipo di categoria di edificio, o adattare cataloghi di banche dati esistenti degli edifici di riferimento, ispirandosi a lavori già realizzati, come ad esempio *TABULA – Typology approach for building stock energy assessment* («Approccio tipologico per la valutazione energetica del parco immobiliare») [2], ASIEPI [23] ed EPISCOPE [24].

In particolare, *TABULA* [2] è un progetto nell'ambito del programma *Intelligent Energy Europe (IEE)* finalizzato a creare una struttura armonizzata sulla tipologia edilizia in Europa. La classificazione del parco edilizio residenziale esistente è basata sulla definizione di “edifici tipo” nazionali, in funzione del periodo di costruzione, la geometria e le condizioni climatiche. Ogni tipologia edilizia è caratterizzata da dimensioni, fattori di forma, proprietà termo-fisiche (es. trasmittanza termica dei componenti), efficienza degli impianti di riscaldamento ed altri indicatori energetici.

Il progetto europeo *EPISCOPE (Energy Performance Indicator Tracking Schemes for the Continuous Optimisation of Refurbishment Processes in European Housing Stocks)* [24] è il *follow-up* del progetto *TABULA* [2]. 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* [24] è quello di rendere i processi di riqualificazione energetica nel settore immobiliare europeo più trasparenti ai fini di una maggiore efficacia nel raggiungimento degli obiettivi di contenimento dei consumi energetici, e che le azioni correttive o di miglioramento possano essere applicate in tempo utile, se necessario.

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

- abitazioni monofamiliari;
- condomini residenziali;
- edifici ad uso uffici;
- altre categorie di edifici non residenziali per i quali esistono requisiti minimi specifici di rendimento (vedi elenco nell'allegato I punto 5 della direttiva 2010/31/UE [15]).

Per l'applicazione italiana si è quindi optato per la definizione di edifici virtuali (uno nuovo e due esistenti di diverse epoche), situati in due zone climatiche (B ed E, ai sensi del D.P.R. 412/93 [25]), per quattro tipologie edilizie (abitazione monofamiliare, piccolo condominio, grande condominio, edificio ad uso ufficio). Gli edifici di riferimento sono gli stessi analizzati nelle precedenti attività: le caratteristiche specifiche di ciascun edificio sono riportate come allegato in [11] e [18].

Come banca dati si è fatto riferimento al progetto *TABULA* [2] per gli edifici residenziali della zona climatica E, mentre per gli edifici ad uso ufficio si sono utilizzate tipologie definite da ENEA [26].

La classificazione dei sistemi impiantistici è stata effettuata sulla base dei dati dell'indagine CRESME [4] per ENEA in funzione della tipologia di sistema di generazione, del sottosistema di emissione e del sistema di regolazione della temperatura per gli impianti di riscaldamento, mentre per quelli di climatizzazione estiva si è considerata la tipologia di impianto e il sistema di regolazione.

Per quanto riguarda il parco edilizio italiano, le tipologie degli edifici residenziali, ad uso ufficio e ad uso scolastico, per le zone climatiche B ed E, nuovi ed esistenti, sono riportate in Tabella 3.2; nelle Sezioni 3.1, 3.2 e 3.3 sono infine presentati i principali dati geometrici e costruttivi necessari per lo sviluppo della procedura di calcolo.

Tabella 3.2 Tipologie di edifici individuate per l'applicazione della metodologia *cost-optimal* al caso italiano.

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

3.1 Edifici ad uso residenziale

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

Nelle tabelle seguenti (Tabella 3.3, Tabella 3.4 e Tabella 3.5) si riassumono le caratteristiche geometrico-dimensionali dei modelli degli edifici di riferimento ed i parametri termo-fisici delle strutture costituenti l'involucro edilizio distinti per tipologia, per epoca di costruzione e per zona climatica.

Tabella 3.3 Principali dati degli edifici residenziali di riferimento – edificio monofamiliare.

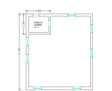
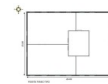
ID edificio	DATI GEOMETRICI								DATI COSTRUTTIVI				ZONA CLIMATICA
	A_f	V_g	A_{env}	A_w	A_{env}/V_g	$h_{n,int\,erp}$	n. piani	n. u.i.	U_{wall}	U_w	$U_{roof/uf}$	U_{lf}	
	[m ²]	[m ³]	[m ²]	[m ²]	[m ⁻¹]	[m]	[-]	[-]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	
RMF_E1 	162	583	435	20,3	0,75	3,00	2	1	1,18	4,90	2,16	2,00	B
									1,48	4,90	2,16	2,00	E
RMF_E2 	199	725	519	25,0	0,72	2,70	2	1	1,10	4,90	2,16	1,30	B
									0,76	2,80	1,14	0,98	E
RMF_NO 	98	371	368	12,6	0,99	2,70	1	1					B
													E

Tabella 3.4 Principali dati degli edifici residenziali di riferimento – piccolo condominio.

ID edificio	DATI GEOMETRICI								DATI COSTRUTTIVI				ZONA CLIMATICA
	A_f	V_g	A_{env}	A_w	A_{env}/V_g	$h_{n,int\,erp}$	n. piani	n. u.i.	U_{wall}	U_w	$U_{roof/uf}$	U_{lf}	
	[m ²]	[m ³]	[m ²]	[m ²]	[m ⁻¹]	[m]	[-]	[-]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	
RPC_E1 	827	3076	1576	150,0	0,51	3,00	3	12	0,90	4,90	1,65	1,30	B
									1,15	4,90	1,65	1,30	E
RPC_E2 	1088	4136	1994	120,9	0,48	2,70	3	12	0,98	3,80	1,65	1,60	B
									0,81	3,70	0,97	1,14	E
RPC_NO 	450	1728	1032	64,8	0,60	2,70	3	6					B

ID edificio	DATI GEOMETRICI								DATI COSTRUTTIVI				ZONA CLIMATICA
	A_f	V_g	A_{env}	A_w	A_{env}/V_g	$h_{n,int\,erp}$	n. piani	n. u.i.	U_{wall}	U_w	$U_{roof/uf}$	U_{lf}	
	[m ²]	[m ³]	[m ²]	[m ²]	[m ⁻¹]	[m]	[-]	[-]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	
													E

Tabella 3.5 Principali dati degli edifici residenziali di riferimento – grande condominio.

ID edificio	DATI GEOMETRICI								DATI COSTRUTTIVI				ZONA CLIMATICA
	A_f	V_g	A_{env}	A_w	A_{env}/V_g	$h_{n,int\,erp}$	n. piani	n. u.i.	U_{wall}	U_w	$U_{roof/uf}$	U_{lf}	
	[m ²]	[m ³]	[m ²]	[m ²]	[m ⁻¹]	[m]	[-]	[-]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	
RGC_E1 	1552	5949	2740	217	0,46	3,00	4	24	0,90	4,90	1,65	1,30	B
									1,15	4,90	1,65	1,30	E
RGC_E2 	3506	12685	4721	363	0,37	2,70	6	48	0,98	4,90	1,65	1,30	B
									0,76	3,70	0,97	0,98	E
RGC_N0 	1788	6662	2836	259	0,43	2,70	8	24					B
													E

3.2 Edifici ad uso ufficio

I modelli degli edifici ad uso ufficio comprendono due tipologie di edifici, caratterizzate da una diversa distribuzione degli spazi interni e caratteri dimensionali, quali metrature e rapporti tra superfici trasparenti e opache. Questi modelli rappresentano degli edifici tipo del Parco Edilizio Nazionale ad uso ufficio, e sono stati strutturati sulla base delle informazioni estrapolate dall'indagine effettuata da CRESME [4] per ENEA e dai risultati del Progetto BEEPS [3].

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

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

Nelle tabelle seguenti (Tabella 3.6 e Tabella 3.8) si riassumono le caratteristiche geometrico-dimensionali dei modelli di edifici ed i parametri termo-fisici delle strutture costituenti l'involucro edilizio distinti per tipologia, per epoca di costruzione e per zona climatica.

Tabella 3.6 Principali dati degli edifici di riferimento ad uso ufficio.

ID edificio	DATI GEOMETRICI								DATI COSTRUTTIVI				ZONA CLIMATICA
	A_f	V_g	A_{env}	A_w	A_{env}/V_g	$h_{n,int\,erp}$	n. piani	n. u.i.	U_{wall}	U_w	$U_{roof/uf}$	U_{lf}	
	[m ²]	[m ³]	[m ²]	[m ²]	[m ⁻¹]	[m ⁻¹]	[-]	[-]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	
UFF_E1 	363	1339	805	116	0,60	2,77	2	-	1,53	4,00	1,20	1,30	B
									1,53	2,60	1,20	0,87	E
UFF_E2 	2007	7200	2340	488	0,33	2,69	5	-	0,50	4,90	0,85	1,30	B
									0,50	3,20	0,85	0,87	E
UFF_N0 	1519	6100	2129	434	0,35	2,70	4	-					B
													E

3.3 Edificio ad uso scolastico

Il modello di edificio di riferimento ad uso scolastico riguarda un edificio esistente risalente agli anni Quaranta del Novecento (), che si sviluppa su quattro piani fuori terra e un piano seminterrato non riscaldato (). Le chiusure verticali esterne sono pareti a cassavuota in laterizio pieno, il solaio superiore del corpo edilizio principale è in latero-cemento, non coibentato, e confina con il sottotetto non riscaldato; il primo solaio confina in parte con il terreno e in parte con il piano seminterrato non riscaldato; i serramenti sono di due tipologie: telaio in legno e vetro semplice, originari e deteriorati, e telaio in alluminio e vetro doppio. La Tabella 3.7 riporta i principali dati geometrici relativi all'edificio ad uso scolastico. La Tabella 3.8, invece, riassume le caratteristiche geometrico-dimensionali del modello di edificio ed i parametri termo-fisici delle strutture costituenti l'involucro edilizio distinti per zona climatica. Data la difficoltà computazionale dell'algoritmo a processare il calcolo introdotto dalla norma UNI EN ISO 52016-1 [10], l'edificio ad uso scolastico è stato modellato come un'unica zona termica a differenza delle scorse annualità nelle quali era stato considerato suddiviso in cinque zone termiche.



Figura 3.18 Edificio ad uso scolastico.

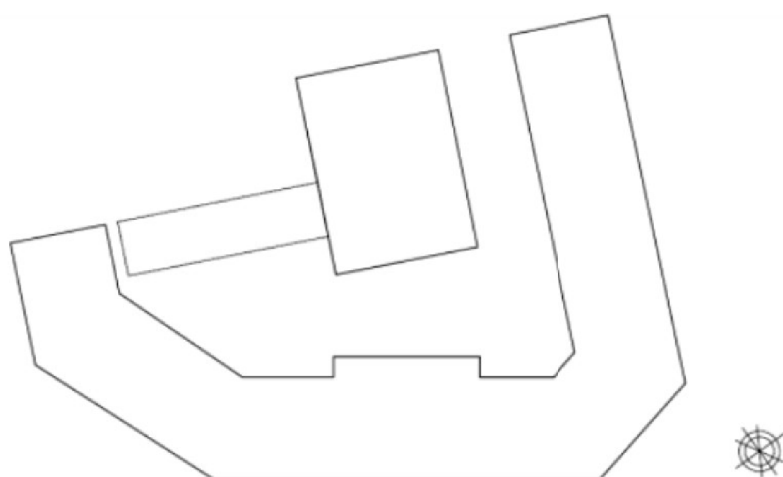


Figura 3.19 Edificio ad uso scolastico -impronta a terra ed orientamento principale.

Tabella 3.7 Principali dati geometrici edificio ad uso scolastico.

Caratteristiche geometriche dell'edificio scolastico	
Numero di piani	4
Altezza interpiano [m]	3,70
Pavimento totale (netto) [m ²]	8935
Pavimento totale (lordo) [m ²]	9985
Serramenti [m ²]	1419
Volume netto [m ³]	38374
Volume lordo [m ³]	47223
Superficie lorda disperdente totale [m ²]	11538
S/V [m ⁻¹]	0,24

Tabella 3.8 Principali dati dell'edificio di riferimento a uso scolastico.

ID edificio	DATI GEOMETRICI	DATI COSTRUTTIVI	ZONA
-------------	-----------------	------------------	------

	A_f	V_g	A_{env}	A_w	A_{env}/V_g	$h_{n,inte rp}$	n. piani	n. u.i.	U_{wall}	U_w	$U_{roof/uf}$	U_{lf}	CLIMATICA
	[m ²]	[m ³]	[m ²]	[m ²]	[m ⁻¹]	[m]	[-]	[-]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	
SCU_E1 	8935	47223	11538	1419	0,24	3,70	4	-	1,41	4,25	1,65	0,68	B
									1,41	4,25	1,65	0,68	E

4 Analisi delle misure di efficienza energetica

I contenuti presentati in questo capitolo sono tratti dal report inerente l'aggiornamento della metodologia comparativa del 2018 [18].

In base alla Direttiva 2010/31/UE [15] e al Regolamento, gli Stati Membri sono tenuti a definire le misure di efficienza energetica da applicare agli edifici di riferimento individuati. Le misure soggette al calcolo devono riguardare anche i sistemi di fornitura energetica decentrati, la cogenerazione, il teleriscaldamento e il teleraffreddamento e le pompe di calore, oltre a misure basate sull'energia da fonti rinnovabili.

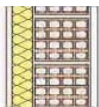
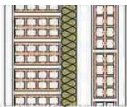
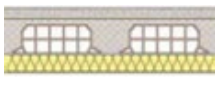
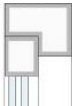
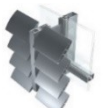
Al fine di prendere in considerazione l'interazione tra le differenti misure (ad esempio l'isolamento dell'involucro che incide sulla potenza termica di progetto e il dimensionamento dei sistemi impiantistici), le misure sono state combinate in pacchetti e/o varianti, per creare sinergie volte ad una riduzione – sia dei costi sia del fabbisogno energetico – maggiore rispetto a quella che si otterrebbe considerando misure singole.

Le misure di efficienza energetica (EEM) considerate all'interno della metodologia comparativa sono 16 e sono relative ad interventi sull'involucro edilizio opaco e trasparente (Tabella 4.9), sugli impianti di riscaldamento, raffrescamento, ACS, ventilazione e illuminazione (Tabella 4.10) e sugli impianti a fonti rinnovabili (Tabella 4.11). Per ogni intervento sono stati considerati diversi livelli di efficienza energetica delle misure (o opzioni di efficienza energetica - EEO, da 2 a 5), dei quali, il primo rappresenta lo stato di fatto per gli edifici esistenti e una situazione peggiorativa non conforme alle attuali prescrizioni di legge per i nuovi (es. involucro non isolato), mentre l'ultimo livello considera sempre soluzioni ad elevata efficienza energetica. I livelli intermedi sono individuati con incrementi via via crescenti delle prestazioni dei parametri oggetto di valutazione (es. la trasmittanza termica per il livello di isolamento termico). Il numero di livelli testati è variabile in funzione dell'edificio di riferimento.

4.1 Misure di efficienza energetica dell'involucro

Le misure di efficienza dell'involucro considerano, in particolare, l'isolamento termico dei componenti d'involucro opaco (verticali e orizzontali) e trasparente, come riportato in Tabella 4.9. Sull'involucro trasparente, inoltre, è prevista un'ulteriore misura di efficienza energetica, che consiste nell'installazione di un sistema di schermature solari esterne. La tabella seguente (Tabella 4.9) riporta i parametri e il numero di livelli di prestazione energetica considerati.

Tabella 4.9 Misure di efficienza energetica dell'involucro.

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

I valori di trasmittanza termica dei cinque livelli di isolamento termico dei componenti d'involucro sono stati concordati con ENEA, rispettivamente per gli edifici esistenti o di nuova costruzione, e per le due zone climatiche considerate (E – Milano, B – Palermo). La definizione dei valori di ciascun livello si basa sui seguenti criteri:

- Livello 1: per gli edifici esistenti si assume il valore attuale (stato di fatto) di trasmittanza termica (assenza di interventi); per gli edifici di nuova costruzione si assume un valore di trasmittanza termica in assenza di isolamento;
- Livello 2: per gli edifici esistenti e di nuova costruzione, si considera una maggiorazione del 20% del valore di trasmittanza termica relativo all'edificio di riferimento al 2015 (livello 3) [1];
- Livello 3: per gli edifici esistenti e di nuova costruzione, si considera la trasmittanza termica dell'edificio di riferimento al 2015 [1];
- Livello 4: per gli edifici esistenti e di nuova costruzione, si considera la trasmittanza termica dell'edificio di riferimento al 2019/2021 [1];
- Livello 5: per gli edifici esistenti e di nuova costruzione, si assume una riduzione del valore di trasmittanza termica del livello 4, rispettivamente del 35% per le chiusure verticali verso l'esterno e per le chiusure orizzontali inferiori, e del 20% per le chiusure orizzontali superiori.

La Tabella 4.10 e la Tabella 4.11 riportano i valori delle trasmittanze termiche dei componenti d'involucro per i diversi livelli, rispettivamente per gli edifici esistenti e di nuova costruzione.

Tabella 4.10 Trasmittanze termiche delle EEM sull'involucro edilizio – edifici esistenti.

EEM	Descrizione EEM	Trasmittanza termica [W/m ² K]
-----	-----------------	--

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

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

Tabella 4.11 Trasmittanze termiche delle EEM sull'involucro edilizio – edifici di nuova costruzione.

EEM	Descrizione EEM	Trasmittanza termica [W/m²K]									
		Zona climatica B					Zona climatica E				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	Chiusure verticali verso l'esterno	1,50	0,54	0,45	0,43	0,28	1,50	0,36	0,30	0,26	0,17
2	Chiusure orizzontali superiori	1,50	0,46	0,38	0,35	0,28	1,50	0,30	0,25	0,22	0,18
3	Chiusure orizzontali inferiori	1,50	0,56	0,46	0,44	0,29	1,50	0,36	0,30	0,26	0,17
4	Serramenti	5,00	3,80	3,20	3,00	1,60	3,80/5,00*	2,20	1,80	1,40	1,10

*I valori di riferimento sono differenti a seconda della destinazione d'uso considerata

Le trasmittanze termiche dei componenti edilizi verso ambienti non climatizzati (EEM2 e EEM3, Tabella 4.10 e Tabella 4.11) sono corrette in funzione del fattore di correzione dello scambio di energia termica tra ambiente interno ed ambiente esterno attraverso l'ambiente non climatizzato adiacente ($b_{tr,U}$), secondo quanto riportato nel Decreto Requisiti Minimi (D.M. 26 giugno 2015) [1].

Poiché le trasmittanze sopra indicate non sono comprensive dei ponti termici, il contributo dei ponti termici non eliminabili tramite le misure di efficienza energetica è stato determinato attraverso l'utilizzo di trasmittanze lineiche ottimali di riferimento, fornite dal Comitato Termotecnico Italiano Energia e Ambiente, in collaborazione con il Gruppo Consultivo CTI "Legge 90". Le trasmittanze lineiche sono state calcolate per tutte le zone climatiche considerando strutture con isolamento tale da raggiungere i valori di trasmittanza in sezione corrente previsti dall'attuale D.M. 26 giugno 2015 [1]. In particolare, per ogni tipologia di ponte termico, per gli edifici di nuova costruzione, è stato considerato un isolante termico posizionato sul lato esterno. Per gli edifici esistenti, invece, sono stati considerati rispettivamente l'assenza di isolamento, un isolante termico posizionato sul lato esterno e uno posizionato in intercapedine. Le Tabella 4.12 e Tabella 4.13 riportano i valori di trasmittanza lineica dei ponti termici considerati, relativi sia alle dimensioni interne (ψ_{int}) sia alle dimensioni esterne (ψ_{est}), per le due zone climatiche analizzate, rispettivamente per edifici esistenti (Tabella 4.12) e per edifici di nuova costruzione (Tabella 4.13).

Tabella 4.12 Trasmittanze termiche lineiche dei ponti termici di riferimento – edifici esistenti.

Ponte termico	Assenza di isolamento				Isolamento lato esterno				Isolamento in intercapedine			
	ψ_{int}		ψ_{est}		ψ_{int}		ψ_{est}		ψ_{int}		ψ_{est}	
	[W/(m·K)]		[W/(m·K)]		[W/(m·K)]		[W/(m·K)]		[W/(m·K)]		[W/(m·K)]	
Zona climatica	B	E	B	E	B	E	B	E	B	E	B	E
Pilastro	0,585	0,585	0,585	0,585	0,051	0,025	0,051	0,025	0,849	0,849	0,849	0,849
Solaio interpiano	0,739	0,739	0,329	0,329	0,189	0,127	0,032	0,015	0,757	0,757	0,579	0,579
Aggancio balcone	0,680	0,680	0,289	0,289	0,590	0,578	0,441	0,472	0,695	0,695	0,526	0,526
Angolo	0,359	0,359	-0,294	-0,294	0,200	0,156	-0,094	-0,075	0,463	0,463	0,180	0,180
Parete interna	0,108	0,108	-0,001	-0,001	0,041	0,029	0	0	0,047	0,047	0	0
Copertura	0,515	0,515	-0,356	-0,356	0,506	0,513	0,210	0,278	0,567	0,567	-0,095	-0,095

Ponte termico	Assenza di isolamento				Isolamento lato esterno				Isolamento in intercapedine			
	ψ_{int} [W/(m·K)]		ψ_{est} [W/(m·K)]		ψ_{int} [W/(m·K)]		ψ_{est} [W/(m·K)]		ψ_{int} [W/(m·K)]		ψ_{est} [W/(m·K)]	
Zona climatica	B	E	B	E	B	E	B	E	B	E	B	E
Angolo convesso	-0,185	-0,185	0,467	0,467	-0,233	-0,189	0,062	0,041	0,257	0,257	0,541	0,541
Finestra	-0,040	-0,040	-0,040	-0,040	0,083	0,115	0,083	0,115	-0,082	-0,082	-0,082	-0,082

Tabella 4.13 Trasmissioni termiche lineiche dei ponti termici di riferimento – edifici di nuova costruzione.

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

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

Infine, per quanto riguarda l'installazione di sistemi di schermatura solare, nel *tool* di calcolo vengono applicati tali sistemi solo nei quadranti Est, Sud e Ovest, ad esclusione, quindi, del quadrante Nord. Si è deciso di procedere in questa maniera al fine di allinearsi alle prescrizioni del D.M. 26 giugno 2015 [1], in esso infatti non viene analizzata la presenza di sistemi di schermatura per l'esposizione Nord né nei valori limite riferiti alle riqualificazioni energetiche, né nelle condizioni dell'edificio di riferimento. Nello stato di fatto, al fine di massimizzare l'opzione di efficientamento energetico, le schermature solari sono state considerate come non presenti.

Le due opzioni di efficienza energetica relative alle schermature solari prevedono un unico valore del coefficiente di trasmissione solare diretta della schermatura, τ_{sol} (pari a 0,2), e due alternative di funzionamento, a lamelle fisse (frangisole) e a lamelle mobili (veneziane). In entrambi i casi la schermatura è collocata sul lato esterno del serramento.

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

Le misure di efficienza degli impianti considerano la sostituzione o l'installazione di generatori ad alta efficienza per il riscaldamento, il raffrescamento e l'acqua calda sanitaria, l'installazione di un impianto di ventilazione meccanica con recuperatore di calore, e di sistemi di regolazione ad alta efficienza. Vengono

considerate, inoltre, misure sull'impianto di illuminazione, nel caso di edifici non residenziali. La Tabella 4.14 riporta i parametri e il numero di livelli di prestazione energetica considerati.

Tabella 4.14 Misure di efficienza energetica degli impianti di riscaldamento, raffrescamento, ventilazione, acqua calda sanitaria e illuminazione.

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

Per quanto riguarda le misure di efficienza energetica relative ai sistemi impiantistici (Tabella 4.14) e agli impianti a fonti rinnovabili (descritti nella Sezione 4.3), il *tool* di calcolo considera diverse tecnologie e diverse integrazioni delle stesse, come riportato in Tabella 4.15.

Tabella 4.15 Tecnologie impiantistiche considerate nel *tool* di calcolo.

EEM7: Installazione di macchina frigorifera		
Macchina frigorifera aria-aria (multi-split)	Con/senza sostituzione del sottosistema di regolazione: - Zona - Ambiente - Zona + climatica	
EEM8: Installazione di generatore di energia termica per riscaldamento		
Caldaia standard	Con/senza sostituzione dei terminali di emissione: - Ventilconvettori - Pannelli radianti - Radiatori	Con/senza sostituzione del sottosistema di regolazione: - Zona - Ambiente - Zona + climatica
Caldaia a condensazione		
Caldaia a biomassa ¹		
Teleriscaldamento		
Pompa di calore aria-acqua, a compressione		
¹ È prevista l'integrazione di un sistema di accumulo		
EEM9: Installazione di generatore di energia termica per ACS		
Caldaia standard	È prevista l'integrazione di un sistema di accumulo	
Caldaia a condensazione		
Pompa di calore aria-acqua, a compressione		
EEM10: Installazione di generatore di energia termica combinato per riscaldamento e ACS		
Caldaia standard	Con/senza sostituzione dei terminali di emissione: - Ventilconvettori - Pannelli radianti - Radiatori	Con/senza sostituzione del sottosistema di regolazione: - Zona - Ambiente - Zona + climatica
Caldaia a condensazione		
Caldaia a biomassa ¹		
Teleriscaldamento		
Pompa di calore aria-acqua, a compressione		
¹ È prevista l'integrazione di un sistema di accumulo		
EEM11: Installazione di generatore di energia termica combinato per riscaldamento, raffrescamento e ACS		
Pompa di calore aria-acqua, a compressione, invertibile	Con/senza sostituzione dei terminali di emissione: - Ventilconvettori	Con/senza sostituzione del sottosistema di regolazione: - Zona - Ambiente - Zona + climatica
EEM12: Installazione di collettori solari (solo per ACS)		
Collettore a tubi sottovuoto con assorbitore piano	Utilizzo: - Solo riscaldamento - Solo ACS - Riscaldamento + ACS	È prevista l'integrazione di un sistema di accumulo
Collettore a tubi sottovuoto con assorbitore circolare		
Collettore piano vetrato		
Collettore non vetrato		
EEM13: Installazione di pannelli fotovoltaici		
È prevista l'integrazione di un sistema fotovoltaico per la produzione di energia elettrica		
EEM15: Installazione di sistema di regolazione ad alta precisione per riscaldamento e raffrescamento		
È prevista l'integrazione di un sistema di ventilazione meccanica con recuperatore di calore		
EEM16: Installazione di sistema di regolazione dell'impianto di illuminazione		
Tubolari fluorescenti	È prevista l'integrazione di un sistema di controllo (fattori F_c , F_D , F_o secondo	

LED	norma UNI EN 15193 [19]).
-----	---------------------------

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

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

Poiché le configurazioni impiantistiche non sono generalizzabili per tutte le tipologie di edifici, nell'applicazione delle misure di efficienza energetica agli edifici di riferimento sono state proposte delle combinazioni sulla base di quello che viene più comunemente realizzato. Ad eccezione della misura EEM7 che si riferisce al solo raffrescamento e prevede dei sistemi *multisplit* in tutti gli edifici di riferimento (escluso l'edificio ad uso scolastico), per tutte le altre misure relative ai sistemi impiantistici sono state testate diverse configurazioni, e relative tecnologie, come riportato in Tabella 4.16. Nello specifico con configurazione impiantistica si intende se la produzione di riscaldamento e acqua calda sanitaria è combinata o separata.

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

Tabella 4.16 Configurazioni impiantistiche e relative tecnologie per gli edifici di riferimento.

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

4.3 Misure di efficienza energetica degli impianti a fonti rinnovabili

Le misure sugli impianti a fonti rinnovabili consistono nell'installazione di un sistema a collettori solari per la sola produzione di acqua calda sanitaria, e di un impianto fotovoltaico. La Tabella 4.17 riporta i parametri e il numero di livelli di prestazione energetica considerati.

Tabella 4.17 Misure di efficienza energetica relative agli impianti a fonti rinnovabili.

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

Per queste misure, i 4 diversi livelli rappresentano variazioni alle prescrizioni del Decreto Legislativo 3 marzo 2011, n. 28 [27], sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili. Il primo livello indica l'assenza di misura, mentre il terzo livello corrisponde alla prescrizione legislativa. Il secondo e il quarto livello associati al solare termico corrispondono, rispettivamente, ad una minore o maggiore percentuale di copertura del fabbisogno di acqua calda sanitaria rispetto a quella minima richiesta dal Decreto; per il fotovoltaico corrispondono, rispettivamente, ad una variazione di $\pm 20\%$ del valore prescritto (potenza elettrica installata espressa in funzione della superficie in pianta dell'edificio a livello del terreno).

4.4 Misure di efficienza energetica applicate agli edifici di riferimento

Per ciascun edificio di riferimento, da Tabella 4.18 a Tabella 4.43 si riportano i valori dei parametri per ciascun livello delle misure di efficienza energetica.

Tabella 4.18 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio monofamiliare nuovo – zona climatica E (Milano).

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

Tabella 4.19 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio monofamiliare nuovo – zona climatica B (Palermo).

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

Tabella 4.20 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio monofamiliare esistente (1946-76) – zona climatica E (Milano).

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

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

Tabella 4.21 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio monofamiliare esistente (1946-76) – zona climatica B (Palermo).

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

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

Tabella 4.22 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio monofamiliare esistente (1977-90) – zona climatica E (Milano).

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

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

Tabella 4.23 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio monofamiliare esistente (1977-90) – zona climatica B (Palermo).

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

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

Tabella 4.24 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: piccolo condominio nuovo – zona climatica E (Milano).

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

Tabella 4.25 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: piccolo condominio nuovo – zona climatica B (Palermo).

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

Tabella 4.26 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: piccolo condominio esistente (1946-76) – zona climatica E (Milano).

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

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

Tabella 4.27 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: piccolo condominio esistente (1946-76) – zona climatica B (Palermo).

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

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

Tabella 4.28 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: piccolo condominio esistente (1977-90) – zona climatica E (Milano).

Tipologia: Piccolo condominio									
Epoca: 1977-90									
Zona climatica: E (Milano)									
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	Livello di EEM				
					1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U_w	5	SF (*)	0,36	0,30	0,28	0,19
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	$U_{w,c}$	-	-	-	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U_r	5	SF	0,46	0,37	0,34	0,29
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U_f	5	SF	0,38	0,31	0,29	0,19
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U_w	5	SF	2,30	1,90	1,40	1,10
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	3	SF	fissa	mobile	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2	SF	3,00	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	$\eta_{gn,H}$	5	SF	0,94 + radiator i	1,00 + fancoil	3,7 + fancoil	4,1 + fancoil
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	$\eta_{gn,W}$	3	SF	0,93	1,00	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η_{gn}	2	0,93 + radiator i	1,00 + fancoil	-	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	-	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		-	-	-	-	-
12	Impianto solare termico	Area dei collettori solari (m ²)	A_{coll}	4	SF	7	12	17	-
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata (kW _p)	P_p	4	SF	6,4	8	9,6	-
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η_r	-	-	-	-	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	-	4	SF	1	2	3	
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	P_N	-	-	-	-	-	-
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F_O		-	-	-	-	-
		Fattore di dipendenza dalla luce diurna	F_D		-	-	-	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F_C		-	-	-	-	-

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

Tabella 4.29 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: piccolo condominio esistente (1977-90) – zona climatica B (Palermo).

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

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

Tabella 4.30 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: grande condominio nuovo – zona climatica E (Milano).

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

Tabella 4.31 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: grande condominio nuovo – zona climatica B (Palermo).

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

Tabella 4.32 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: grande condominio esistente (1946-76) – zona climatica E (Milano).

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

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

Tabella 4.33 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: grande condominio esistente (1946-76) – zona climatica B (Palermo).

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

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

Tabella 4.34 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: grande condominio esistente (1977-90) – zona climatica E (Milano).

Tipologia: Grande condominio									
Epoca: 1977-90									
Zona climatica: E (Milano)									
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	Livello di EEM				
					1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U_w	5	SF (*)	0,36	0,30	0,28	0,19
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	$U_{w,c}$	2	SF	0,27	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U_r	5	SF	0,46	0,37	0,34	0,29
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U_f	5	SF	0,63	0,52	0,48	0,32
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U_w	5	SF	2,30	1,90	1,40	1,10
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	3	SF	fissa	mobile	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2	SF	3,00	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	$\eta_{gn,H}$	5	SF	0,95 + radiator i	1,00 + fancoil	3,7 + fancoil	4,1 + fancoil
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	$\eta_{gn,W}$	3	SF	0,93	1,00	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η_{gn}	2	0,93 + radiator i	1,00 + fancoil	-	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	-	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		-	-	-	-	-
12	Impianto solare termico	Area dei collettori solari (m ²)	A_{coll}	5	SF	20	30	50	70
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata (kW _p)	P_p	4	SF	11,2	14	16,8	-
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η_r	-	-	-	-	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	-	4	SF	1	2	3	
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	P_N	-	-	-	-	-	-
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F_O		-	-	-	-	-
		Fattore di dipendenza dalla luce diurna	F_D		-	-	-	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F_C		-	-	-	-	-

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

Tabella 4.35 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: grande condominio esistente (1977-90) – zona climatica B (Palermo).

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

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

Tabella 4.36 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio ad uso uffici nuovo – zona climatica E (Milano).

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

Tabella 4.37 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio ad uso uffici nuovo – zona climatica B (Palermo).

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

Tabella 4.38 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio ad uso uffici esistente (1946-76) – zona climatica E (Milano).

Tipologia: Ufficio									
Epoca: 1946-76									
Zona climatica: E (Milano)									
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	Livello di EEM				
					1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U_w	5	SF (*)	0,36	0,30	0,28	0,19
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	$U_{w,c}$	2	SF	0,15	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U_r	5	SF	0,32	0,26	0,24	0,20
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U_f	5	SF	0,84	0,69	0,64	0,42
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U_w	5	SF	2,30	1,90	1,40	1,10
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	3	SF	1	2	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2	SF	3,30	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	$\eta_{gn,H}$	1	SF	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	$\eta_{gn,W}$	1	SF	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η_{gn}	2	0,934 + radiatori	1,03 + fancoil	-	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	2	3,1 + fancoil	4,2 + fancoil	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		2,9	3,1	-	-	-
12	Impianto solare termico	Area dei collettori solari (m ²)	A_{coll}	5	SF	1	2	3	4
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata (kW _p)	P_p	4	SF	3,84	4,8	5,76	-
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η_r	4	SF	0,6	0,7	0,9	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	-	4	SF	1	2	3	-
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	P_N	3	SF	6	6	-	-
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F_O		SF	1	0,8	-	-
		Fattore di dipendenza dalla luce diurna	F_D		SF	1	0,9	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F_C		SF	1	0,9	-	-

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

Tabella 4.39 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio ad uso ufficio esistente (1946-76) – zona climatica B (Palermo).

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

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

Tabella 4.40 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio ad uso uffici esistente (1977-90) – zona climatica E (Milano).

Tipologia: Ufficio									
Epoca: 1977-90									
Zona climatica: E (Milano)									
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	Livello di EEM				
					1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U_w	5	SF (*)	0,36	0,30	0,28	0,19
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	$U_{w,c}$	2	SF	0,18	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U_r	5	SF	0,32	0,26	0,24	0,20
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U_f	5	SF	0,84	0,69	0,64	0,42
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U_w	5	SF	2,30	1,90	1,40	1,10
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	3	SF	fissa	mobile	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2	SF	3,30	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	$\eta_{gn,H}$	1	SF	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	$\eta_{gn,W}$	1	SF	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η_{gn}	2	0,934 + radiatori	1,03 + fancoil	-	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	2	3,1 + fancoil	4,2 + fancoil	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		2,9	3,1	-	-	-
12	Impianto solare termico	Area dei collettori solari (m ²)	A_{coll}	5	SF	2	4	6	8
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata (kW _p)	P_p	4	SF	8,8	11	13,2	-
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η_r	4	SF	0,6	0,7	0,9	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	-	4	SF	1	2	3	-
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	P_N	3	SF	6	6	-	-
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F_O		SF	1	0,8	-	-
		Fattore di dipendenza dalla luce diurna	F_D		SF	1	0,9	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F_C		SF	1	0,9	-	-

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

Tabella 4.41 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio ad uso uffici esistente (1977-90) – zona climatica B (Palermo).

Tipologia: Ufficio									
Epoca: 1977-90									
Zona climatica: B (Palermo)									
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	Livello di EEM				
					1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U_w	5	SF (*)	0,54	0,45	0,40	0,26
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	$U_{w,c}$	2	SF	0,18	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U_r	5	SF	0,41	0,34	0,32	0,26
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U_f	5	SF	1,29	1,07	0,93	0,62
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U_w	5	SF	3,80	3,20	3,00	1,60
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	3	SF	fissa	mobile	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2	SF	3,30	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	$\eta_{gn,H}$	1	SF	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	$\eta_{gn,W}$	1	SF	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η_{gn}	2	0,934 + radiatori	1,03 + fancoil	-	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	2	3,1 + fancoil	4,2 + fancoil	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		2,9	3,1	-	-	-
12	Impianto solare termico	Area dei collettori solari (m ²)	A_{coll}	5	SF	2	4	6	8
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata (kW _p)	P_p	4	SF	8,8	11	13,2	-
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η_r	4	SF	0,6	0,7	0,9	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	-	4	SF	1	2	3	-
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	P_N	3	SF	6	6	-	-
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F_O		SF	1	0,8	-	-
		Fattore di dipendenza dalla luce diurna	F_D		SF	1	0,9	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F_C		SF	1	0,9	-	-

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

Tabella 4.42 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio scolastico esistente (1946-76) – zona climatica E (Milano).

Tipologia: Scuola									
Epoca: 1946-76									
Zona climatica: E (Milano)									
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	Livello di EEM				
					1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U_w	5	SF (*)	0,36	0,30	0,28	0,19
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	$U_{w,c}$	2	SF	0,12	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U_r	5	SF	0,46	0,37	0,34	0,29
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U_f	5	SF	0,38	0,31	0,29	0,19
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U_w	5	SF	2,30	1,90	1,40	1,10
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	3	SF	fissa	mobile	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-	-	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	$\eta_{gn,H}$	1	SF	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	$\eta_{gn,W}$	1	SF	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η_{gn}	4	0,93 + radiatori	1,00 + fancoil	3,10 + fancoil	4,20 + fancoil	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	-	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		-	-	-	-	-
12	Impianto solare termico	Area dei collettori solari (m ²)	A_{coll}	5	SF	2	4	6	8
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata (kW _p)	P_p	4	SF	52,8	66,0	79,2	-
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η_r	4	SF	0,6	0,7	0,9	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	-	4	SF	1	2	3	-
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	P_N	2	SF	6	-	-	-
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F_O		SF	1	-	-	-
		Fattore di dipendenza dalla luce diurna	F_D		SF	1	-	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F_C		SF	1	-	-	-

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

Tabella 4.43 Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio scolastico esistente (1946-76) – zona climatica B (Palermo).

Tipologia: Scuola									
Epoca: 1946-76									
Zona climatica: B (Palermo)									
n.	EEM	Parametro	Simbolo	N	Livello di EEM				
					1	2	3	4	5
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U_w	5	SF (*)	0,54	0,45	0,40	0,26
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	$U_{w,c}$	2	SF	0,12	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U_r	5	SF	0,59	0,49	0,46	0,37
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U_f	5	SF	0,58	0,48	0,42	0,28
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U_w	5	SF	3,80	3,20	3,00	1,60
6	Sistemi di schermatura solare	Fattore di trasmissione solare	-	3	SF	fissa	mobile	-	-
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-	-	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento di generazione	$\eta_{gn,H}$	1	SF	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del sistema al 100% del carico	$\eta_{gn,W}$	1	SF	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione	η_{gn}	4	0,93 + radiatori	1,00 + fancoil	3,10 + fancoil	4,20 + fancoil	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione	COP	-	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER		-	-	-	-	-
12	Impianto solare termico	Area dei collettori solari (m ²)	A_{coll}	5	SF	2	4	6	8
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata (kW _p)	P_p	4	SF	52,8	66	79,2	-
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Rendimento del recuperatore di calore	η_r	4	SF	0,6	0,7	0,9	-
15	Sistema di regolazione avanzato	Rendimento di regolazione e controllo	-	4	SF	1	2	3	-
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	P_N	2	SF	6	-	-	-
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F_O		SF	1	-	-	-
		Fattore di dipendenza dalla luce diurna	F_D		SF	1	-	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F_C		SF	1	-	-	-

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

5 Costi delle misure di efficienza energetica

L'analisi dei costi d'investimento per le misure di efficienza energetica riportata in questa sezione e, in particolare, la descrizione e i costi specifici di ciascuna tecnologia, sono state curate dal Comitato Termotecnico Italiano Energia e Ambiente (CTI). I contenuti presentati in questo capitolo sono tratti dal report inerente l'aggiornamento della metodologia comparativa del 2018 [18].

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

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

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

5.1 Costi degli interventi sui componenti d'involucro opaco

5.1.1 EEM1 e EEM2: Isolamento delle pareti esterne

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

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

Anche per quanto riguarda i costi dell'intervento, questi vengono distinti che si tratti di edifici di nuova costruzione o edifici esistenti. La Tabella 5.44 e la Tabella 5.45 riportano i costi dei principali materiali isolanti in commercio, e le rispettive conducibilità termiche. In particolare, viene riportato per ciascun isolante un prezzo base al m² riferito ad uno spessore base e un prezzo al m² per ogni centimetro aggiuntivo di isolante.

Tabella 5.44 Costi materiali isolanti per l'isolamento termico delle pareti esterne – edifici nuovi.

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

Tabella 5.45 Costi materiali isolanti per l'isolamento termico delle pareti esterne – edifici esistenti.

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

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

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

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

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

La Tabella 5.46 riporta i costi aggiuntivi da considerare per gli interventi di isolamento delle pareti esterne su edifici esistenti.

Tabella 5.46 Costi aggiuntivi per l'isolamento termico delle pareti esterne – edifici esistenti.

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

La tabella seguente riporta il riepilogo dei costi per l'isolamento termico delle pareti esterne (Tabella 5.47).

Tabella 5.47 Riepilogo dei costi per l'isolamento termico delle pareti esterne.

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

5.1.2 EEM3: Isolamento della copertura o del solaio superiore

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

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

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

Per quanto riguarda il costo dei materiali isolanti per gli edifici di nuova costruzione, la Tabella 5.48, Tabella 5.49 e la Tabella 5.50 riportano i costi dei principali materiali isolanti in commercio, e le rispettive conducibilità termiche. In particolare, viene indicato per ciascun isolante un prezzo base al m² riferito ad uno spessore base e un prezzo al m² per ogni centimetro aggiuntivo di isolante.

Tabella 5.48 Costi materiali isolanti per l'isolamento termico della copertura piana – edifici nuovi.

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

Tabella 5.49 Costi materiali isolanti per l'isolamento termico della copertura inclinata – edifici nuovi.

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

Tabella 5.50 Costi materiali isolanti per l'isolamento termico del sottotetto – edifici nuovi.

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

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

Per quanto riguarda gli edifici esistenti, le Tabelle Tabella 5.51, Tabella 5.52 e Tabella 5.53 riportano i costi dei principali materiali isolanti in commercio, e le rispettive conducibilità termiche. In particolare, viene indicato per ciascun isolante un prezzo base al m² riferito ad uno spessore base e un prezzo al m² per ogni centimetro aggiuntivo di isolante.

Tabella 5.51 Costi materiali isolanti per l'isolamento termico della copertura piana – edifici esistenti.

Copertura piana					
Materiale		Prezzo base	Spessore base	Prezzo al cm	λ
		[€/m ²]	[cm]	[€/m ²]	[W/mK]
isolante lato esterno	MW (glass)	17,64	3	4,66	0,032
	EP	9,98	2	3,64	0,050
	EP	12,46	2	3,64	0,050
	XPS	10,27	3	2,20	0,034
	XPS	28,25	6	4,96	0,036
	EPS	9,79	3	2,04	0,033
	EPS	10,98	3	2,44	0,033
	PU	17,09	3	4,40	0,023
	PU	15,04	3	3,73	0,028
	CG	58,03	4	9,58	0,040
	CG	52,12	4	10,65	0,040
	EPS	25,49	3	2,04	0,033

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

Tabella 5.52 Costi materiali isolanti per l'isolamento termico della copertura inclinata – edifici esistenti.

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

Tabella 5.53 Costi materiali isolanti per l'isolamento termico del sottotetto – edifici esistenti.

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

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

La Tabella 54 riporta il riepilogo dei costi per l'isolamento termico delle coperture e del solaio superiore.

Tabella 5.54 Riepilogo dei costi per l'isolamento termico delle coperture o del solaio superiore.

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

5.1.3 EEM4: Isolamento del solaio inferiore

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

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

Per quanto riguarda il costo dei materiali isolanti per gli edifici di nuova costruzione, la Tabella 5.55 riporta i costi dei principali materiali isolanti in commercio, e le rispettive conducibilità termiche. In particolare, viene indicato per ciascun isolante un prezzo base al m² riferito ad uno spessore base e un prezzo al m² per ogni centimetro aggiuntivo di isolante.

Tabella 5.55 Costi materiali isolanti per l'isolamento termico del primo solaio – edifici nuovi.

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

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

Per quanto riguarda gli edifici esistenti, la Tabella 5.56 riporta i costi dei principali materiali isolanti in commercio, e le rispettive conducibilità termiche. In particolare, viene riportato per ciascun isolante un prezzo base al m² riferito ad uno spessore base e un prezzo al m² per ogni centimetro aggiuntivo di isolante.

Tabella 5.56 Costi materiali isolanti per l'isolamento termico del primo solaio – edifici esistenti.

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

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

La Tabella 5.57 riporta il riepilogo dei costi per l'isolamento termico del solaio inferiore.

Tabella 5.57 Riepilogo dei costi per l'isolamento termico del primo solaio.

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

5.2 Costi degli interventi sui componenti d'involucro trasparente

5.2.1 EEM5: Isolamento dell'involucro trasparente

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

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

Per serramenti con trasmittanze termiche comprese tra 1,1 e 1,9 W/m²K, è stato fatto riferimento a costi medi. Inoltre, per l'analisi condotta si è scelto di considerare anche l'eventualità di serramenti con prestazioni inferiori. Per la scarsità dei dati disponibili, si è scelto di utilizzare i dati di costo/prestazione a disposizione e di procedere per estrapolazione, ricavando così i prezzi anche per serramenti con trasmittanze più elevate di quelle per le quali si hanno a disposizione i prezzi. I valori estrapolati sono stati considerati fino al raggiungimento di un valore limite minimo di costo di 150 €/m² per i serramenti in alluminio e 250 €/m² per i serramenti in legno. In Figura 5.20 e in Figura 5.21 sono riportati i grafici e le equazioni di interpolazione per le tipologie considerate.

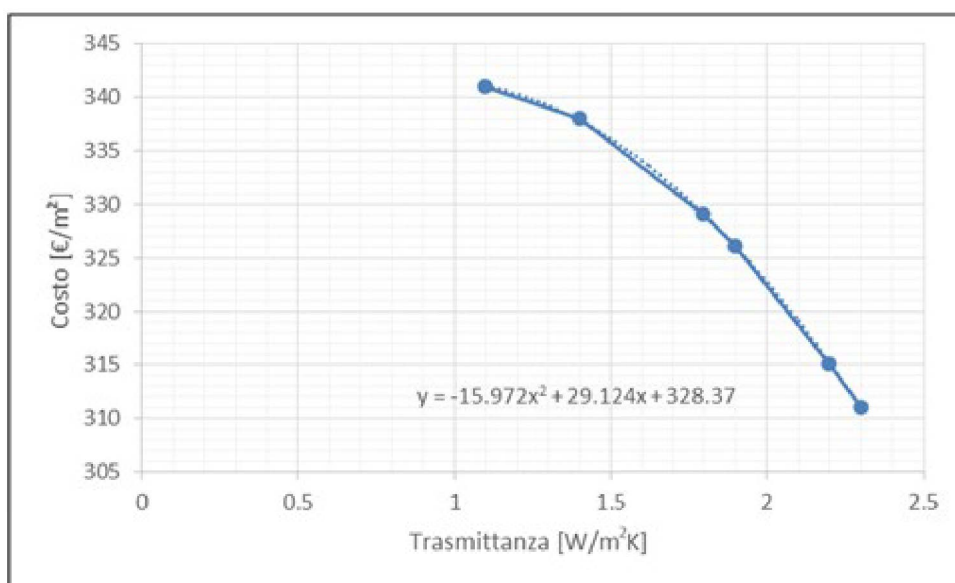


Figura 5.20 Costi normalizzati dei serramenti in alluminio.

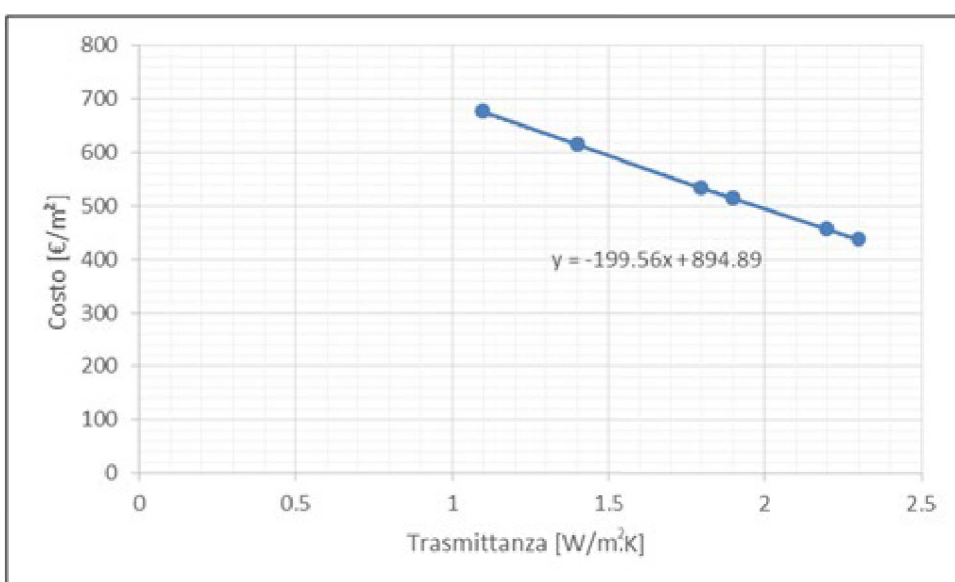


Figura 5.21 Costi normalizzati dei serramenti in legno.

La Tabella 5.58 riporta i costi medi dei serramenti considerati in relazione alla trasmittanza termica per le due tipologie di telaio utilizzate.

Tabella 5.58 Costi medi dei serramenti per l'isolamento termico dell'involucro trasparente.

Serramenti		
Trasmittanza termica	Telaio in alluminio	Telaio in legno
[W/m²K]	[€/m²]	[€/m²]
1,1	341,00	677,00
1,2	340,50	656,00
1,3	339,25	635,50
1,4	338,00	615,00
1,5	336,00	594,50
1,6	334,00	574,00

Serramenti		
Trasmittanza termica	Telaio in alluminio	Telaio in legno
[W/m ² K]	[€/m ²]	[€/m ²]
1,7	331,50	554,00
1,8	329,00	534,00
1,9	326,00	514,00
2,0	322,33	494,67
2,1	318,67	475,33
2,2	315,00	456,00
2,3	311,00	438,00
3,00	271,99	296,21
3,20	258,01	256,30
3,80	208,41	250,00
5,00	150,00	250,00

5.2.2 EEM 6: Sistemi di schermatura solare

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

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

Per quanto riguarda i sistemi schermanti a veneziana, per interni ed esterni, si tratta di sistemi composti da lamelle di spessore variabile (tra i 15 mm e 50 mm) in alluminio verniciate a fuoco, completi di cassonetto in lamiera zincata e verniciata, nastri di nylon per il raccoglimento e asta di plastica per la movimentazione. Il costo degli elementi schermanti, variabile a seconda dello spessore delle lamelle e dell'altezza del serramento (120, 160, 200, 220 cm), è funzione della sola dimensione di base *B* (espressa in cm). La Tabella 5.59 riporta i costi degli elementi schermanti.

Tabella 5.59 Costi elementi schermanti – veneziane.

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

Per quanto riguarda i sistemi schermanti a frangisole a pale orizzontali o verticali, si tratta di sistemi costituiti da frangisole di spessore 200-300 mm in lamiera in alluminio presso-piegata, a movimentazione manuale, completo di struttura portante realizzata con bracci di supporto delle pale in tubolare di alluminio, fissati ad apposite staffe in acciaio zincato. Il costo degli elementi schermanti varia a seconda dell'altezza dell'elemento, come è indicato in Tabella 5.60.

Tabella 5.60 Costi elementi schermanti – frangisole.

Frangisole in alluminio (pale orizzontali o verticali)
--

Larghezza	Altezza	Costo
[mm]	[cm]	[€/m ²]
200-300	100	200
	300	170

In questo ambito, le schermature considerate sono le seguenti:

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

I costi relativi ai sistemi di schermatura considerati sono evidenziati nella Tabella 5.59 e nella Tabella 5.60. La Tabella 5.61 riporta il riepilogo dei costi per l'installazione dei sistemi di schermature solari.

Tabella 5.61 Riepilogo dei costi per l'installazione di sistemi di schermatura solare.

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

5.3 Costi dei sistemi impiantistici

5.3.1 EEM 7: High efficiency chiller

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

Per la definizione dei costi dei sistemi di condizionamento autonomo *multisplit* sono stati considerati diversi valori di potenza, compresi tra 3,9 e 6,8 kW_e. La Tabella 5.62 riporta i costi dei sistemi di raffrescamento ad alta efficienza, riferiti rispettivamente alle sole unità esterne, alle sole unità interne e alle macchine esterne comprensive di unità interne.

Tabella 5.62 Costi e caratteristiche dei condizionatori multisplit.

Condizionatori autonomi multisplit					
Unità	Costo	Potenza nominale termica ed	COP	EER	Costo per unità di

	[€]	elettrica			medio	medio	potenza termica nominale	
		[kW _f]	[kW _i]	[kW _{assorbiti}]			[€/kW _f]	[€/kW _i]
esterna	995,4	3,9	4,4	1,22	3,6	3,2	255	226
	1699	5,2	6,8	1,75	3,9	3,0	327	250
	1638,7	5,2	6,8	1,71	4,0	3,0	315	241
	2304,4	6,8	8,6	2,06	4,2	3,3	339	268
interna	342,6	2,7	2	-	-	-	127	171
	373,2	4	3,5	-	-	-	93	107
	646	5,8	5	-	-	-	111	129
	782	7	6	-	-	-	112	130
esterna+interna	1680,5	-	3,9	-	-	-	-	431
	2445,3	-	5,2	-	-	-	-	470
	2666,4	-	5,2	-	-	-	-	513
	3423,9	-	6,8	-	-	-	-	504

In fase di valutazione, nel calcolo sono state considerate le macchine con 5,2 e 6,8 kW_f di potenza (evidenziati in giallo), secondo le taglie determinate nell'attività precedente [11] ed in linea con i costi degli stessi.

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

La Tabella 5.63 riporta il riepilogo dei costi per l'installazione di sistemi di raffrescamento con chiller ad alta efficienza.

Tabella 5.63 Riepilogo dei costi per l'installazione di sistemi di raffrescamento con chiller ad alta efficienza.

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

5.3.2 EEM8: Generatore di calore per riscaldamento centralizzato

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

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

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

Per quanto riguarda la caldaia tradizionale a bassa temperatura, è stata presa in considerazione una caldaia murale ad alto rendimento (classe C in riscaldamento e B in ACS secondo direttiva ErP) da esterno,

funzionante a gas metano o gasolio, classe 2 di emissioni NO_x, camera aperta a tiraggio naturale, valvola gas, pressostato acqua sanitaria, circolatore, valvola deviatrice, valvola di sicurezza, con protezione antigelo fino a - 15 °C, alimentazione elettrica 230 V-1-50 Hz, per riscaldamento. I costi della caldaia tradizionale sono stati valutati a partire da due specifici livelli di potenza di una macchina tipo (24 e 28 kW). In Tabella 5.64 sono riportati i costi per il generatore di calore in riferimento alla potenza.

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

Tabella 5.64 Costi e caratteristiche delle caldaie tradizionali a bassa temperatura.

Caldaia tradizionale		
Potenza termica nominale	Costo	Costo per unità di potenza termica nominale
[kW]	[€]	[€/kW]
24	840	35
28	908	32

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

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

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

La Tabella 5.65 riporta il riepilogo dei costi (tecnologia e manodopera) relativi all'installazione di caldaie tradizionali come generatori di calore per il riscaldamento centralizzato.

Tabella 5.65 Riepilogo dei costi per l'installazione di generatori di calore per riscaldamento centralizzato – caldaia tradizionale.

Riepilogo costi - Caldaia tradizionale					
Edificio	Potenza termica nominale	Costo per unità di potenza termica nominale	Costo generatore	Costo manutenzione	Costo finale generatore
	[kW]	[€/kW]	[€]	[%]	[€]
Esistente	< 24	35	840	10	924
	≥ 24	35	$35 \cdot P_N$		$(35 \cdot P_N) \cdot 1,1$
Nuova costruzione	< 24	35	840	5	882
	≥ 24	35	$35 \cdot P_N$		$(35 \cdot P_N) \cdot 1,05$

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

- Taglia piccola: caldaia a basamento a condensazione ad alto rendimento (classe A), camera stagna, bruciatore atmosferico, scambiatore, pompa di circolazione, vaso d'espansione, valvola

miscelatrice, valvola di ritegno, valvola di sicurezza caldaia e bollitore, valvolina di sfiato aria, rubinetto di scarico bollitore. La Tabella 5.66 riporta i costi del generatore per diverse potenze nominali; la Figura 5.22 riporta la relazione tra il costo normalizzato del generatore e la potenza nominale.

Tabella 5.66 Costi e caratteristiche delle caldaie a condensazione di taglia piccola.

Caldaia a condensazione – taglia piccola		
Potenza termica nominale	Costo	Costo per unità di potenza termica nominale
[kW]	[€]	[€/kW]
17,2	1.797	104
24,3	2.267	93
33,3	2.624	79

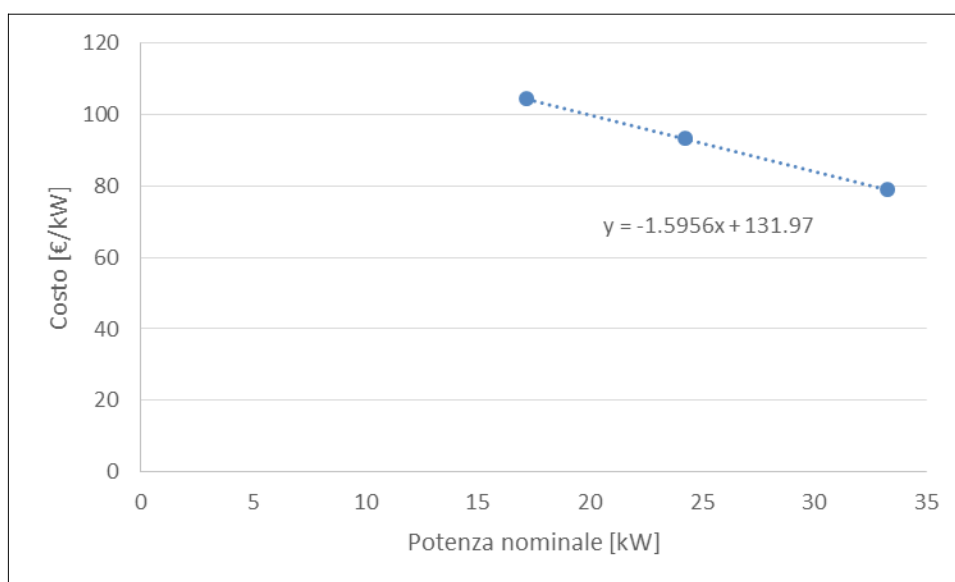


Figura 5.22 Costi normalizzati delle caldaie a condensazione di taglia piccola.

- Taglia media: caldaia murale a condensazione ad alto rendimento (classe A) adatta anche per installazione a cascata con scambiatore termico in acciaio, bruciatore in acciaio inox, con superficie in fibra metallica per la combustione del metano a bassa emissione di sostanze nocive, ventilatore alimentato a corrente continua con velocità variabile, regolazione gas/aria per ottimizzare la combustione e modulazione della potenza, classe 5 di emissione di NOx; funzionamento del bruciatore completamente automatico, con accensione ad alta tensione e controllo della fiamma di ionizzazione; pannello di comando della caldaia integrato; dispositivo di sicurezza a microprocessore, valvola gas combinata composta da due valvole principali, rivestimento colorato verniciato a polvere e termo isolamento, alimentazione elettrica. La Tabella 5.67 riporta i costi del generatore per diverse potenze nominali; la Figura 5.23 riporta la relazione tra il costo normalizzato del generatore e la potenza nominale.

Tabella 5.67 Costi e caratteristiche delle caldaie a condensazione di taglia media.

Caldaia a condensazione – taglia media
--

Potenza termica nominale	Costo	Costo per unità di potenza termica nominale
[kW]	[€]	[€/kW]
45	1.999	44
70	2.421	35
82	3.059	37
102	3.801	37
123	4.271	35

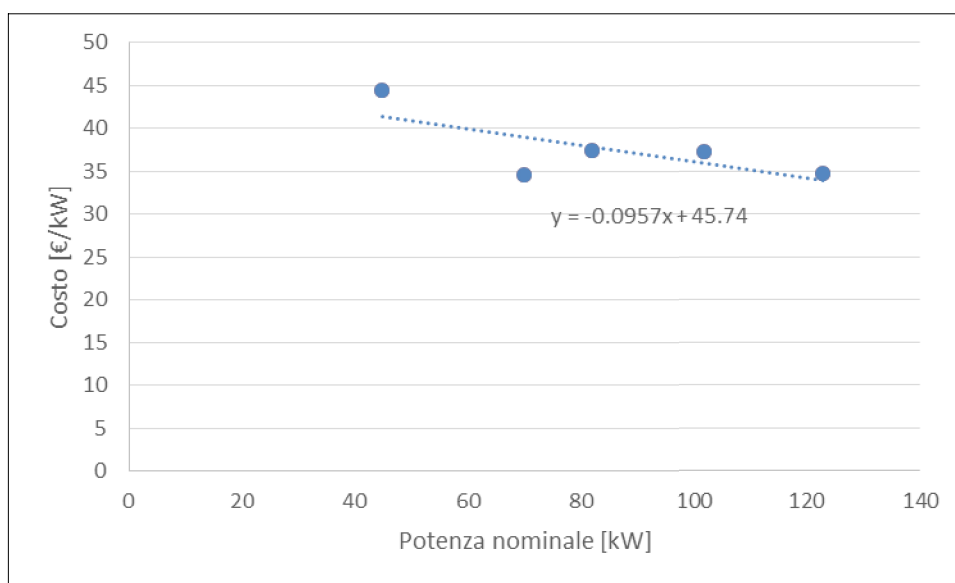


Figura 5.23 Costi normalizzati delle caldaie a condensazione di taglia media.

- Taglia grande: caldaia a basamento a condensazione ad alto rendimento (classe A) adatta anche per installazione a cascata, con scambiatore termico in alluminio-silicio, bruciatore in acciaio inox, con superficie in fibra metallica per la combustione del metano a bassa emissione di sostanze nocive, ventilatore alimentato a corrente continua con velocità costante, controllo aria comburente per mezzo del sensore della pressione differenziale, regolazione gas/aria per ottimizzare la combustione e modulazione della potenza, funzionamento del bruciatore completamente automatico, con accensione ad alta tensione e controllo della fiamma di ionizzazione, pannello di comando della caldaia integrato, dispositivo di sicurezza a microprocessore, valvola del gas combinata composta da due valvole. La Tabella 5.68 riporta i costi del generatore per diverse potenze nominali; la Figura 5.24 riporta la relazione tra il costo normalizzato del generatore per la potenza nominale.

Tabella 5.68 Costi e caratteristiche delle caldaie a condensazione di taglia grande.

Caldaia a condensazione – taglia grande		
Potenza termica nominale	Costo	Costo per unità di potenza termica nominale
[kW]	[€]	[€/kW]
115	6.995	61
150	9.023	60
200	10.352	52
240	12.161	51
280	13.220	47

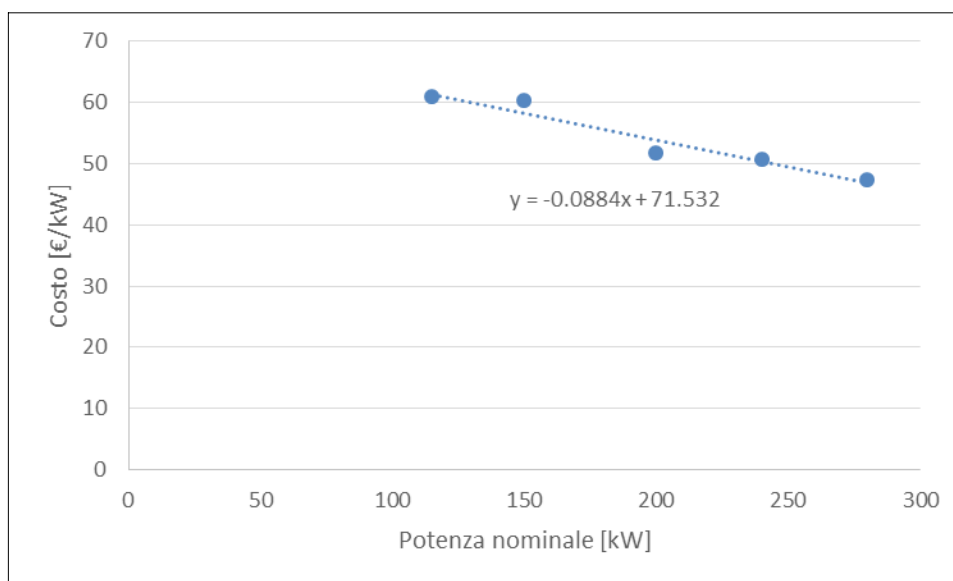


Figura 5.24 Costi normalizzati delle caldaie a condensazione di taglia grande.

In questo lavoro si è fatto riferimento, in particolare, alla relazione tra il costo normalizzato e la potenza nominale del generatore. Infatti, per valutare il costo del generatore, sono state considerate cinque fasce di potenza nominale (v.

), ciascuna associata ad una taglia di generatore e ad un'equazione per la definizione del costo normalizzato. Come per la caldaia tradizionale a bassa temperatura, sono state fatte le seguenti assunzioni:

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

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

La Tabella 5.69 riporta il riepilogo dei costi (tecnologia e manodopera) relativi all'installazione di caldaie a condensazione come generatori di calore per il riscaldamento centralizzato.

Tabella 5.69 Riepilogo dei costi per l'installazione di generatori di calore per riscaldamento centralizzato – caldaia a condensazione.

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

Per quanto riguarda la pompa di calore, è stata considerata una pompa di calore a compressione aria-acqua. Per la definizione dei costi, sono state considerate diverse macchine di potenza e costo variabile. Attraverso l'analisi dell'andamento del costo normalizzato in funzione della potenza è stato possibile definire mediante regressione il costo della macchina tipo con potenza termica compresa nel range considerato (25 – 170 kW_t). In particolare, è stata considerata un'unità motocondensante esterna a volume (flusso) di refrigerante variabile a recupero di calore, condensata ad aria dotata di compressori ermetici del tipo scroll ad inverter, variazione automatica e dinamica della temperatura di evaporazione/condensazione del refrigerante, riscaldamento continuo durante la fase di sbrinamento, delle funzioni di carica e verifica automatica del quantitativo di refrigerante presente all'interno dell'impianto, possibilità di alimentazione mediante circuito frigorifero a due o tre tubi in rame di unità interne di diversa tipologia con una potenzialità totale sino al 200% della potenzialità totale dell'unità esterna, trasmissione dati mediante cavo di bus del tipo bipolare non polarizzato, struttura esterna in lamiera zincata con verniciatura acrilica, griglie di ripresa aria batterie disposte sui lati maggiori della macchina con espulsione dall'alto mediante uno o più ventilatori elicoidali a basso numero di giri equilibrati dinamicamente e staticamente. In Tabella 5.70 vengono riportati i costi riferiti a diverse potenze e nelle Figure Figura 5.25 e Figura 5.26 la relazione tra la potenza nominale del generatore e il costo normalizzato.

Tabella 5.70 Costi e caratteristiche delle pompe di calore aria-acqua.

Pompa di calore aria-acqua							
Costo	Potenza nominale termica ed elettrica			COP medio	ERR medio	Costo per unità di potenza termica nominale	
	[kW _t]	[kW _e]	[kW _{assorbiti}]			[€/kW _t]	[€/kW _e]
7.494	25,0	22,4	4,56	5,48	4,91	300	335
9.145	31,5	28,0	6,19	5,09	4,52	290	327
10.263	37,5	33,5	8,31	4,51	4,03	274	306
11.973	45,0	40,0	9,61	4,68	4,16	266	299
14.988	50,0	45,0	9,88	5,06	4,55	300	333
16.047	56,5	50,4	15,20	3,72	3,32	284	318
17.757	63,0	56,0	18,60	3,39	3,01	282	317
18.816	69,0	61,5	16,38	4,21	3,75	273	306
21.170	75,0	67,4	18,11	4,14	3,72	282	314

Pompa di calore aria-acqua							
Costo	Potenza nominale termica ed elettrica			COP medio	ERR medio	Costo per unità di potenza termica nominale	
	[kW _t]	[kW _e]	[kW _{assorbiti}]			[€/kW _t]	[€/kW _e]
22.237	82,5	73,5	19,93	4,14	3,69	270	303
23.939	87,5	78,5	19,25	4,55	4,08	274	305
25.997	94,0	83,9	24,43	3,85	3,43	277	310
27.352	100,0	90,0	22,40	4,46	4,02	274	304
29.410	106,5	95,4	28,00	3,80	3,41	276	308
30.722	113,0	101,0	31,40	3,60	3,22	272	304
33.491	119,0	106,3	29,74	4,00	3,57	281	315
34.549	125,5	111,9	31,58	3,97	3,54	275	309
35.904	131,5	118	32,75	4,02	3,60	273	304
37.615	137,5	123,5	34,83	3,95	3,55	274	305
39.325	145,0	130	36,3	3,99	3,58	271	303
41.027	150,0	135	38,4	3,91	3,52	274	304
43.085	156,5	140	40,8	3,84	3,43	275	308
45.143	163,0	145,8	43,2	3,77	3,38	277	310
47.201	169,5	151,2	45,6	3,72	3,32	278	312

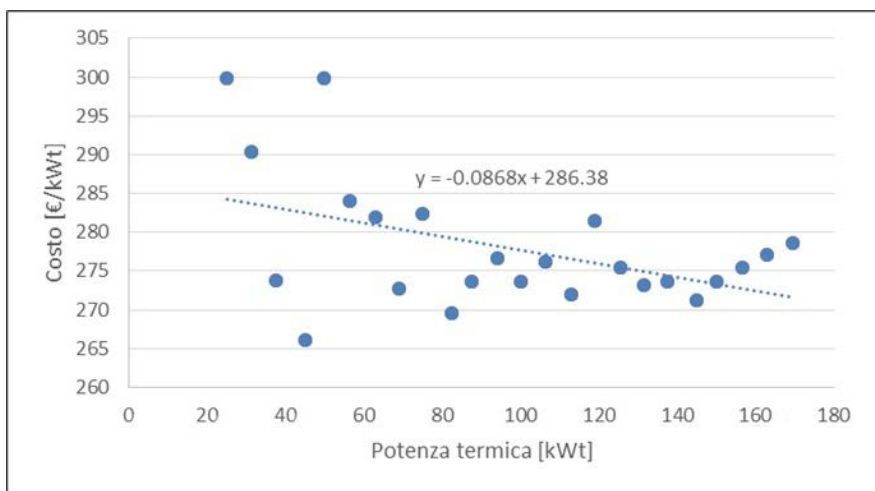


Figura 5.25 Costi normalizzati (€/kW_t) delle pompe di calore aria-acqua.

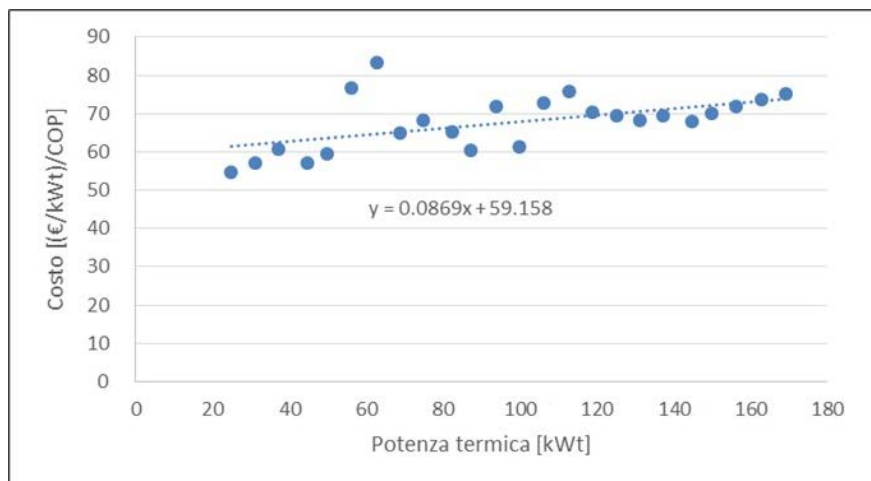


Figura 5.26 Costi normalizzati ($[\text{€/kW}_t]/\text{COP}$) delle pompe di calore aria-acqua.

In questo lavoro si è fatto riferimento, in particolare, alla relazione tra il costo normalizzato ($\text{€/kW} \cdot \text{COP}$) e la potenza nominale del generatore. Infatti, per valutare il costo del generatore, sono state considerate tre fasce di potenza nominale. In Tabella 5.71 sono riportati i costi per il generatore di calore in riferimento alla potenza. Come per i generatori di calore riportati precedentemente, sono state fatte le seguenti assunzioni:

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

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

Tabella 5.71 Riepilogo dei costi per l'installazione di generatori di calore per riscaldamento centralizzato – pompa di calore aria-acqua.

Edificio	Potenza termica nominale	Costo per unità di potenza elettrica nominale	Costo manodopera
	[kW]	[€/kW]	[%]
Esistente	< 25	61,33	10
	25 – 170	$0,0869 \cdot P_N + 59,158$	
	> 170	73,93	
Nuova costruzione	< 25	61,33	5
	25 – 170	$0,0869 \cdot P_N + 59,158$	
	> 170	73,93	

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

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

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

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

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

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

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

Al costo della tecnologia, è necessario aggiungere il costo relativo alla manodopera per l'installazione dei sistemi. In particolare, per interventi su edifici esistenti, la manodopera equivale al 10% del costo della tecnologia, mentre è uguale al 5% per gli edifici di nuova costruzione. La Tabella 5.72 riporta il riepilogo dei costi per l'installazione dei sistemi autonomi di produzione di acqua calda sanitaria.

Tabella 5.72 Riepilogo dei costi per l'installazione di generatori di calore autonomi per la produzione di acqua calda sanitaria.

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

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

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

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

- Caldaia a condensazione autonoma per edifici ad uso residenziale;
- Caldaia a condensazione o pompa di calore con accumulo centralizzato per edifici ad uso non residenziale.

Per la definizione dei costi della caldaia a condensazione combinata per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria in edifici ad uso residenziale è stata considerata una caldaia murale a condensazione ad alto rendimento (classe A) con scambiatore termico e bruciatore in acciaio inox, con superficie in fibra metallica per la combustione del metano a bassa emissione di sostanze nocive, ventilatore alimentato a corrente continua con velocità variabile, regolazione gas/aria per ottimizzare la combustione, valvola del gas combinata, modulazione della potenza, funzionamento del bruciatore completamente automatico, con accensione ad alta tensione e controllo della fiamma di ionizzazione, pannello di comando della caldaia integrato, dispositivo di sicurezza a microprocessore, in opera esclusi circolatori, vaso d'espansione e collegamenti elettrici. La Tabella 5.73 riporta i costi del generatore in relazione a diverse taglie, mentre la Figura 5.27 mostra la relazione tra il costo normalizzato del generatore e la sua potenza nominale. I costi riportati sono comprensivi del costo relativi alla manodopera.

Tabella 5.73 Costi e caratteristiche delle caldaie a condensazione per il riscaldamento e la produzione combinata di acqua calda sanitaria per edifici ad uso residenziale (impianti autonomi).

Caldaia a condensazione (riscaldamento e ACS)

– edifici ad uso residenziale		
Potenza termica nominale	Costo	Costo per unità di potenza termica nominale
[kW]	[€]	[€/kW]
25	2.357	94
30	2.454	82
34	2.619	76

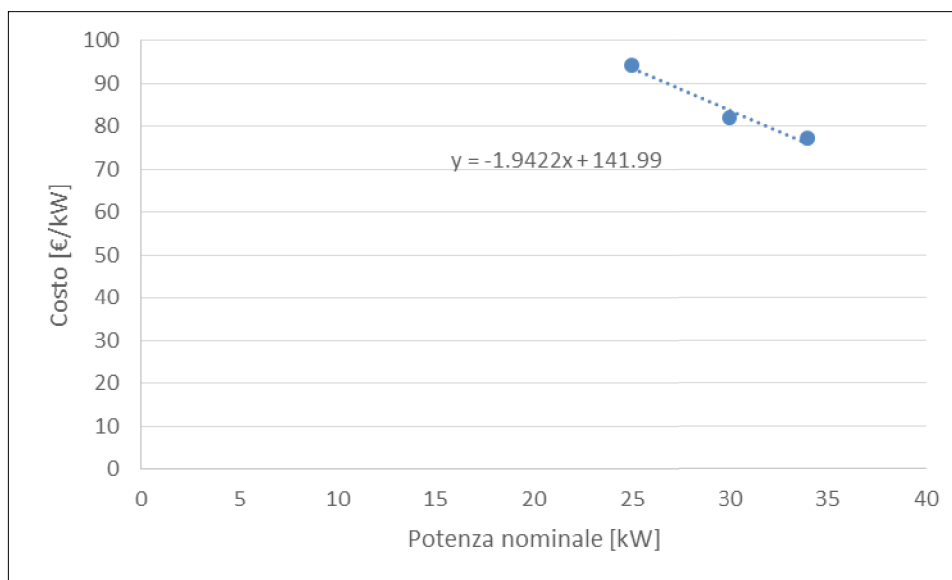


Figura 5.27 Costi normalizzati delle caldaie a condensazione per il riscaldamento e la produzione combinata di acqua calda sanitaria per edifici ad uso residenziale (impianti autonomi).

Nel presente lavoro, sono state fatte le seguenti assunzioni:

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

La Tabella 5.74 riporta il riepilogo dei costi (tecnologia e manodopera) relativi all'installazione di caldaie a condensazione autonome come generatori di calore combinati per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria.

Tabella 5.74 Riepilogo dei costi per l'installazione di generatori di calore combinati per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria – edifici ad uso residenziale (impianti autonomi).

Riepilogo costi – caldaia a condensazione (riscaldamento e ACS)			
Potenza termica nominale	Costo per unità di potenza termica nominale	Costo	Costo manodopera
[kW]	[€/kW]	[€]	
≤ 25	94	$94 \cdot P_N$	Inclusa
25 – 34	$-1,9422 \cdot P_N + 141,99$	$(-1,9422 \cdot P_N + 141,99) \cdot P_N$	
≥ 34	76	$76 \cdot P_N$	

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

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

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

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

Per il costo della pompa di calore si fa riferimento alla Sezione 5.3.2, alle Tabelle Tabella 5.70 e Tabella 5.71, e alle Figure Figura 5.25 e Figura 5.26, maggiorato dei costi di manodopera (pari al 10% e al 5% del costo del generatore, rispettivamente per edifici esistenti e di nuova costruzione).

5.3.6 Costi aggiuntivi associati alle misure EEM8, EEM10 e EEM11

5.3.6.1 Terminali di emissione

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

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

Per quanto riguarda i ventilconvettori, sono stati considerati ventilconvettore con ventilatore di mandata del tipo centrifugo assiale costituito da carter in lamiera metallica verniciata a fuoco, telaio portante in profilati metallici, vasca di raccolta condensa, filtri in materiale sintetico rigenerabile, commutatore di velocità a tre posizioni, piedini di sostegno, con le seguenti prestazioni in condizioni medie di funzionamento (temperatura acqua in raffreddamento 7/12 °C, temperatura acqua in riscaldamento 50/40 °C), con una batteria a 4 ranghi, con mobile per installazione verticale. I costi sono stati per diverse potenze, riportati nelle Tabelle Tabella 5.75 e Tabella 5.76 e sono state ricavate delle relazioni di estrapolazione da utilizzare per la valutazione del costo del sistema tipo con potenza termica compresa nel range considerato (Figura 5.28). I costi riportati sono comprensivi del costo relativo alla manodopera.

Tabella 5.75 Costi e caratteristiche dei ventilconvettori ad uso riscaldamento.

Ventilconvettori – uso riscaldamento		
Costo	Potenza termica nominale	Costo per unità di potenza termica nominale
[€]	[kW _t]	[€/kW _t]
292	1,27	229,6
313	1,72	181,6
339	2,23	152,2

Ventilconvettori – uso riscaldamento		
Costo	Potenza termica nominale	Costo per unità di potenza termica nominale
[€]	[kW _t]	[€/kW _t]
358	2,72	131,7
379	3,81	99,4
414	4,69	88,3
457	5,55	82,4
518	7,36	70,3
538	8,53	63,1

Tabella 5.76 Costi e caratteristiche dei ventilconvettori ad uso raffrescamento.

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

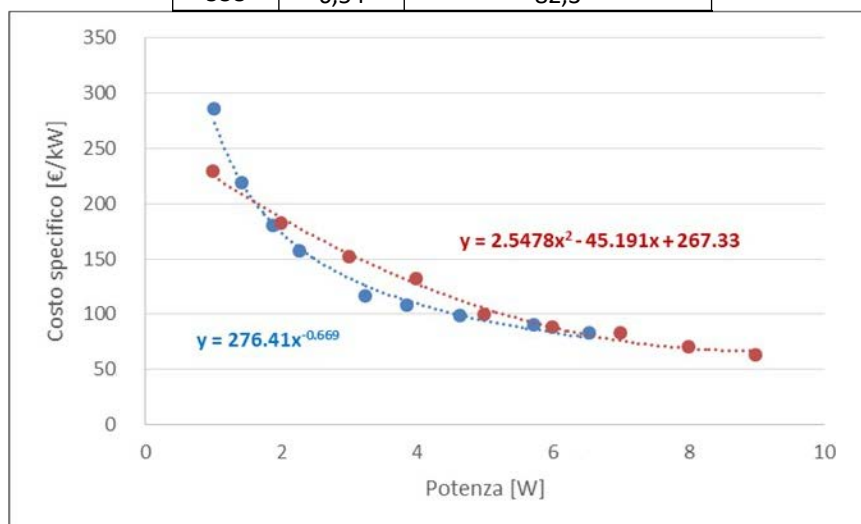


Figura 5.28 Costi normalizzati dei ventilconvettori ad uso riscaldamento (in rosso) e raffrescamento (in blu).

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

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

La Tabella 5.77 riporta il riepilogo dei costi (tecnologia e manodopera) relativi all'installazione di ventilconvettori ad uso riscaldamento.

Tabella 5.77 Riepilogo dei costi dei ventilconvettori ad uso riscaldamento.

Riepilogo costi – ventilconvettori (uso riscaldamento)			
Potenza termica nominale	Costo per unità di potenza termica nominale	Costo	Costo manodopera
[kW]	[€/kW]	[€]	
$\leq 1,27$	229,6	$229,6 \cdot P_N$	Inclusa
$1,27 - 8,53$	$2,5478 \cdot P_N^2 - 45,191 \cdot P_N + 267,33$	$(2,5478 \cdot P_N^2 - 45,191 \cdot P_N + 267,33) \cdot P_N$	
$\geq 8,53$	8,53	$8,53 \cdot P_N$	

Invece, per i ventilconvettori ad uso raffrescamento:

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

La Tabella 5.78 riporta il riepilogo dei costi (tecnologia e manodopera) relativi all'installazione di ventilconvettori ad uso raffrescamento.

Tabella 5.78 Riepilogo dei costi dei ventilconvettori ad uso raffrescamento.

Riepilogo costi – ventilconvettori (uso raffrescamento)			
Potenza termica nominale	Costo per unità di potenza termica nominale	Costo	Costo manodopera
[kW]	[€/kW]	[€]	
$\leq 1,02$	285,9	$285,9 \cdot P_N$	Inclusa
$1,02 - 5,3$	$276,41 \cdot P_N^{-0,669}$	$276,41 \cdot P_N^{-0,669} \cdot P_N$	
$\geq 5,3$	90,3	$90,3 \cdot P_N$	

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

Per quanto riguarda i radiatori, sono stati considerati radiatori in alluminio ad elementi componibili con profondità compresa tra 95 e 100 mm, preverniciati al forno con polveri epossidiche e preassemblati mediante nipples in acciaio. I costi sono stati valutati per diverse potenze, riportati nella Tabella 5.79 e sono state ricavate delle relazioni di estrapolazione da utilizzare per la valutazione del costo del sistema tipo con potenza termica compresa nel range considerato (Figura 5.29). I costi riportati sono comprensivi del costo relativo alla manodopera.

Tabella 5.79 Costi e caratteristiche dei radiatori.

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

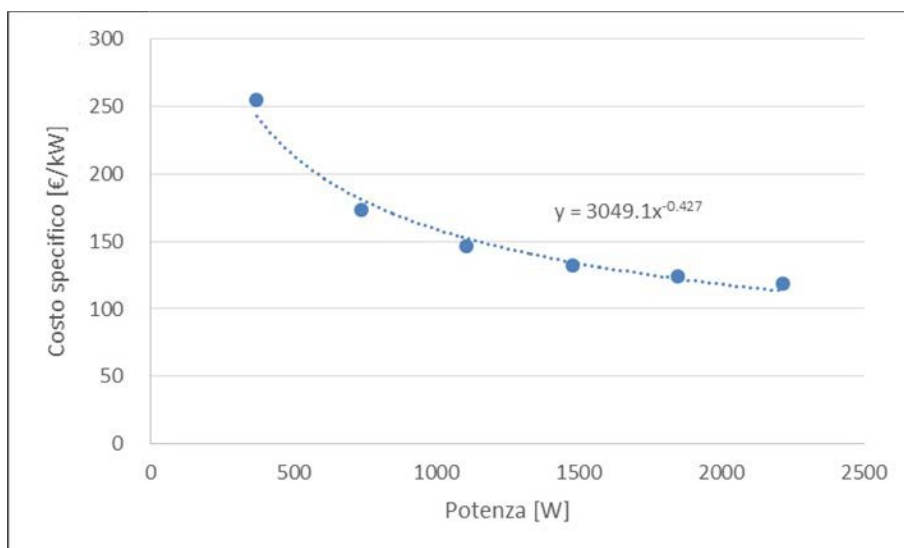


Figura 5.29 Costi normalizzati dei radiatori.

Nel presente lavoro, sono state fatte le seguenti assunzioni:

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

La Tabella 5.80 riporta il riepilogo dei costi (tecnologia e manodopera) relativi all'installazione di radiatori.

Tabella 5.80 Riepilogo dei costi dei radiatori.

Riepilogo costi – radiatori			
Potenza termica nominale	Costo per unità di potenza termica nominale	Costo	Costo manodopera
[kW]	[€/kW]	[€]	
$\leq 0,37$	254,6	$254,6 \cdot P_N$	Inclusa
0,37 – 2,2	$3049,1 \cdot P_N^{-0,427}$	$3049,1 \cdot P_N^{-0,427} \cdot P_N$	
$\geq 82,2$	118,4	$118,4 \cdot P_N$	

Infine, per quanto riguarda i pannelli radianti, è stato considerato un impianto a pavimento completo di pannelli porta tubo, tubazione in polietilene reticolato, bordatura isolante, collettori di distribuzione, giunti di dilatazione, centralina climatica di regolazione, valvola motorizzata a tre vie da 1/2", valvola di taratura e disareatore. Il costo normalizzato del sistema (riportato in Tabella 5.81) è espresso in funzione della superficie utile di pavimento ed è comprensivo del costo relativo alla manodopera.

Tabella 5.81 Costi e caratteristiche dei pannelli radianti.

Costo pannelli radianti		
Costo normalizzato	Costo	Costo manodopera
[€/m ²]	[€]	
101	101 · S _p	Inclusa

5.3.6.2 Serbatoio di accumulo

In presenza di una pompa di calore, per questa misura è necessario aggiungere i costi relativi al sistema di accumulo di acqua calda. Per la definizione dei costi, si fa riferimento ad un bollitore modulare (classe C) in acciaio, verticale e coibentato, con temperatura massima di accumulo pari a 99°C, corredato di termostato e termometro, e scambiatore spirale fisso. La Tabella 5.82 riporta i costi dell'accumulo in relazione a diverse capacità, mentre la Figura 5.30 Costi normalizzati dei sistemi di accumulo. mostra la relazione tra il costo normalizzato dell'accumulo e la sua capacità. I costi riportati sono comprensivi del costo relativi alla manodopera.

Tabella 5.82 Costi e caratteristiche dei sistemi di accumulo.

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

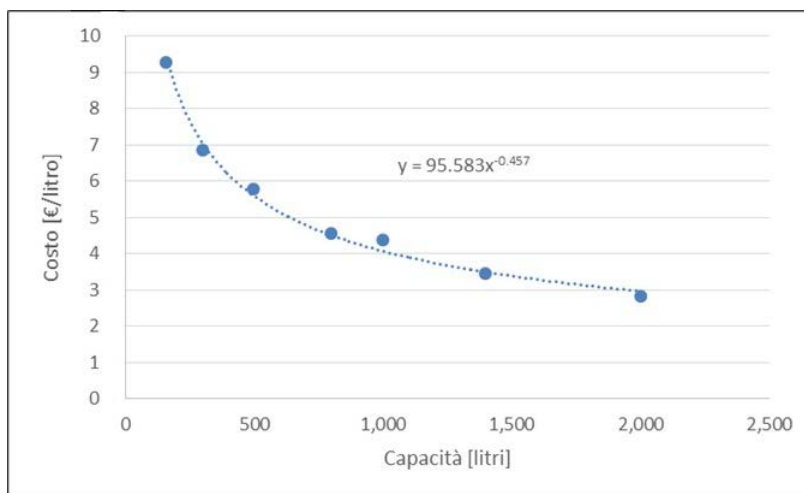


Figura 5.30 Costi normalizzati dei sistemi di accumulo.

Nel presente lavoro, sono state fatte le seguenti assunzioni:

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

La Tabella 5.83 riporta il riepilogo dei costi (tecnologia e manodopera) relativi all'installazione di sistemi di accumulo.

Tabella 5.83 Riepilogo dei costi dei sistemi di accumulo.

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

5.3.7 EEM12: Impianto solare termico

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

I costi sono stati valutati per diverse superfici dei collettori, riportati in Tabella 5.84, e sono state ricavate delle relazioni di estrapolazione da utilizzare per la valutazione del costo del sistema tipo con potenza termica compresa nel range considerato (Figura 5.31). I costi riportati sono comprensivi del costo relativo all'accumulo di acqua calda e alla manodopera.

Tabella 5.84 Costi e caratteristiche dei collettori solari termici.

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

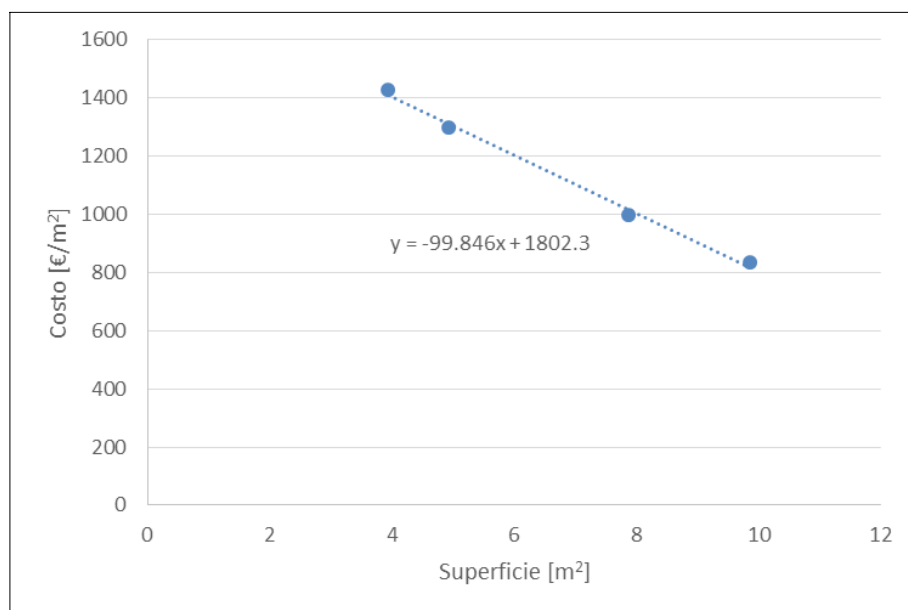


Figura 5.31 Costi normalizzati dei collettori solari termici.

Nel presente lavoro, sono state fatte le seguenti assunzioni:

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

La Tabella 5.85 riporta il riepilogo dei costi (tecnologia, accumulo e manodopera) relativi all'installazione dell'impianto solare termico.

Tabella 5.85 Riepilogo dei costi degli impianti solari termici.

Riepilogo costi – impianto solare termico				
Superficie del collettore	Costo normalizzato	Costo	Costo accumulo	Costo manodopera
[m ²]	[€/m ²]	[€]		
≤ 4	1400	1400 · A _{coll}	Inclusa	Inclusa
4 – 10	-99,846 · A _{coll} + 1802,3	(-99,846 · A _{coll} + 1802,3) · A _{coll}		
≥ 10	804	804 · A _{coll}		

5.3.8 EEM13: Impianto solare fotovoltaico

La misura consiste nell'installazione di un impianto solare fotovoltaico, comprensivo di pannelli in silicio multi-cristallino installati in copertura, inverter e quadro di controllo. I costi dell'impianto variano con la potenza di picco del pannello e sono riportati in Tabella 5.86.

Tabella 5.86 Riepilogo dei costi degli impianti solari fotovoltaici.

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

5.3.9 EEM14: Ventilazione meccanica con recuperatore di calore

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

- Recuperatore di calore compatto con scambiatore di calore statico a flussi incrociati (tipologia 1), completo di filtri classe G4, ventilatori centrifughi a doppia aspirazione direttamente accoppiati a girante pale avanti, motore con alimentazione elettrica 230 V-1-50 grado di protezione IP 20, classe d'isolamento F, sono esclusi gli eventuali staffaggi e supporti antivibranti. La Tabella 5.87 riporta i costi del recuperatore di calore per diverse portate massime d'aria; il grafico in Figura 5.32 riporta la relazione tra il costo normalizzato del recuperatore per la portata d'aria. I costi seguenti si assumono comprensivi dei costi relativi alla manodopera.

Tabella 5.87 Costi e caratteristiche dei recuperatori di calore – tipologia 1.

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

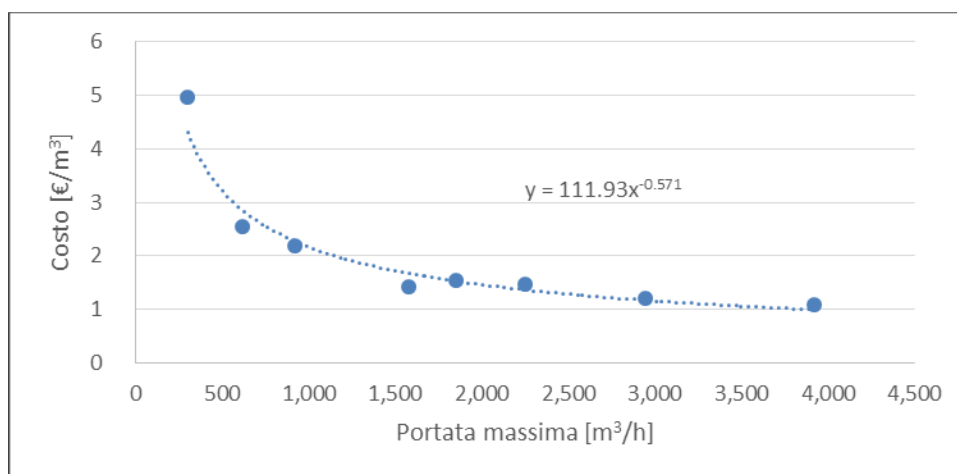


Figura 5.32 Costi normalizzati dei recuperatori di calore – tipologia 1.

Nel presente lavoro, sono state fatte le seguenti assunzioni:

- Per portate inferiori a 300 m³/h, si assume un costo normalizzato costante pari a 5 €/m³/h;
- Per portate comprese tra 300 m³/h e 4000 m³/h, il costo normalizzato del recuperatore varia in relazione alla portata d'aria del recuperatore;

- Per portate superiori a 4000 m³/h, si assume un costo normalizzato costante pari a 1 €/m³/h).
- Recuperatore di calore statico (tipologia 2), completo di filtri d'aria (mandata e ripresa) a setto ondulato G4, filtro di ripresa dotato di un pressostato differenziale, con telaio portante e pannelli sandwich spessore 25 mm in lamiera zincata per la superficie interna e preverniciata esterna con isolamento in lana minerale, con ventilatori centrifughi e pale ricurve, alimentazione elettrica 230 V-1-50 Hz. La Tabella 5.88 riporta i costi del recuperatore di calore per diverse portate massime d'aria; il grafico in Figura 5.33 riporta la relazione tra il costo normalizzato del recuperatore per la portata d'aria. I costi seguenti si assumono comprensivi dei costi relativi alla manodopera.

Tabella 5.88 Costi e caratteristiche dei recuperatori di calore – tipologia 2.

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

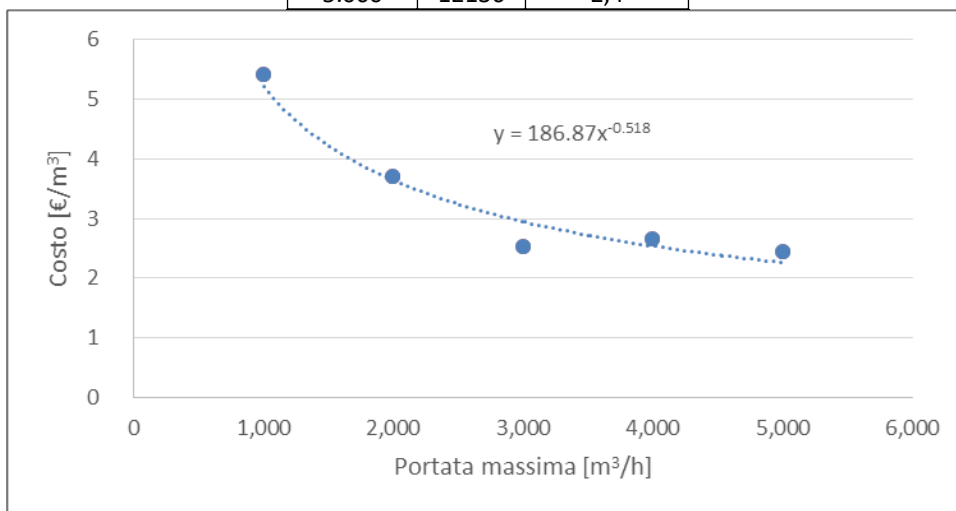


Figura 5.33 Costi normalizzati dei recuperatori di calore – tipologia 2.

Nel presente lavoro, sono state fatte le seguenti assunzioni:

- Per portate inferiori a 1000 m³/h, si assume un costo normalizzato costante pari a 5,4 €/m³/h;
- Per portate comprese tra 1000 m³/h e 5000 m³/h, il costo normalizzato del recuperatore varia in relazione alla portata d'aria del recuperatore;
- Per portate superiori a 5000 m³/h, si assume un costo normalizzato costante pari a 2,3 €/m³/h).
- Recuperatore di calore rotativo (tipologia 3), completo di filtri d'aria (mandata e ripresa) a tasche flosce F7 dotati di serie di un pressostato differenziale, motore con telaio portante e pannelli sandwich di spessore 50 mm in lamiera zincata per la superficie interna e preverniciata esterna con

isolamento in lana minerale, con ventilatori plug fan a pale curve indietro con alimentazione elettrica 230 V-1-50 Hz, esclusi gli eventuali staffaggi e supporti antivibranti. La Tabella 5.89 riporta i costi del recuperatore di calore per diverse portate massime d'aria; il grafico in Figura 5.34 riporta la relazione tra il costo normalizzato del recuperatore per la portata d'aria. I costi seguenti si assumono comprensivi dei costi relativi alla manodopera.

Tabella 5.89 Costi e caratteristiche dei recuperatori di calore – tipologia 3.

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

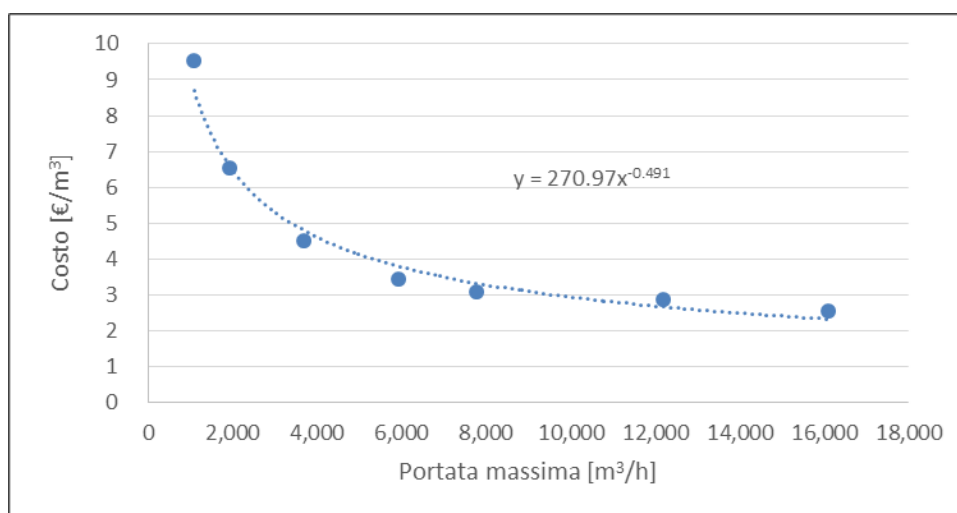


Figura 5.34 Costi normalizzati dei recuperatori di calore – tipologia 3.

Nel presente lavoro, sono state fatte le seguenti assunzioni:

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

La Tabella 5.90 riporta il riepilogo dei costi relativi ai tre diversi tipi di scambiatore di calore.

Tabella 5.90 Riepilogo costi dei recuperatori di calore.

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

Al costo dei recuperatori, è necessario aggiungere i costi relative alle condotte per reti aerauliche. In particolare, si fa riferimento a condotte rettilinee a sezione circolare in lamiera zincata, lunghezza standard alla produzione e prive di coibentazione, eseguite in classe di tenuta A (secondo norma UNI EN 12237 [28]). La Tabella 5.91 riporta i costi normalizzati delle condotte per diversi spessori di lamiera e di diametro delle condotte.

Tabella 5.91 Riepilogo costi delle condotte per le reti aerauliche.

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

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

5.3.10 EEM15: Sistema di regolazione

La misura consiste nell'installazione di un sistema di regolazione ad alta efficienza, o la sostituzione dei sistemi esistenti con sistemi a maggiore efficienza. In particolare, sono stati considerati tre tipi di sistemi di regolazione: di zona, ambiente e di zona più climatica. A differenza delle altre tecnologie, i costi dei sistemi di regolazione sono stati valutati riferiti nello specifico a ciascuno dei tredici edifici di riferimento; il costo è infatti dipendente dal numero di unità immobiliari e dal numero di sistemi di emissione installati. Di seguito vengono riportate le caratteristiche dei sistemi di regolazione considerati e i relativi costi per unità immobiliare (Tabella 5.92, Tabella 5.93 e Tabella 5.94):

- Regolazione di zona: termostato ambiente con regolazione a due posizioni, per montaggio a parete in cassetta con grado di protezione IP30, con manopola di regolazione del set-point su scala

5 ÷ 30 °C, isteresi 0,5 K, ed elemento sensibile bimetallico, alimentazione 230 V-1-50 Hz, con commutazione estate inverno.

Tabella 5.92 Costi dei sistemi di regolazione – di zona.

Sistema di regolazione di zona	
Edificio	Costo per unità immobiliare
	[€]
RMF_E1_E	47,6
RMF_E1_B	47,6
RMF_E2_E	47,6
RMF_E2_B	47,6
RMF_NO_E	47,6
RMF_NO_B	47,6
RPC_E1_E	47,6
RPC_E1_B	47,6
RPC_E2_E	47,6
RPC_E2_B	47,6
RPC_NO_E	47,6
RPC_NO_B	47,6
RGC_E1_E	47,6
RGC_E1_B	47,6
RGC_E2_E	47,6
RGC_E2_B	47,6
RGC_NO_E	47,6
RGC_NO_B	47,6
UFF_E1_E	119,0
UFF_E1_B	119,0
UFF_E2_E	444,3
UFF_E2_B	444,3
UFF_NO_E	341,1
UFF_NO_B	341,1
SCU_E1_E	885,4
SCU_E1_B	885,4

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

Tabella 5.93 Costi dei sistemi di regolazione – ambiente.

Costi sistema di regolazione ambiente	
Edificio	Costo per unità immobiliare
	[€]
RMF_E1_E	214,2
RMF_E1_B	214,2
RMF_E2_E	261,8
RMF_E2_B	261,8

Costi sistema di regolazione ambiente	
Edificio	Costo per unità immobiliare
	[€]
RMF_NO_E	119,0
RMF_NO_B	119,0
RPC_E1_E	95,2
RPC_E1_B	95,2
RPC_E2_E	119,0
RPC_E2_B	119,0
RPC_NO_E	95,2
RPC_NO_B	95,2
RGC_E1_E	95,2
RGC_E1_B	95,2
RGC_E2_E	95,2
RGC_E2_B	95,2
RGC_NO_E	95,2
RGC_NO_B	95,2
UFF_E1_E	238,0
UFF_E1_B	238,0
UFF_E2_E	1332,8
UFF_E2_B	1332,8
UFF_NO_E	1023,4
UFF_NO_B	1023,4
SCU_E1_E	4426,8
SCU_E1_B	4426,8

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

Tabella 5.94 Costi dei sistemi di regolazione – di zona + climatica.

Costi sistema di regolazione zona + climatica	
Edificio	Costo per unità immobiliare
	[€]
RMF_E1_E	81,9
RMF_E1_B	81,9
RMF_E2_E	81,9
RMF_E2_B	81,9
RMF_NO_E	81,9
RMF_NO_B	81,9
RPC_E1_E	50,5
RPC_E1_B	50,5
RPC_E2_E	50,5
RPC_E2_B	50,5

Costi sistema di regolazione zona + climatica	
Edificio	Costo per unità immobiliare
	[€]
RPC_NO_E	53,3
RPC_NO_B	53,3
RGC_E1_E	49,0
RGC_E1_B	49,0
RGC_E2_E	48,3
RGC_E2_B	48,3
RGC_NO_E	49,0
RGC_NO_B	49,0
UFF_E1_E	153,3
UFF_E1_B	153,3
UFF_E2_E	478,6
UFF_E2_B	478,6
UFF_NO_E	375,4
UFF_NO_B	375,4
SCU_E1_E	919,7
SCU_E1_B	919,7

Per tutti i sistemi di regolazione, è necessario aggiungere il costo relativo alla manodopera per l'installazione dei sistemi. In particolare, per interventi su edifici esistenti, la manodopera equivale al 10% del costo della tecnologia, mentre è uguale al 5% per gli edifici di nuova costruzione. La Tabella 5.95 riporta il riepilogo dei costi dei tre sistemi di regolazione comprensivi di manodopera.

Tabella 5.95 Riepilogo costi dei sistemi di regolazione.

Riepilogo costi – sistemi di regolazione								
Edificio			Regolazione di zona		Regolazione ambiente		Regolazione zona + ambiente	
Sigla	Epoca	N. u.i.	Costo per unità immobiliare	Costo*	Costo per unità immobiliare	Costo*	Costo per unità immobiliare	Costo*
			[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]
RMF_E1_E	Esistente	1	47,6	52,4	214,2	235,6	81,9	90,1
RMF_E1_B	Esistente	1	47,6	52,4	214,2	235,6	81,9	90,1
RMF_E2_E	Esistente	1	47,6	52,4	261,8	288,0	81,9	90,1
RMF_E2_B	Esistente	1	47,6	52,4	261,8	288,0	81,9	90,1
RMF_NO_E	Nuovo	1	47,6	50,0	119,0	125,0	81,9	86,0
RMF_NO_B	Nuovo	1	47,6	50,0	119,0	125,0	81,9	86,0
RPC_E1_E	Esistente	12	47,6	628,3	95,2	1256,6	50,5	666,1
RPC_E1_B	Esistente	12	47,6	628,3	95,2	1256,6	50,5	666,1
RPC_E2_E	Esistente	12	47,6	628,3	119,0	1570,8	50,5	666,1
RPC_E2_B	Esistente	12	47,6	628,3	119,0	1570,8	50,5	666,1
RPC_NO_E	Nuovo	6	47,6	299,9	95,2	599,8	53,3	335,9
RPC_NO_B	Nuovo	6	47,6	299,9	95,2	599,8	53,3	335,9
RGC_E1_E	Esistente	24	47,6	1256,6	95,2	2513,3	49,0	1294,4
RGC_E1_B	Esistente	24	47,6	1256,6	95,2	2513,3	49,0	1294,4

Riepilogo costi – sistemi di regolazione								
Edificio			Regolazione di zona		Regolazione ambiente		Regolazione zona + ambiente	
Sigla	Epoca	N. u.i.	Costo per unità immobiliare	Costo*	Costo per unità immobiliare	Costo*	Costo per unità immobiliare	Costo*
			[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]
RGC_E2_E	Esistente	48	47,6	2513,3	95,2	5026,6	48,3	2550,8
RGC_E2_B	Esistente	48	47,6	2513,3	95,2	5026,6	48,3	2550,8
RGC_NO_E	Nuovo	24	47,6	1199,5	95,2	2399,0	49,0	1235,6
RGC_NO_B	Nuovo	24	47,6	1199,5	95,2	2399,0	49,0	1235,6
UFF_E1_E	Esistente	1	119,0	130,9	238,0	261,8	153,3	168,6
UFF_E1_B	Esistente	1	119,0	130,9	238,0	261,8	153,3	168,6
UFF_E2_E	Esistente	1	444,3	488,7	1332,8	1466,1	478,6	526,5
UFF_E2_B	Esistente	1	444,3	488,7	1332,8	1466,1	478,6	526,5
UFF_NO_E	Nuovo	1	341,1	358,2	1023,4	1074,6	375,4	394,2
UFF_NO_B	Nuovo	1	341,1	358,2	1023,4	1074,6	375,4	394,2
SCU_E1_E	Esistente	1	885,4	973,9	4426,8	4869,5	919,7	1011,7
SCU_E1_B	Esistente	1	885,4	973,9	4426,8	4869,5	919,7	1011,7

*il costo è comprensivo del costo della manodopera

5.3.11 EEM16: Sistema di illuminazione

La misura consiste nell'installazione di un sistema di illuminazione ad alta efficienza, o nella sostituzione dei sistemi esistenti con sistemi a maggiore efficienza. In particolare, è stato preso in considerazione un sistema di illuminazione a lampade LED senza regolazione o con regolazione avanzata. I costi dei due sistemi si riferiscono a lampade LED di potenza installata pari a 6 W/m². Le tabelle seguenti riportano rispettivamente la descrizione dei sistemi di controllo (Tabella 5.96) e i costi dei sistemi di illuminazione considerati (Tabella 5.97).

Tabella 5.96 Descrizione del controllo dei sistemi di illuminazione.

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

Tabella 5.97 Costi e descrizione dei sistemi di illuminazione.

Sistema di illuminazione				
Potenza installata	Sistema di controllo			Costo normalizzato
	F _D	F _C	F _O	
[W/m ²]	[-]	[-]	[-]	[€/m ²]
6	1	1	1	24

6	0,9	0,9	0,8	30
---	-----	-----	-----	----

5.4 Costi dei vettori energetici

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

Analogamente al rapporto precedente [18] vengono trattati solo due vettori energetici, l'energia elettrica e il gas naturale, escludendo, quindi, sia la biomassa che il gasolio. Questa scelta discende dall'ipotesi di base che i casi studio ricadono in aree metanizzate che interessano circa il 90% dei comuni italiani.

5.4.1 Energia elettrica

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

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

Nei grafici che seguono (Figura 5.35 e Figura 5.36) viene simulato l'andamento del costo specifico del kWh al variare del livello di consumo annuo e della potenza installata (3 e 4,5 kW).

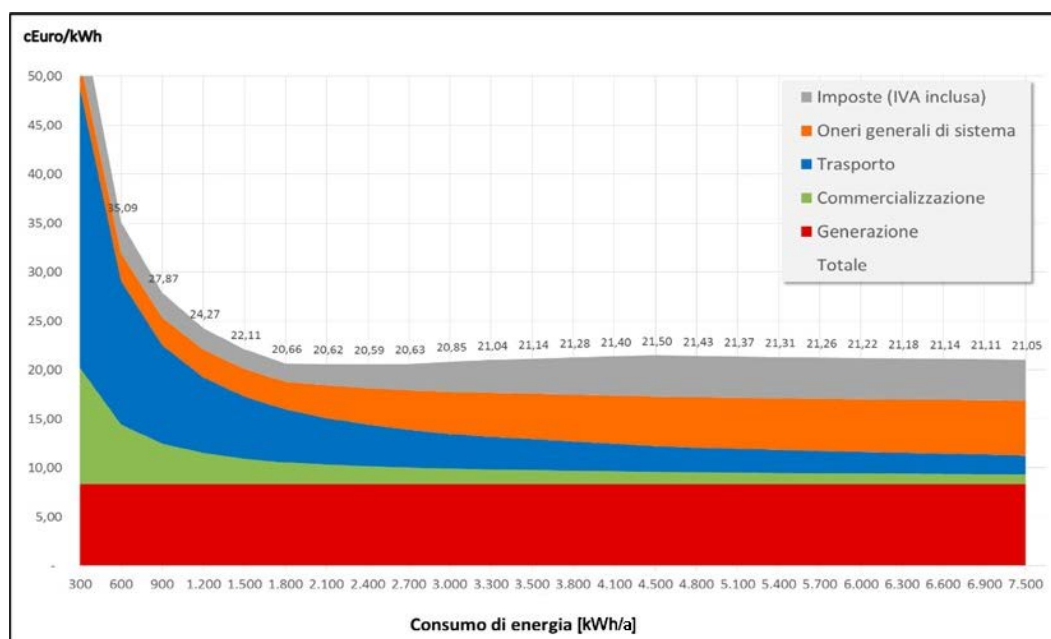


Figura 5.35 Andamento costo kWh al variare del consumo annuo ($P = 3$ kW).

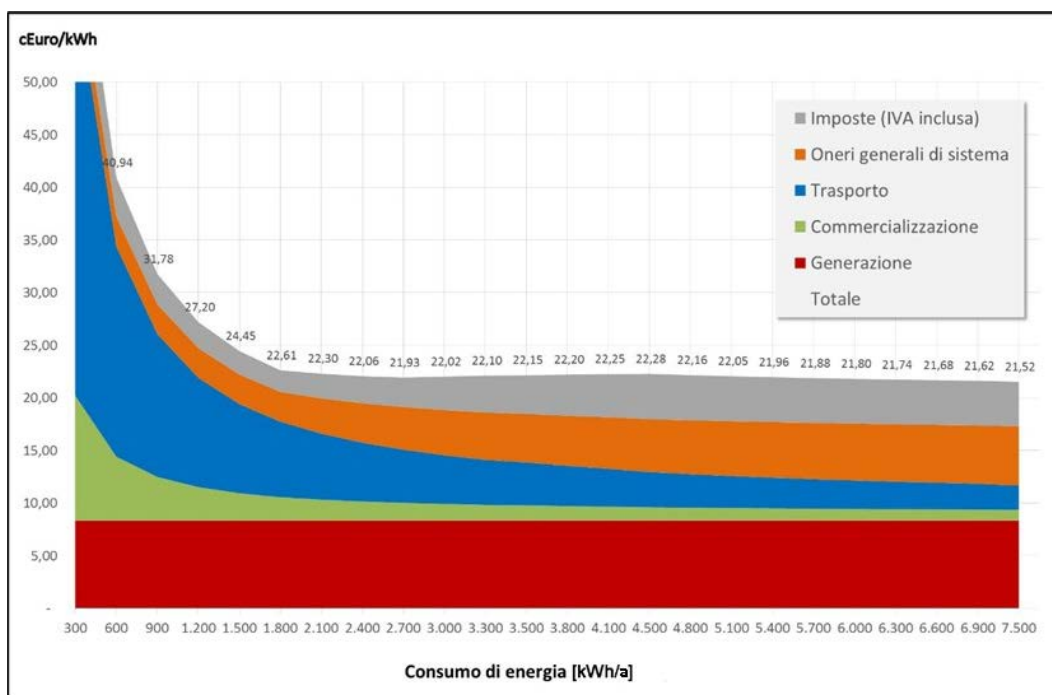


Figura 5.36 Andamento costo kWh al variare del consumo annuo ($P=4,5$ kW).

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

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

5.4.2 Gas naturale

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

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

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

Questi valori risultano inferiori a quelli considerati nella prima versione dello studio e sono legati al particolare andamento del costo dell'energia (Figura 5.37) che si sono verificati negli ultimi anni.

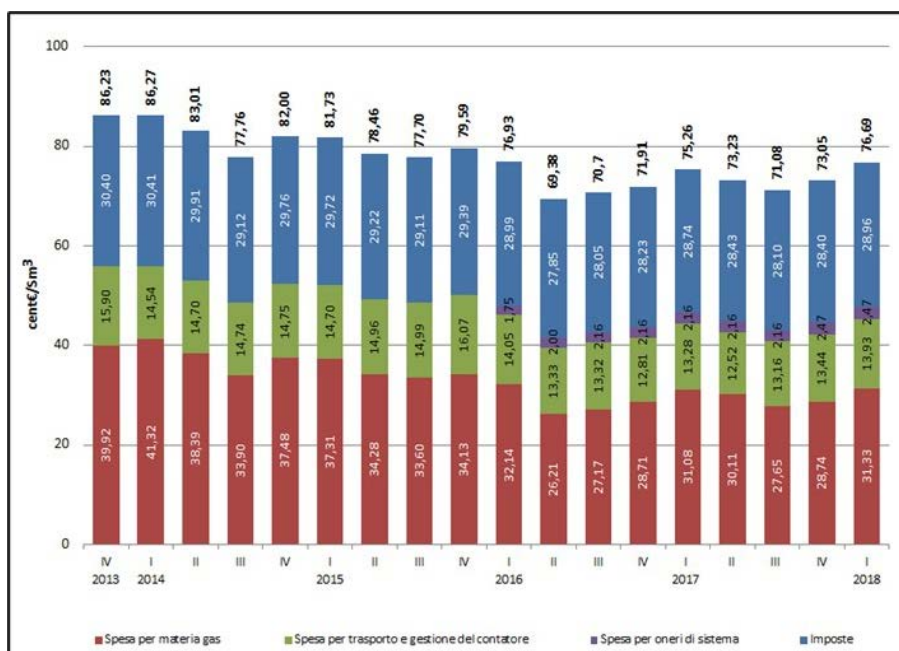


Figura 5.37 Andamento della tariffa del gas naturale [29].

5.4.3 Evoluzione del costo dei vettori energetici

Mentre con la prima versione del rapporto si era fatto riferimento ai risultati ottenuti con il modello PRIMES, con il precedente ed il corrente aggiornamento si è preferito, al fine di conseguire una maggiore uniformità con le previsioni ufficiali del Governo, basarsi sul trend di aumento dei costi per elettricità (in termini di PUN) e per il gas che è stato utilizzato per lo sviluppo della Strategia Energetica Nazionale [30]. I trend di aumento dei costi per l'elettricità e il gas sono riportati rispettivamente in Tabella 5.98 e Tabella 5.99.

Tabella 5.98 Trend di aumento dei costi per l'energia elettrica.

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

Tabella 5.99 Trend di aumento dei costi per il gas naturale.

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

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

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

Tuttavia, osservando che per le piccole utenze il prezzo dell'energia costituisce solo parte della tariffa e che costi di distribuzione e gli oneri di sistema molto probabilmente aumenteranno meno del costo delle materie prime (gas ed energia elettrica in questo caso) si è ritenuto opportuno di considerare il 75% degli

incrementi annui sopra esposti, ovvero il 3,4% (costante) e il 2,3% (medio) rispettivamente per l'elettricità e per il gas.

5.5 Costi degli edifici esistenti

Ai costi delle tecnologie riferite alle misure di efficienza energetica, per gli edifici esistenti è necessario considerare i costi di manutenzione e sostituzione dei componenti d'involucro e impiantistici esistenti. In particolare, i costi considerati sono riferiti alla manutenzione e alla sostituzione dei serramenti, del generatore per il raffrescamento, delle caldaie e, solo per gli uffici, del sistema di illuminazione. Le tabelle seguenti riportano i costi per gli edifici esistenti, rispettivamente per gli edifici residenziali (Tabella 5.100), per gli edifici ad uso uffici (Tabella 5.101) e ad uso scolastico (Tabella 5.102).

Tabella 5.100 Costi di manutenzione e sostituzione per gli edifici esistenti ad uso residenziale.

Tabella 3.100 Costi di manutenzione e sostituzione per gli edifici esistenti ad uso residenziale			
Costi edifici esistenti – edifici residenziali			
Serramenti			
Costo unitario di manutenzione annuo		Costo di sostituzione per unità di superficie	Vita utile
[€/a]		[€/m²]	[a]
25		200	10
Chiller			
Costo unitario di manutenzione annuo		Costo sostituzione	Vita utile
[€/a]		[€/u.i.]	[a]
80		1000	15
Caldaie – impianto autonomo			
Costo unitario di manutenzione annuo		Costo sostituzione	Vita utile
[€/a]		[€]	[a]
80		1.000	15
Caldaie – impianto centralizzato			
Numero u.i.	Costo di manutenzione annuo	Costo sostituzione	Vita utile
	[€/a]	[€]	[a]
12	200	3000	15
24		6000	
48		9000	

Tabella 5.101 Costi di manutenzione e sostituzione per gli edifici esistenti ad uso uffici.

Costi edifici esistenti – edifici ad uso uffici				
Serramenti				
Costo di manutenzione per unità di superficie			Costo di sostituzione per unità di superficie	Vita utile
[€/ m² a]			[€/m²]	[a]
1,5			150	10
Chiller				
Epoca edificio	Costo di manutenzione annuo		Costo di sostituzione	Vita utile
	% costo sostituzione	[€/a]	[€]	[a]
E1	4,0	404	10100	8
E2		2352	58800	
Caldaie				
Epoca edificio	Costo di manutenzione annuo		Costo di sostituzione	Vita utile
	% costo sostituzione	[€/a]	[€]	[a]
E1	1,5	207	13800	10
E2		587	39100	
Sistema di illuminazione				
Epoca edificio	Costo di manutenzione		Costo di sostituzione per unità di superficie di pavimento	Vita utile
	% costo sostituzione		[€/m²]	[a]
E1	2,5		25	8
E2				

Tabella 5.102 Costi di manutenzione e sostituzione per gli edifici esistenti ad uso scolastico.

Costi edifici esistenti – edifici ad uso uffici				
Serramenti				
Costo di manutenzione annuo			Costo di sostituzione per unità di superficie	Vita utile
[€/ m² a]			[€/m²]	[a]
1,5			150	10
Caldaie				
Epoca edificio	Costo di manutenzione annuo		Costo sostituzione	Vita utile
	% costo sostituzione	[€/a]	[€]	[a]
E1	1,5	3810	254000	10
Sistema di illuminazione				
Epoca edificio	Costo di manutenzione annuo		Costo sostituzione	Vita utile
	% costo sostituzione		[€/m² _{floor}]	[a]
E1	2,5		25	8

I costi di sostituzione per i componenti relativi agli edifici ad uso non residenziale fanno riferimento ai costi relativi ai livelli più bassi delle misure di efficienza energetica utilizzati nel precedente lavoro, e riportati nel report precedente [18].

6 Simulazioni e Risultati

6.1 Definizione dei dati climatici

Nella precedente attività volta all'applicazione della metodologia di analisi comparativa in Italia, i dati climatici utilizzati sono stati ricavati dalla UNI 10349-1 [20]. Questi ultimi così come presentati nella norma, essendo su base mensile, non risultano applicabili in procedure di calcolo orarie, come quella introdotta dalla UNI EN ISO 52016-1 [10] per la determinazione del fabbisogno termico utile per il riscaldamento e il raffrescamento degli edifici. I dati climatici impiegati nella presente attività si riferiscono all'anno climatico tipo elaborato su base oraria dal Comitato Termotecnico Italiano (CTI) nel 2015 [31]. Il CTI fornisce i principali parametri climatici, riferiti ai capoluoghi di provincia per l'intero territorio italiano. Tenendo conto della differenza tra *timestep* e *timestamp* nella definizione dei parametri climatici, ove il primo considera la media dei valori su un intervallo di tempo, mentre il secondo si riferisce al valore corrispondente ad un preciso istante temporale, è possibile distinguere due gruppi di dati forniti dal CTI.

I valori di temperatura dell'aria esterna a bulbo secco, di umidità relativa, di pressione parziale del vapore e di velocità del vento sono assimilabili ad un *timestamp*; nascono infatti da una misurazione puntuale e i valori riferiti ad una particolare ora corrispondono al valore effettivo misurato in quell'istante temporale.

I parametri riferiti all'irradianza solare, invece, nascono dalla media delle misurazioni fatte nel *timestep* che, in questo caso, risulta essere pari all'ora. I valori associati ad un'ora non corrispondono quindi al valore associabile al *timestamp*, quanto alla media dei valori misurati tra l'ora precedente e quella indicata. Esempificando, il valore associato alle ore 10:00, risulta essere il valore medio delle misurazioni tra le 9:00 e le 10:00.

Al fine di avere tutti i dati climatici relativi al *timestamp*, si è quindi proceduto interpolando i valori di irradianza solare forniti dal CTI in modo da ottenere valori centrati sull'ora di interesse. Esempificando, è stata attribuita alle ore 10:00 la media aritmetica dei valori attribuibili alle 9:30 e alle 10:30.

Una seconda correzione dei dati presenti nell'anno tipo ha interessato le ore di alba e tramonto, con la modifica e la correzione di eventuali valori non compatibili con l'effettiva progressione dei valori di irradianza.

In seguito a queste correzioni i dati medi mensili presenti nella UNI 10349-1 non risultavano più essere perfettamente identici con le medie mensili ricavate a partire dai valori aggiornati presenti negli anni tipo del CTI. Al fine di uniformare i dati climatici per il confronto delle procedure di ottimizzazione mensili ed orarie, si è quindi proceduto impiegando unicamente i dati ricavati dagli anni tipo del CTI, su base oraria o media mensile a seconda delle procedure di calcolo impiegate.

6.2 Opzioni di compatibilità tra modelli

Data la differenza di *timestep* tra i due metodi di calcolo della prestazione energetica, alcune opzioni di compatibilità di seguito descritte sono state implementate al fine di mantenere una migliore corrispondenza nei dati di input.

- Dati climatici – Si riferiscono all'anno climatico tipo del CTI, rielaborato come descritto nella Sezione 6.1. A seconda del metodo di calcolo utilizzato, sono stati impiegati i valori orari o le medie mensili degli stessi;
- Apporti interni – I valori sono stati determinati secondo il metodo di calcolo su base mensile (UNI/TS 11300-1 [5]); nel metodo orario è stato definito un profilo giornaliero tipo degli apporti interni su base oraria che segue il profilo di occupazione, costruito in modo tale da mantenere invariato il valore medio mensile;
- Portate di ventilazione – I valori, tenendo conto delle variazioni del livello di efficienza delle misure interessate, sono stati determinati secondo il metodo di calcolo su base mensile (UNI/TS 11300-1 [5]); nel metodo orario è stato definito un profilo giornaliero tipo della portata di ventilazione su

base oraria che segue il profilo di occupazione, costruito in modo tale da mantenere invariato il valore medio mensile.

6.3 Confronto ottimizzazioni orarie e mensili

Di seguito vengono presentati per ogni edificio di riferimento i risultati delle ottimizzazioni, mettendo a confronto le soluzioni *cost-optimal* ottenute applicando il metodo di calcolo orario del fabbisogno di energia termica per la climatizzazione estiva ed invernale (UNI EN ISO 52016-1 [10]) con quelle ottenute con il metodo mensile (UNI/TS 11300-1 [5]).

Per ogni edificio analizzato vengono fornite tre schede descrittive. Nella prima scheda, la tabella posta sul lato sinistro riporta i set di misure di efficienza energetica ottimali (soluzioni *cost-optimal* mensile ed oraria) con il valore numerico del parametro associato a ciascuna misura di efficienza energetica e il numero identificativo del livello ottimale. Per ogni misura, la presenza di un diverso parametro ottimale risultante dai due modelli di calcolo è evidenziata con una cella di colore rosa, nel caso di variazioni minime del livello, o di colore arancione, nel caso di variazioni significative. Nella parte in alto a destra della prima scheda è riportato uno schema sintetico delle principali caratteristiche geometriche dell'edificio e del suo involucro; in basso a destra è invece riportato il grafico che rappresenta il costo globale e l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile delle soluzioni *cost-optimal* (oraria e mensile) e degli ottimi parziali risultanti dalla procedura di ottimizzazione.

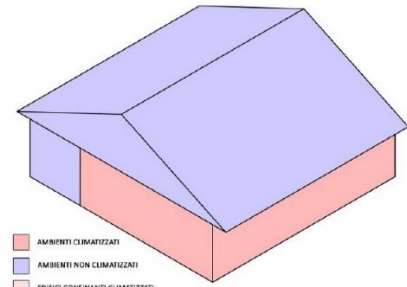
Nella seconda e nella terza scheda è fornito il dettaglio, rispettivamente per il caso mensile e per quello orario, dei risultati energetici ed economici delle soluzioni ottimali. I grafici riportati rappresentano:

- l'energia consegnata annualmente all'edificio, suddivisa per servizio energetico e per vettore energetico;
- l'energia prodotta annualmente da fonti rinnovabili in situ, ossia fotovoltaico e solare termico, utilizzata da ciascun servizio energetico, e l'eventuale quota eccedente rispetto al fabbisogno (surplus);
- gli indici di prestazione energetica, divisi nelle componenti rinnovabile e non rinnovabile, per servizio energetico;
- il costo globale, suddiviso in costo di esercizio e manutenzione, costo di investimento iniziale e costo dell'energia.

I risultati principali derivanti dalla procedura di ottimizzazione sono riassunti nelle tabelle da Tabella 6.181 a Tabella 6.186 per gli edifici residenziali raggruppando i dati per classe di dimensione edilizia (edificio monofamiliare, piccolo condominio e grande condominio) e metodologia applicata per la determinazione del fabbisogno di energia termica per riscaldamento e raffrescamento (modello quasi-stazionario su base mensile oppure di concerto con l'approccio dinamico orario semplificato). In maniera analoga sono anche presentati i risultati inerenti agli edifici adibiti ad uso uffici e scolastico, rispettivamente riportati nelle tabelle da Tabella 6.187 a Tabella 6.188 e da Tabella 6.189 a Tabella 6.190.

Tabella 6.103 Edificio monofamiliare, nuovo – zona climatica E (Milano).

EDIFICIO MONOFAMILIARE – NUOVO – zona E (RMF_NO_E)							
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Ottimale mensile		Ottimale orario	
				Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p	0,30	3	0,30	3
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p				
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)] [equivalente, solaio verso sottotetto (b=0,70)]	U_r	0,18	5	0,18	5
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)] [equivalente, solaio su cantina (b=0,60)]	U_r	0,17	5	0,17	5
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_w	3,80	1	3,80	1
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	mobile	2	mobile	2
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3,30	1	3,30	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	3,70	1	3,70	1
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	0,93	1	0,93	1
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore 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	Superficie dei collettori solari [m ²]	A_{coll}	1,00	1	1,00	1
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata [kW]	P_p	2,00	1	2,00	1
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r	0,70	2	0,90	3
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	ZC	3	ZC	3
16	Riquilificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata [W.m ⁻²]	P_N				
		Fattore del profilo di occupazione	F_O				
		Fattore di illuminamento costante	F_C				
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D				

Dati tipologici		
 ■ AMBIENTI CLIMATIZZATI ■ AMBIENTI NON CLIMATIZZATI ■ EDIFICI CONTINGENTI CLIMATIZZATI		
Superficie netta, A_f	[m ²]	97,5
Volume lordo, V_l	[m ³]	371
Fattore di forma, A_{env}/V_l	[m ⁻¹]	0,99
Sup. disperd. trasp., A_w/A_{env}	[-]	0,03
n. piani climatizzati		1
n. unità immobiliari		1

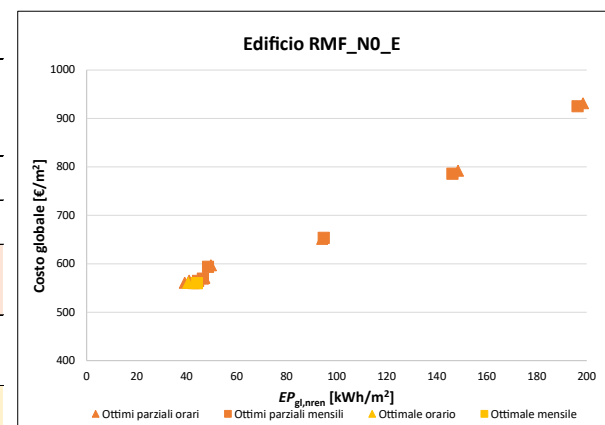


Tabella 6.104 Edificio monofamiliare, nuovo – zona climatica E (Milano).

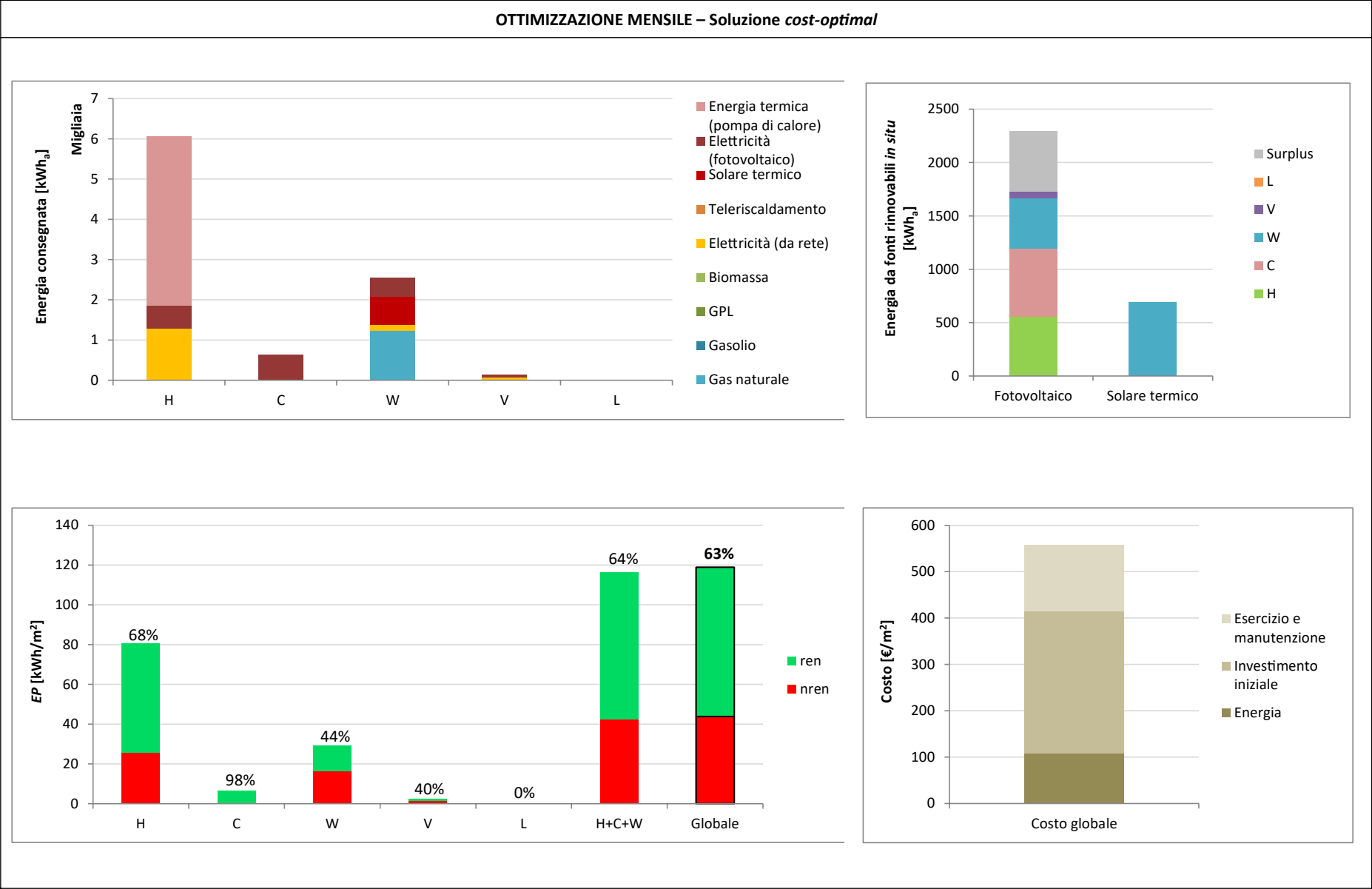


Tabella 6.105 Edificio monofamiliare, nuovo – zona climatica E (Milano).

OTTIMIZZAZIONE ORARIA – Soluzione *cost-optimal*

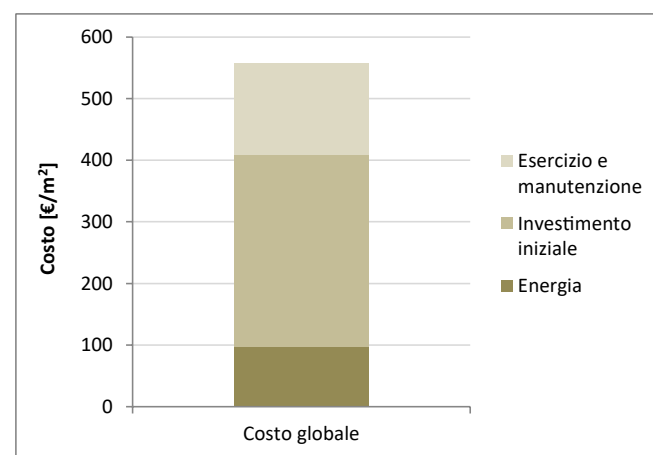
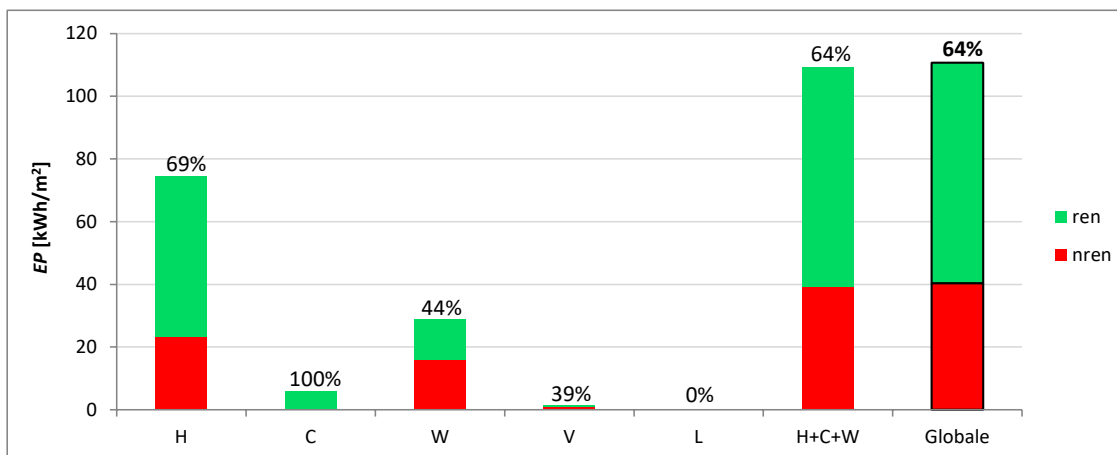
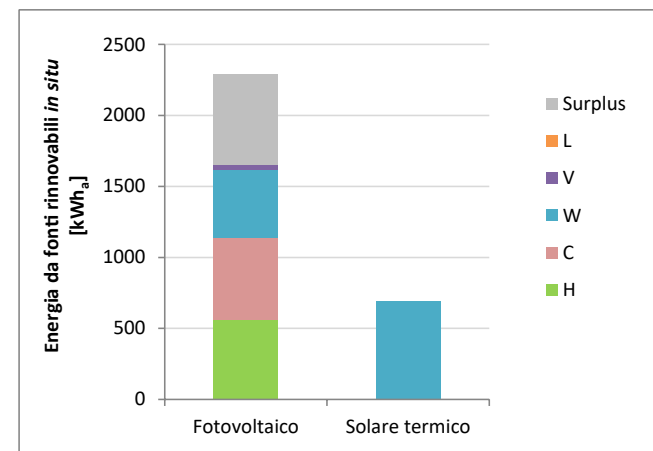
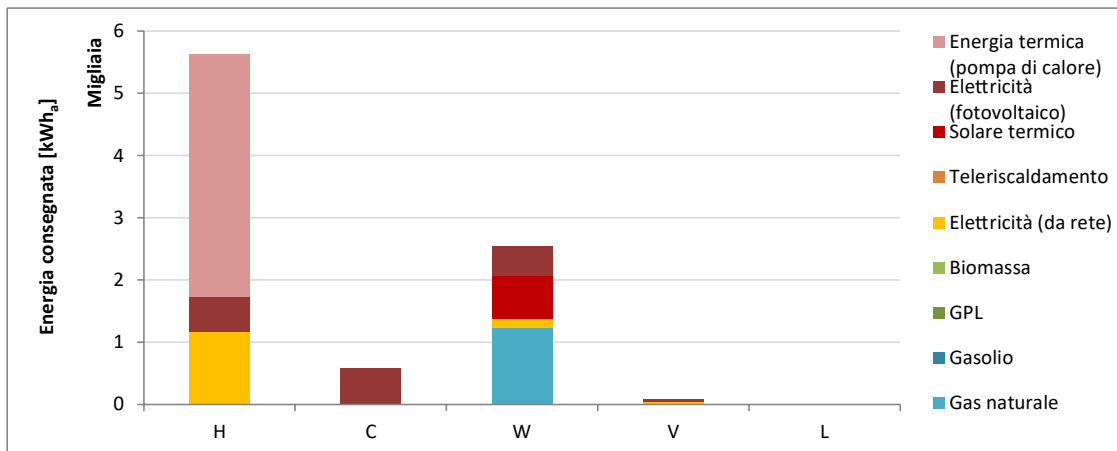
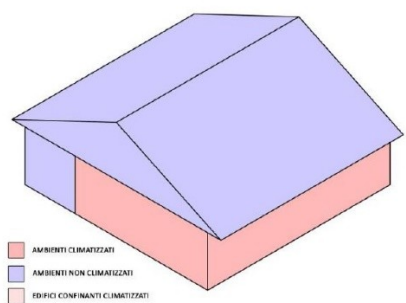


Tabella 6.106 Edificio monofamiliare, nuovo – zona climatica B (Palermo).

EDIFICIO MONOFAMILIARE – NUOVO – zona B (RMF_NO_B)							
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Ottimale mensile		Ottimale orario	
				Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p	1,50	1	1,50	1
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p				
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)] [equivalente, solaio verso sottotetto (b=0,70)]	U_r	0,28	5	0,28	5
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)] [equivalente, solaio su cantina (b=0,60)]	U_r	0,29	5	0,29	5
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_w	3,20	3	3,20	3
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	mobile	2	mobile	2
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3,30	1	3,30	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	3,70	1	3,70	1
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	0,93	1	0,93	1
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore 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	Superficie dei collettori solari [m ²]	A_{coll}	1,00	1	1,00	1
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata [kW]	P_p	3,00	3	3,00	3
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r	0,70	2	0,70	2
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	ZC	3	ZC	3
16	Riquilificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata [W.m ⁻²]	P_N				
		Fattore del profilo di occupazione	F_O				
		Fattore di illuminamento costante	F_C				
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D				

Dati tipologici		
 ■ AMBIENTI CLIMATIZZATI ■ AMBIENTI NON CLIMATIZZATI ■ EDIFICI CONFINANTI CLIMATIZZATI		
Superficie netta, A_f	[m ²]	97,5
Volume lordo, V_l	[m ³]	371
Fattore di forma, A_{env}/V_l	[m ⁻¹]	0,99
Sup. disperd. trasp., A_w/A_{env}	[-]	0,03
n. piani climatizzati		1
n. unità immobiliari		1

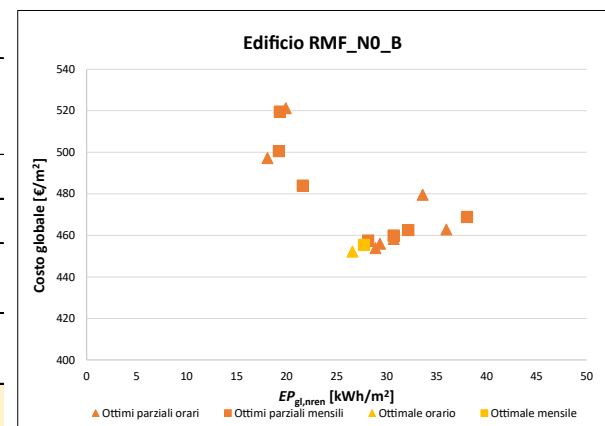


Tabella 6.107 Edificio monofamiliare, nuovo – zona climatica B (Palermo).

OTTIMIZZAZIONE MENSILE – Soluzione *cost-optimal*

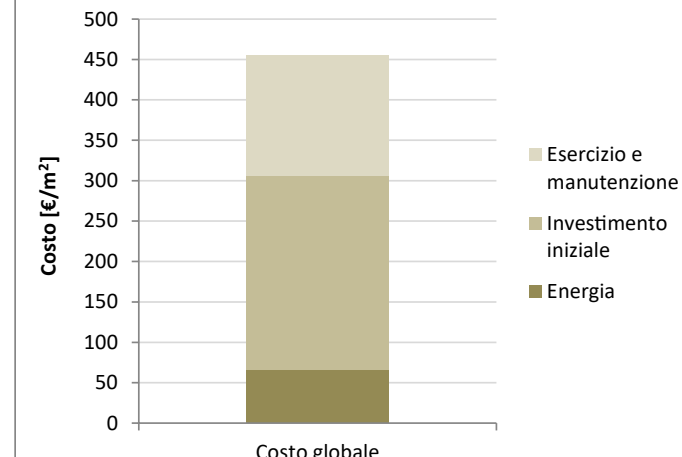
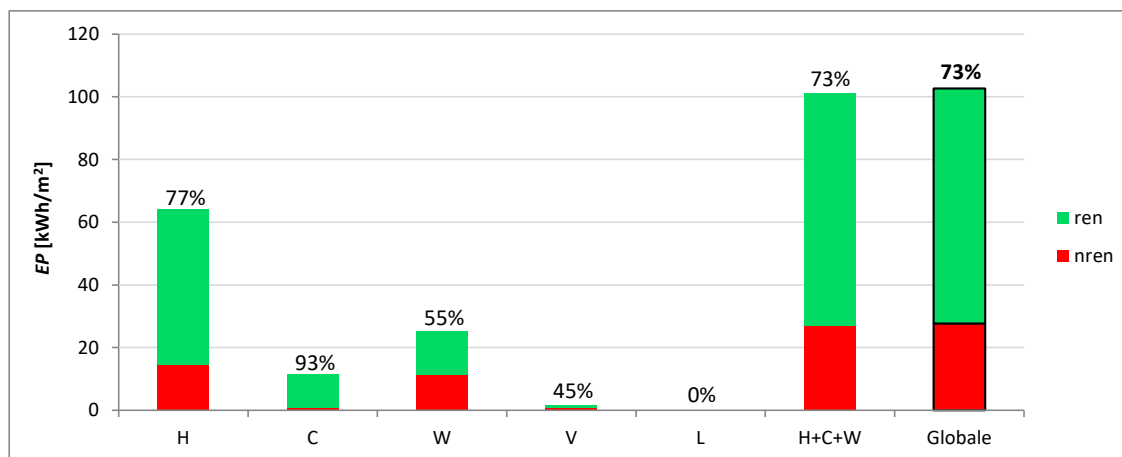
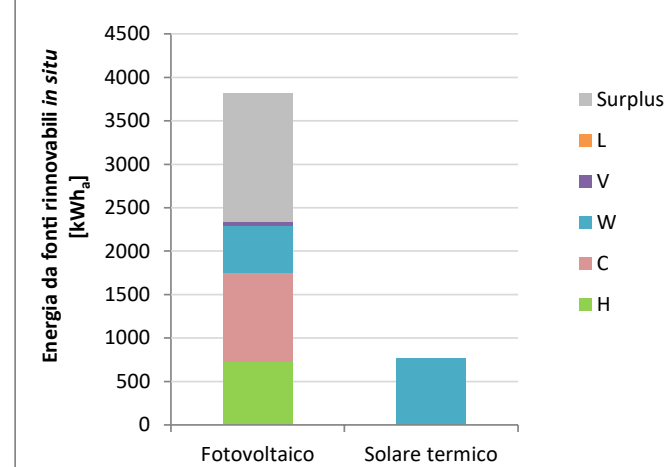
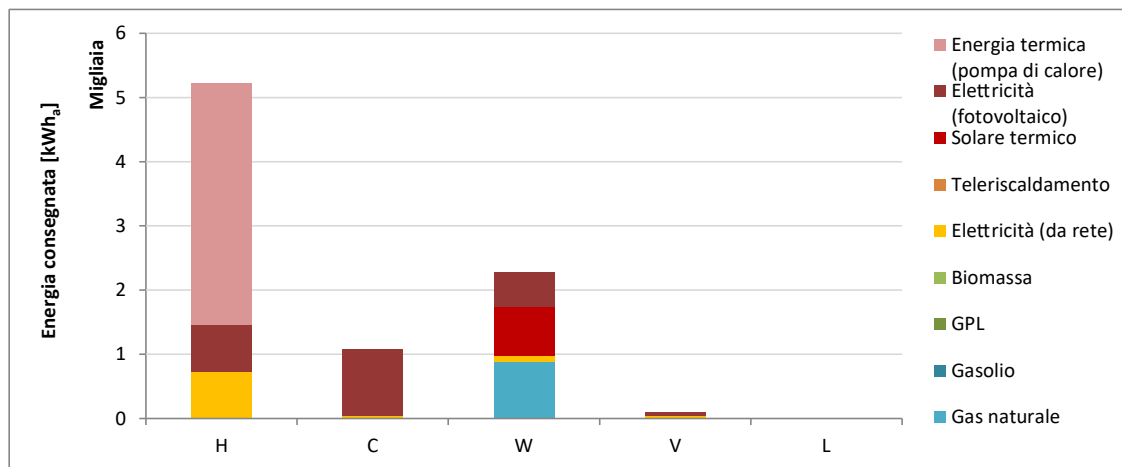


Tabella 6.108 Edificio monofamiliare, nuovo – zona climatica B (Palermo).

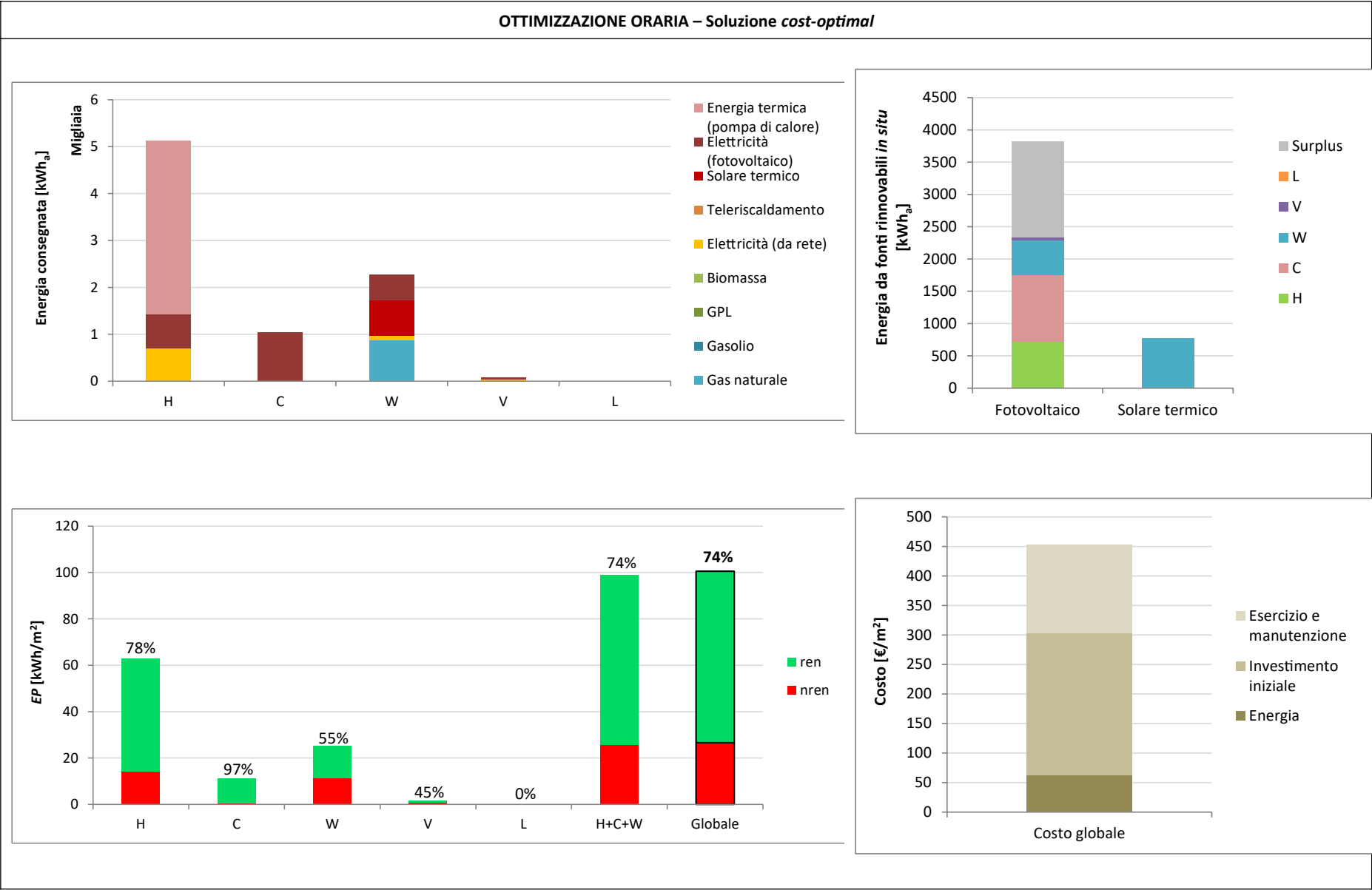
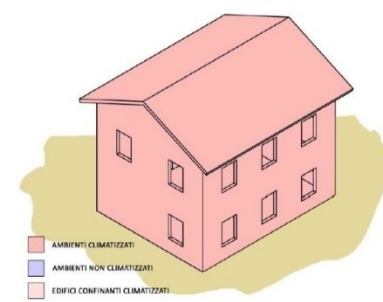


Tabella 6.109 Edificio monofamiliare esistente, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica E (Milano).

EDIFICIO MONOFAMILIARE – ESISTENTE 1946-76 – zona E (RMF_E1_E)								
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Ottimale mensile		Ottimale orario	
					Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p	1,48	0,30	3	0,30	3
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p					
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_t	2,16	0,32	2	0,32	2
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)] [equivalente, solaio controterra (b=0,45)]	U_t	0,90	0,19	5	0,90	1
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_w	4,90	2,30	2	2,30	2
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	assenti	assenti	1	assenti	1
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2,35	2,35	1	2,35	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	-	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn, Pn, W}$	-	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	0,73	1,00	3	1,00	3
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-	-	-	-
12	Impianto solare termico	Superficie dei collettori solari [m ²]	A_{coll}	assente	assente	1	assente	1
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata [kW]	P_p	assente	2,04	4	2,04	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r					
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	C	ZC	4	ZC	4
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata [W.m ⁻²]	P_N					
		Fattore del profilo di occupazione	F_O					
		Fattore di illuminamento costante	F_C					
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D					

Dati tipologici		
		
Superficie netta, A_f	[m ²]	162
Volume lordo, V_l	[m ³]	583
Fattore di forma, A_{env}/V_l	[m ⁻¹]	0,75
Sup. disperd. trasp., A_w/A_{env}	[-]	0,05
n. piani climatizzati		2
n. unità immobiliari		1

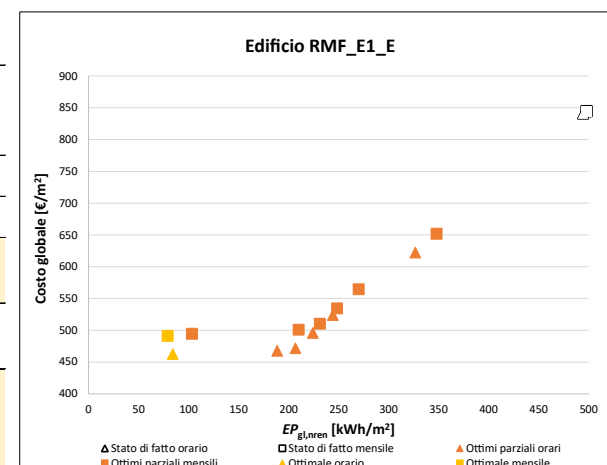


Tabella 6.110 Edificio monofamiliare esistente, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica E (Milano).

OTTIMIZZAZIONE MENSILE – Soluzione *cost-optimal*

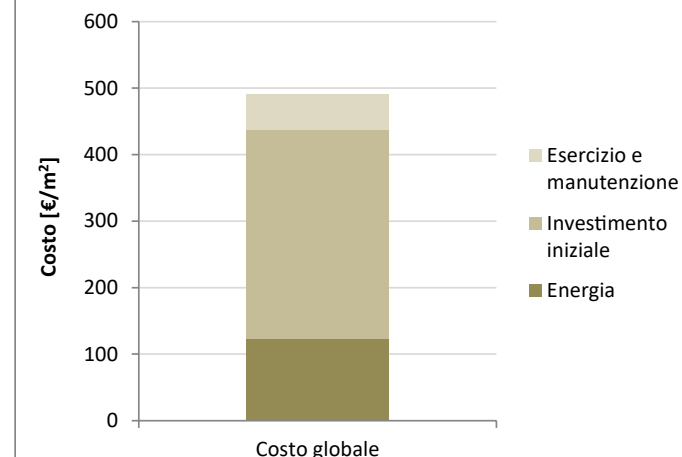
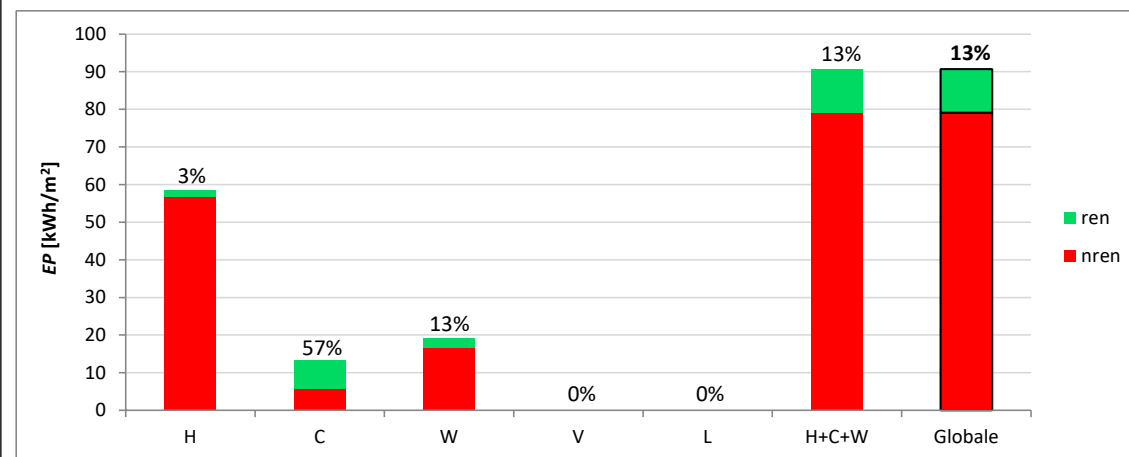
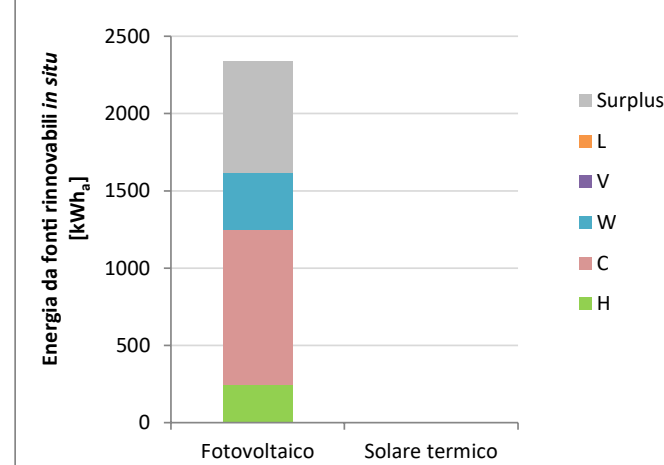
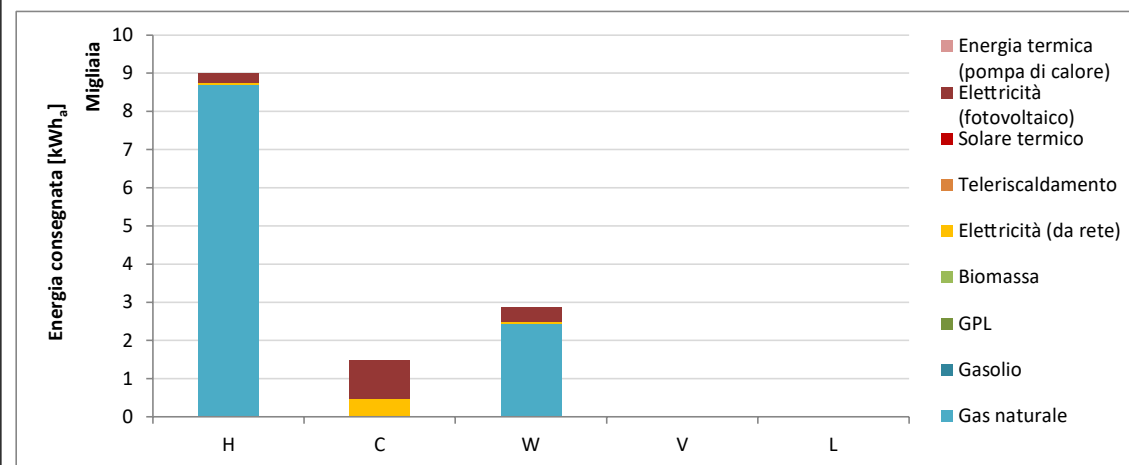


Tabella 6.111 Edificio monofamiliare esistente, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica E (Milano).

OTTIMIZZAZIONE ORARIA – Soluzione *cost-optimal*

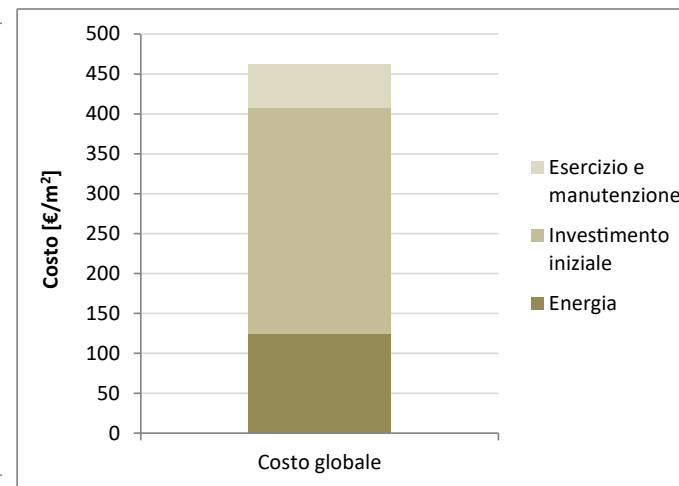
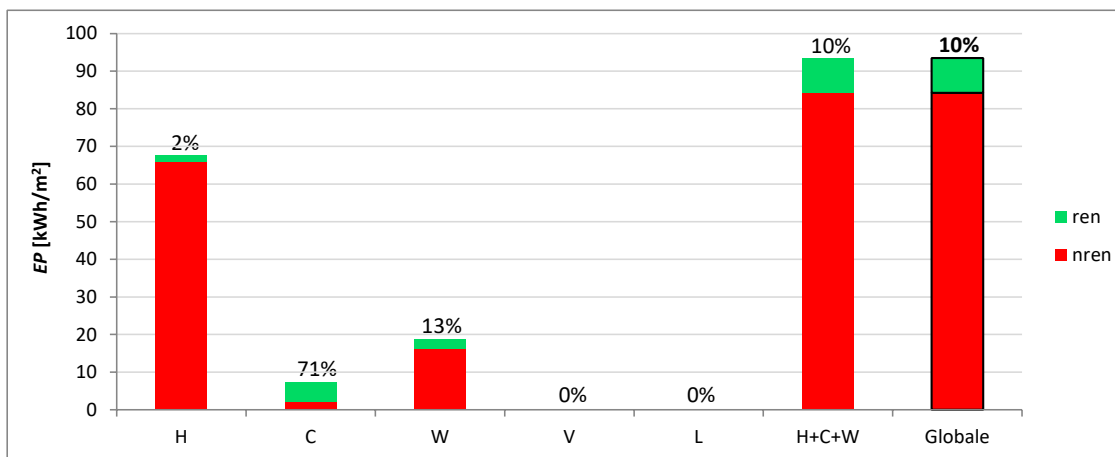
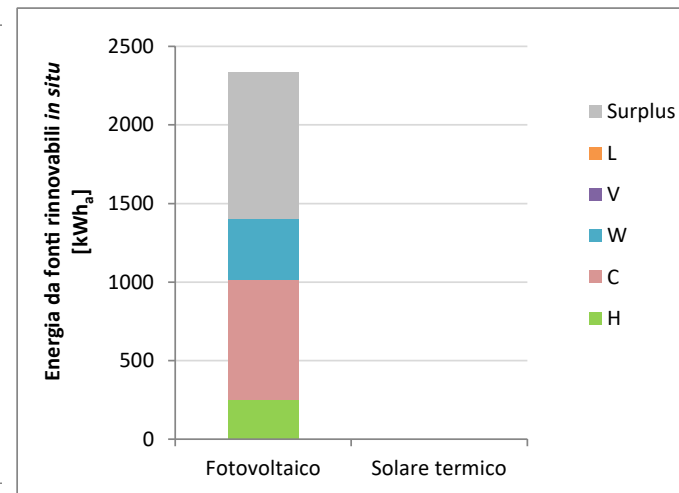
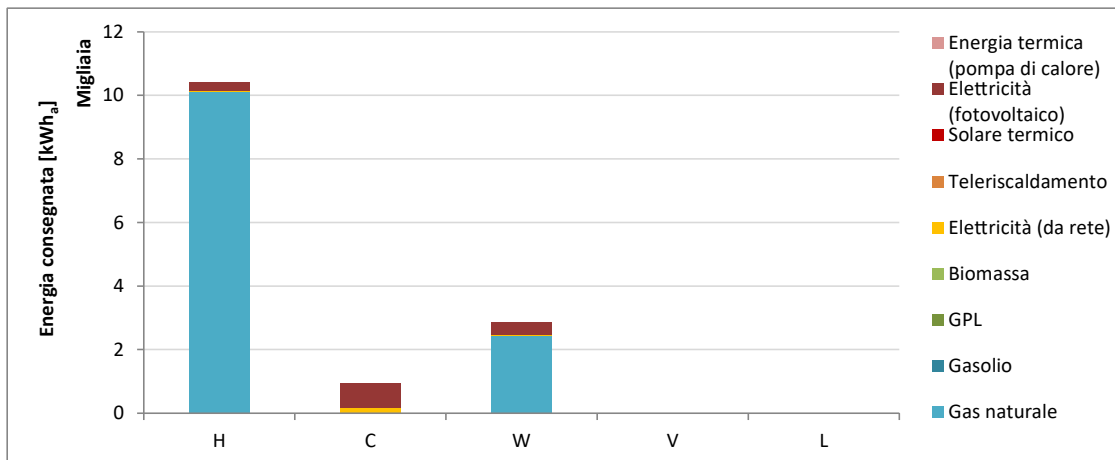
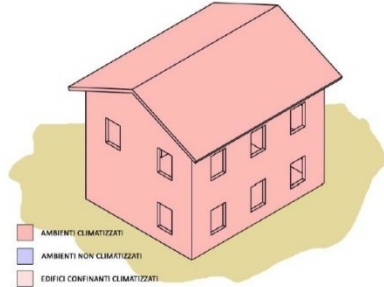


Tabella 6.112 Edificio monofamiliare esistente, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica B (Palermo).

EDIFICIO MONOFAMILIARE – ESISTENTE 1946-76 – zona B (RMF_E1_B)								
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Ottimale mensile		Ottimale orario	
					Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}]$	U_p	1,18	1,18	1	1,18	1
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}]$	U_p					
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}]$	U_r	2,16	0,41	2	0,41	2
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}]$ [equivalente, solaio controterra (b=0,45)]	U_r	0,90	0,90	1	0,90	1
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}]$	U_w	4,90	3,20	3	3,20	3
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	assenti	fissa	2	mobile	3
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2,35	2,35	1	2,35	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	-	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	-	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	0,73	1,00	3	1,00	3
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-		-	
12	Impianto solare termico	Superficie dei collettori solari $[m^2]$	A_{coll}	assente	assente	1	assente	1
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata $[kW]$	P_p	assente	1,36	2	1,70	3
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r					
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	C	ZC	4	ZC	4
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata $[W \cdot m^{-2}]$	P_N					
		Fattore del profilo di occupazione	F_O					
		Fattore di illuminamento costante	F_C					
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D					

Dati tipologici		
		
Superficie netta, A_f	$[m^2]$	162
Volume lordo, V_l	$[m^3]$	583
Fattore di forma, A_{env}/V_l	$[m^{-1}]$	0,75
Sup. disperd. trasp., A_w/A_{env}	$[-]$	0,05
n. piani climatizzati		2
n. unità immobiliari		1

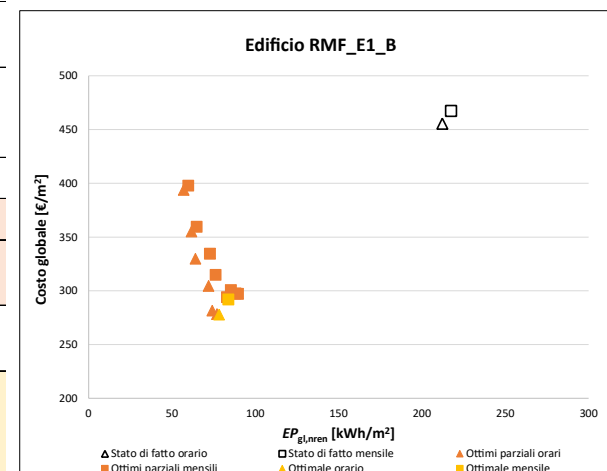


Tabella 6.113 Edificio monofamiliare esistente, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica B (Palermo).

OTTIMIZZAZIONE MENSILE – Soluzione *cost-optimal*

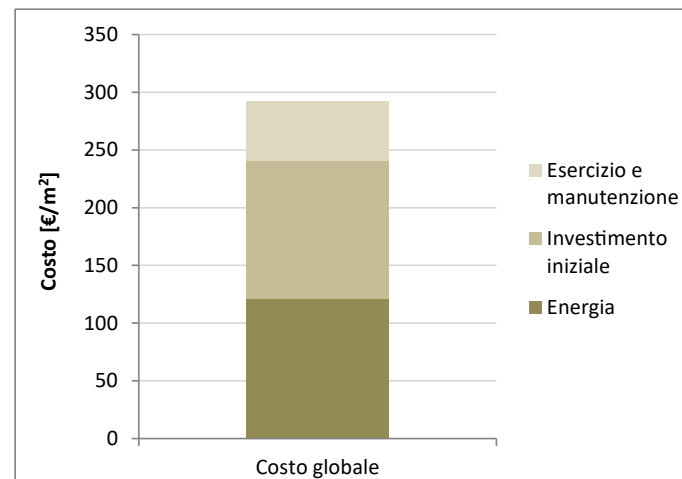
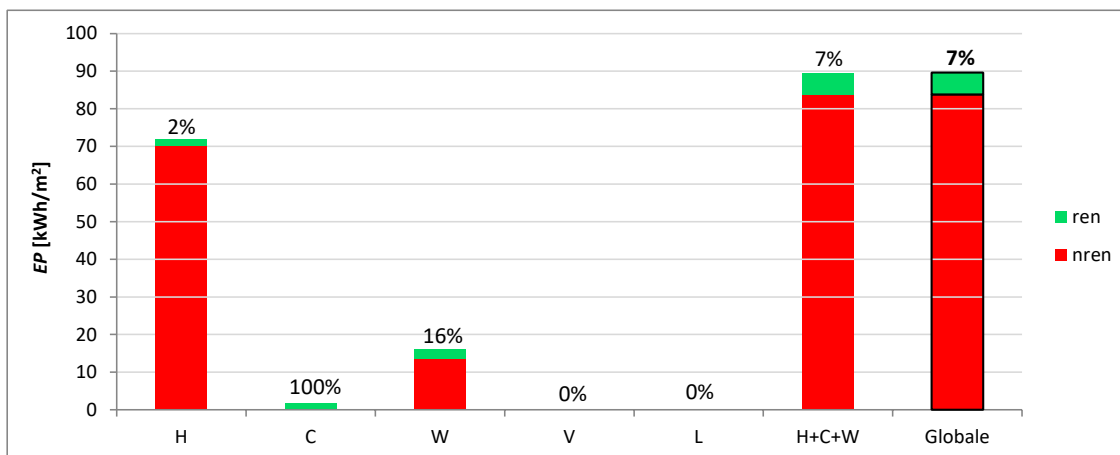
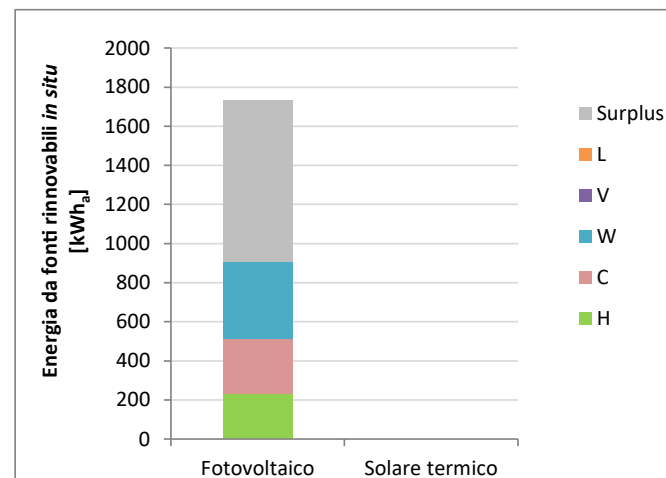
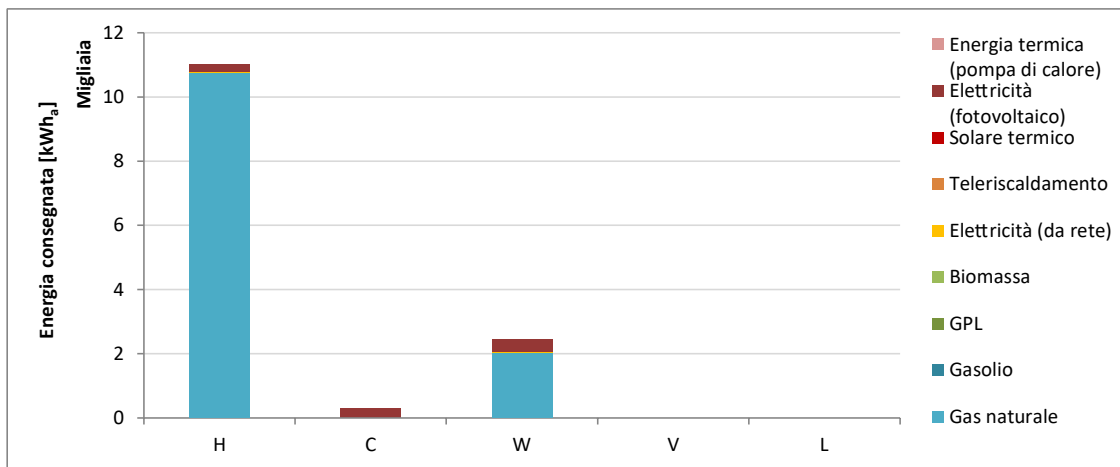


Tabella 6.114 Edificio monofamiliare esistente, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica B (Palermo).

OTTIMIZZAZIONE ORARIA – Soluzione *cost-optimal*

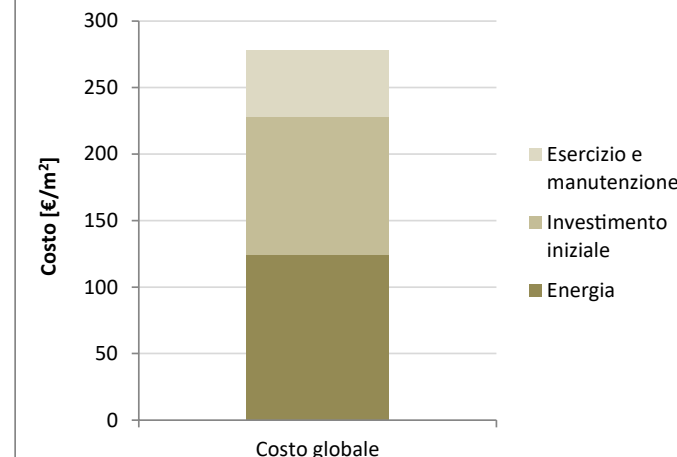
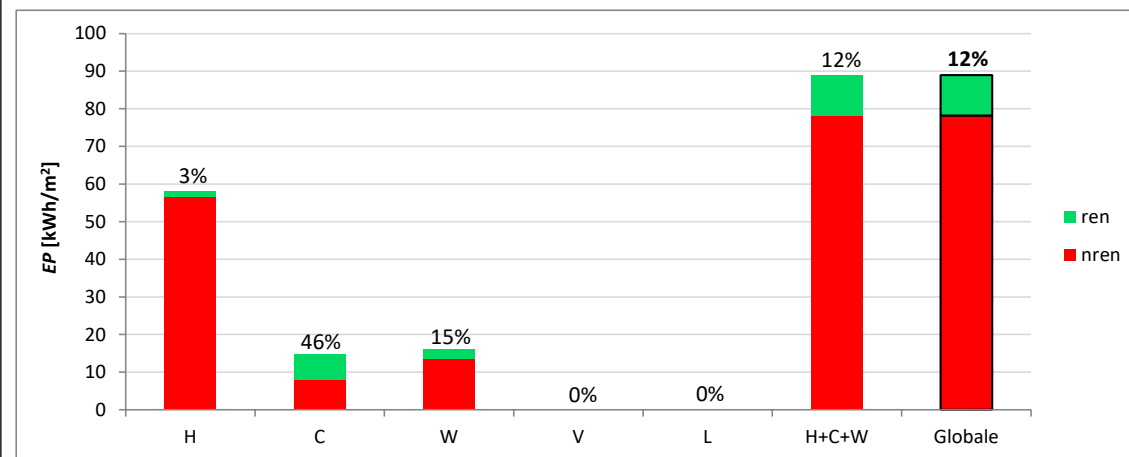
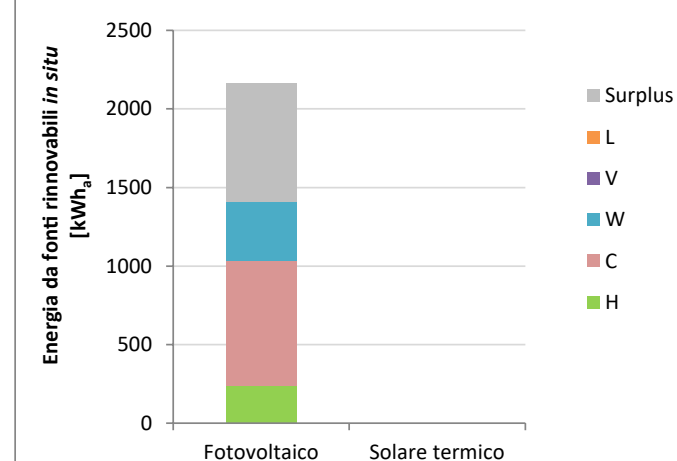
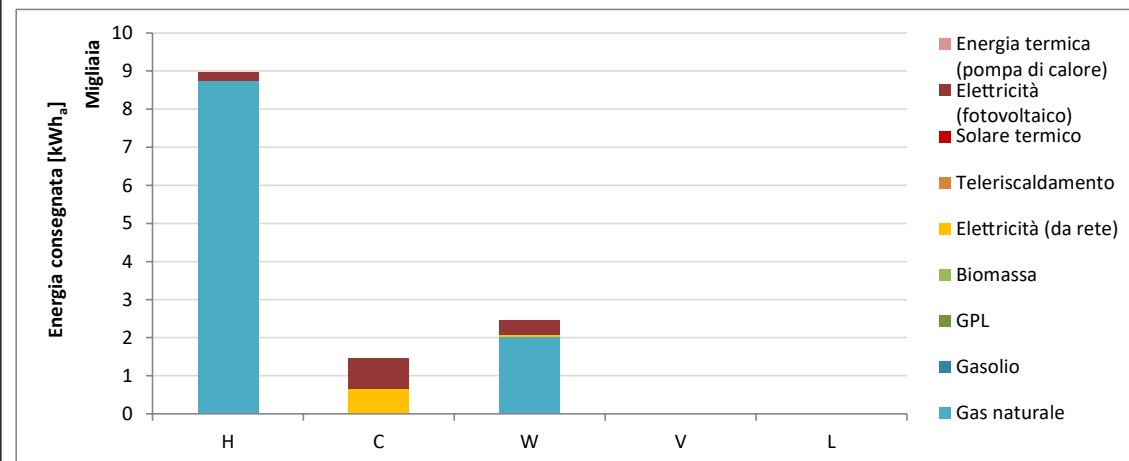
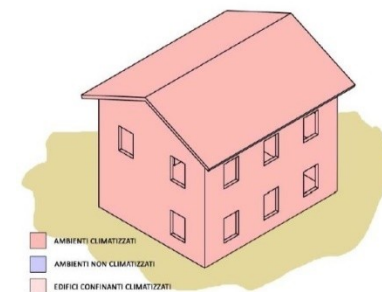


Tabella 6.115 Edificio monofamiliare esistente, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica E (Milano).

EDIFICIO MONOFAMILIARE – ESISTENTE 1977-90 – zona E (RMF_E2_E)								
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Ottimale mensile		Ottimale orario	
					Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p	-	-	-	-	-
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p	0,76	0,27	2	0,27	2
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_r	1,14	0,32	2	0,32	2
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)] [equivalente, solaio su cantina (b=0,60)]	U_r	0,49	0,29	4	0,29	4
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_w	2,80	2,80	1	2,80	1
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	assenti	assenti	1	assenti	1
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2,35	2,35	1	2,35	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	-	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	-	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	0,73	1,00	3	1,00	3
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-		-	
12	Impianto solare termico	Superficie dei collettori solari [m ²]	A_{coll}	assente	assente	1	assente	1
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata [kW]	P_p	assente	2,04	4	2,04	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r					
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	C	ZC	4	ZC	4
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata [W.m ⁻²]	P_N					
		Fattore del profilo di occupazione	F_O					
		Fattore di illuminamento costante	F_C					
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D					

Dati tipologici



Superficie netta, A_f	[m ²]	199
Volume lordo, V_l	[m ³]	725
Fattore di forma, A_{env}/V_l	[m ⁻¹]	0,72
Sup. disperd. trasp., A_w/A_{env}	[-]	0,05
n. piani climatizzati		2
n. unità immobiliari		1

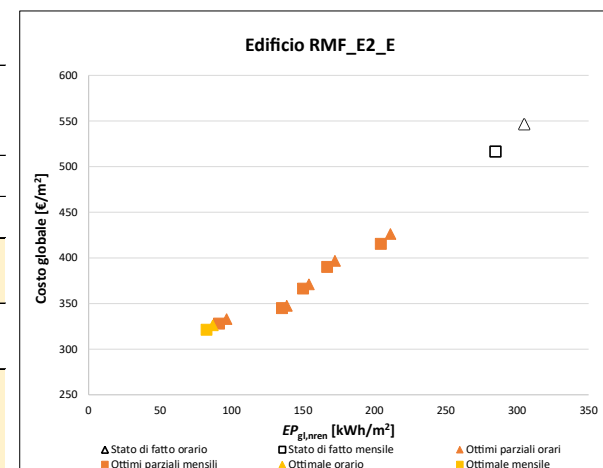


Tabella 6.116 Edificio monofamiliare esistente, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica E (Milano).

OTTIMIZZAZIONE MENSILE – Soluzione *cost-optimal*

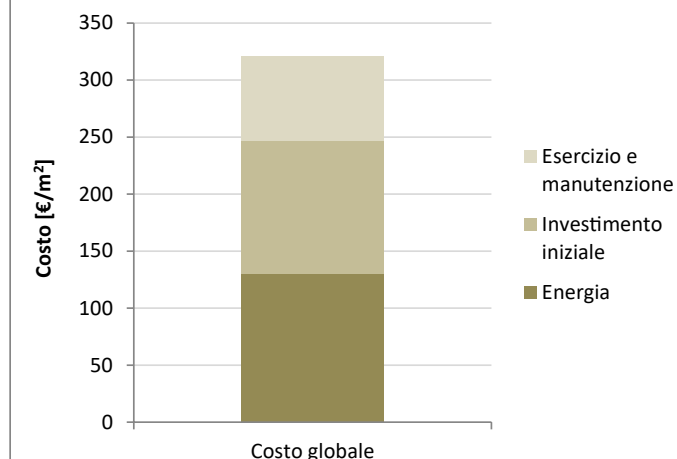
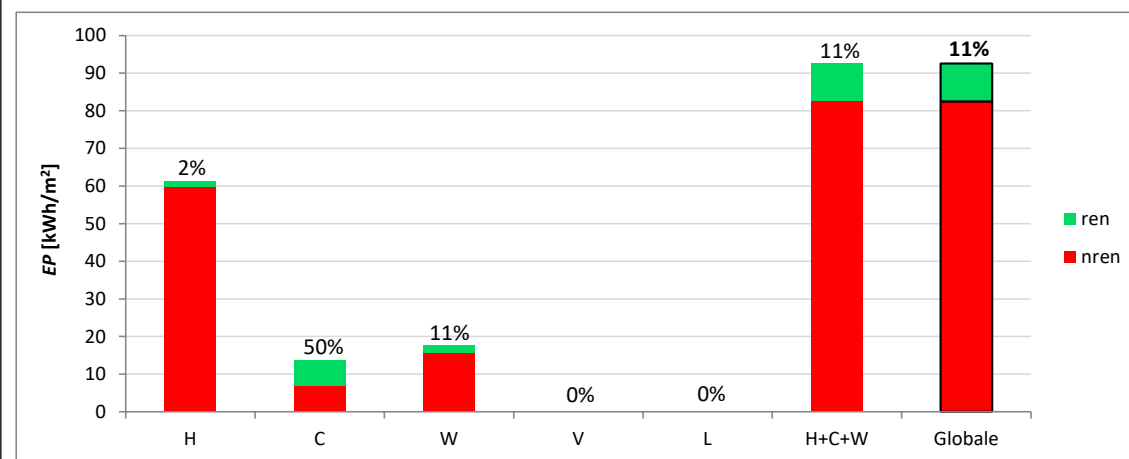
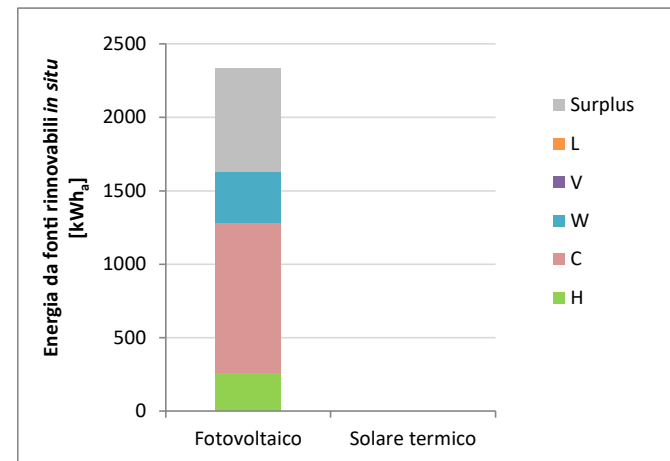
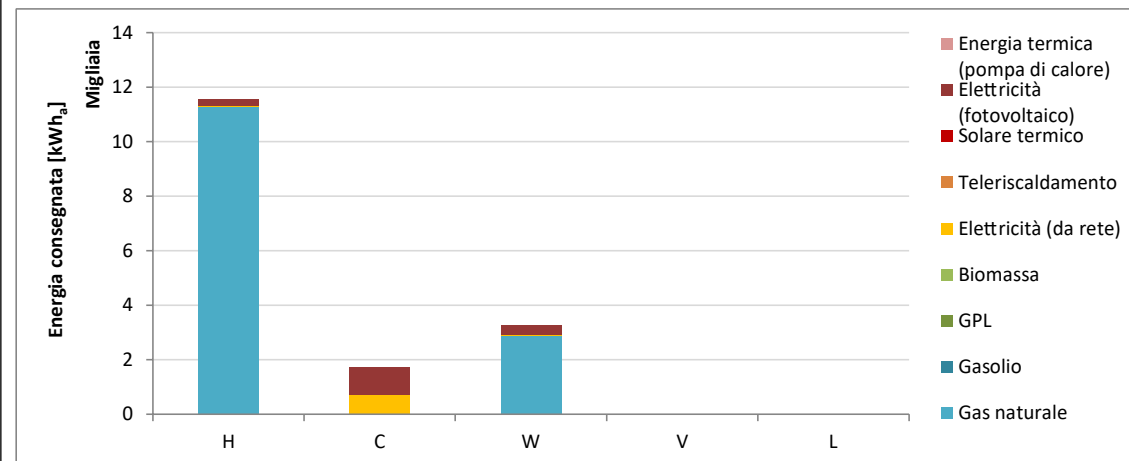


Tabella 6.117 Edificio monofamiliare esistente, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica E (Milano).

OTTIMIZZAZIONE ORARIA – Soluzione *cost-optimal*

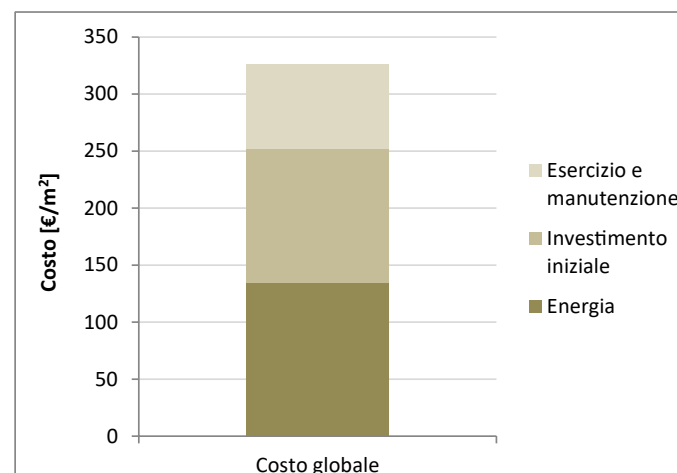
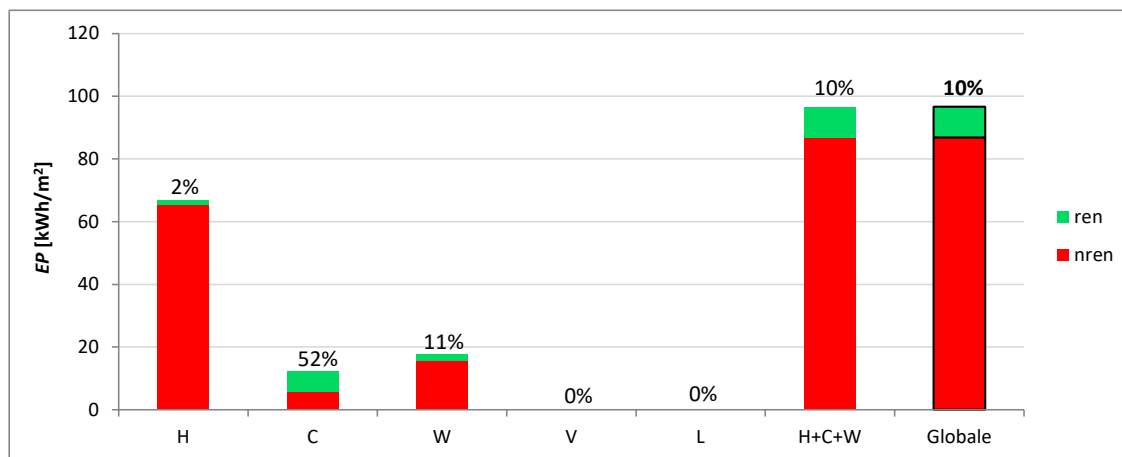
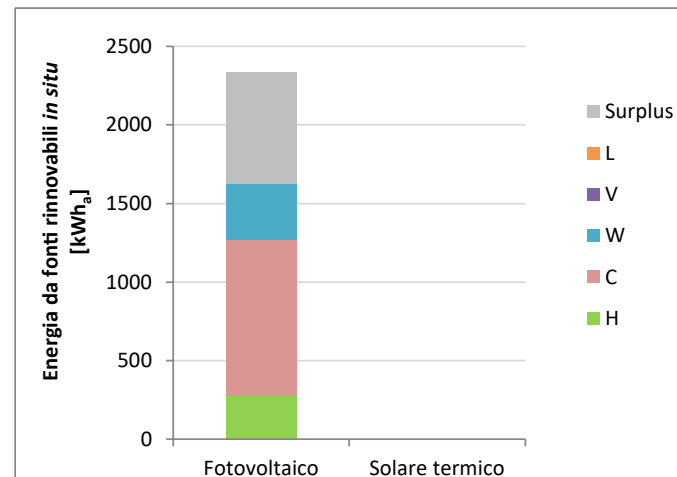
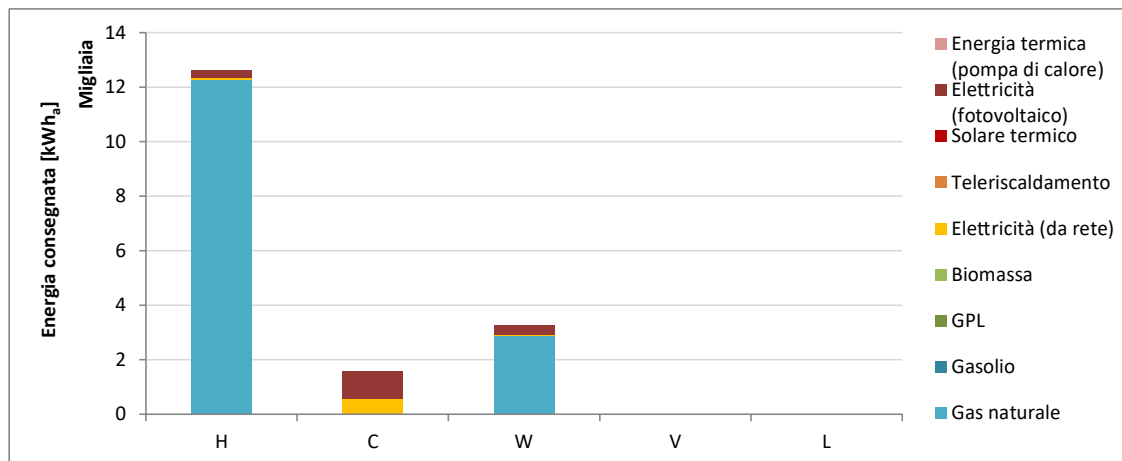
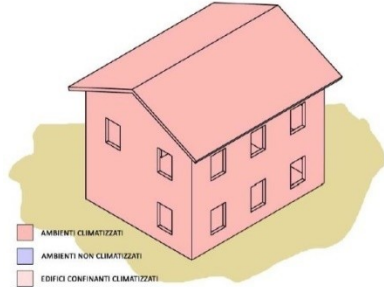


Tabella 6.118 Edificio monofamiliare esistente, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica B (Palermo).

EDIFICIO MONOFAMILIARE – ESISTENTE 1977-90 – zona B (RMF_E2_B)								
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Ottimale mensile		Ottimale orario	
					Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p	-	-	-	-	-
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p	1,10	1,10	1	1,10	1
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_r	2,16	0,41	2	0,41	2
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)] [equivalente, solaio su cantina (b=0,60)]	U_r	0,78	0,28	5	0,78	1
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_w	4,90	4,90	1	4,90	1
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	assenti	fissa	2	mobile	3
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2,35	2,35	1	2,35	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	-	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	-	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	0,73	1,00	3	1,00	3
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-		-	
12	Impianto solare termico	Superficie dei collettori solari [m ²]	A_{coll}	assente	assente	1	assente	1
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata [kW]	P_p	assente	1,36	2	2,04	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r					
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	C	ZC	4	ZC	4
16	Riquilibrificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata [W.m ⁻²]	P_N					
		Fattore del profilo di occupazione	F_O					
		Fattore di illuminamento costante	F_C					
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D					

Dati tipologici		
		
Superficie netta, A_f	[m ²]	199
Volume lordo, V_l	[m ³]	725
Fattore di forma, A_{env}/V_l	[m ⁻¹]	0,72
Sup. disperd. trasp., A_w/A_{env}	[-]	0,05
n. piani climatizzati		2
n. unità immobiliari		1

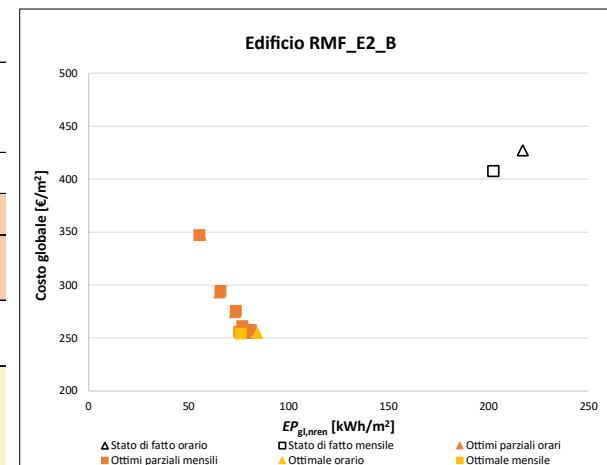


Tabella 6.119 Edificio monofamiliare esistente, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica B (Palermo).

OTTIMIZZAZIONE MENSILE – Soluzione *cost-optimal*

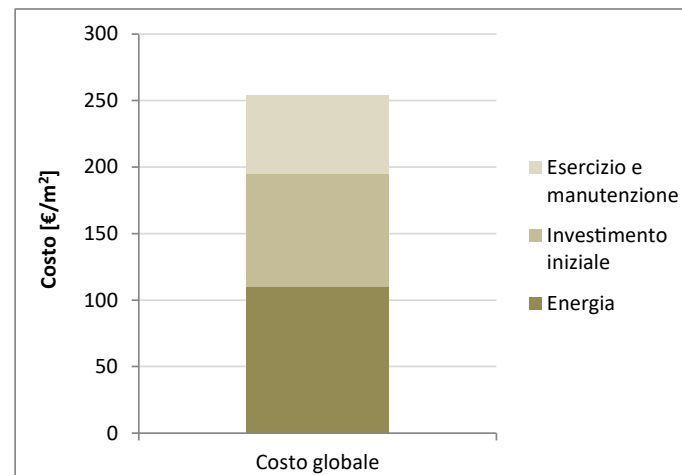
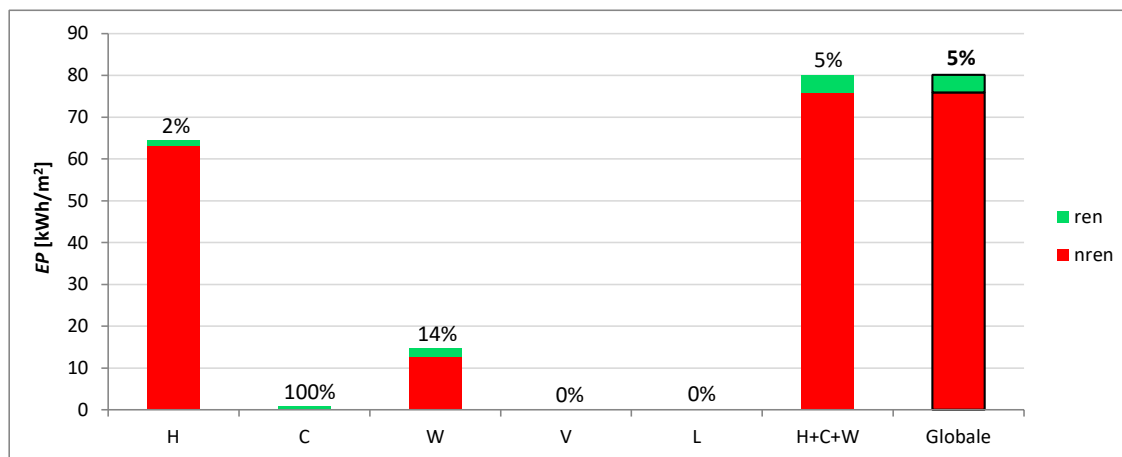
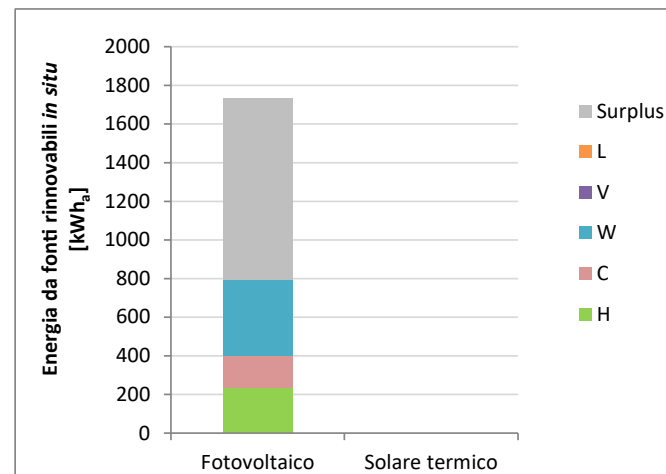
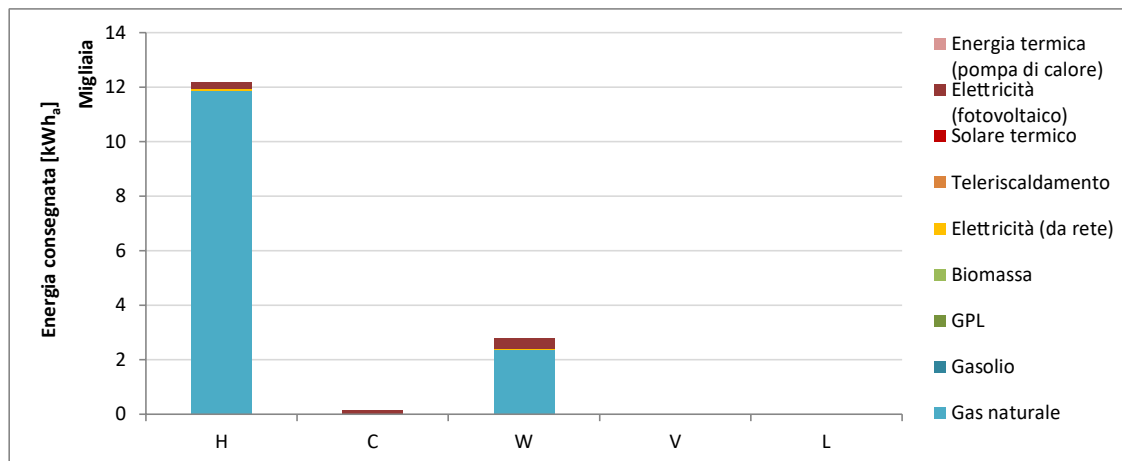


Tabella 6.120 Edificio monofamiliare esistente, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica B (Palermo).

OTTIMIZZAZIONE ORARIA – Soluzione *cost-optimal*

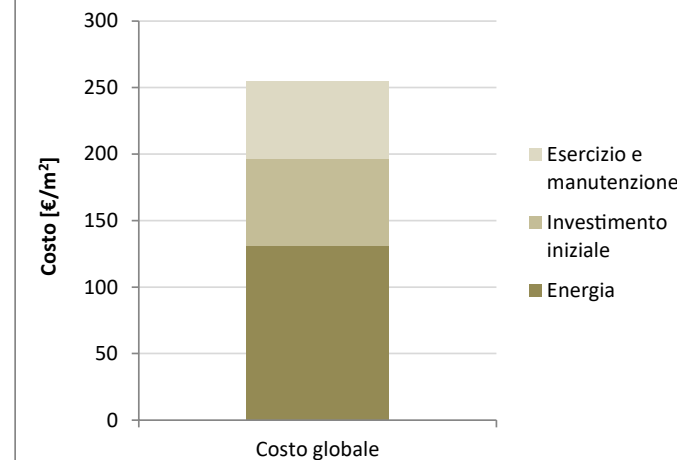
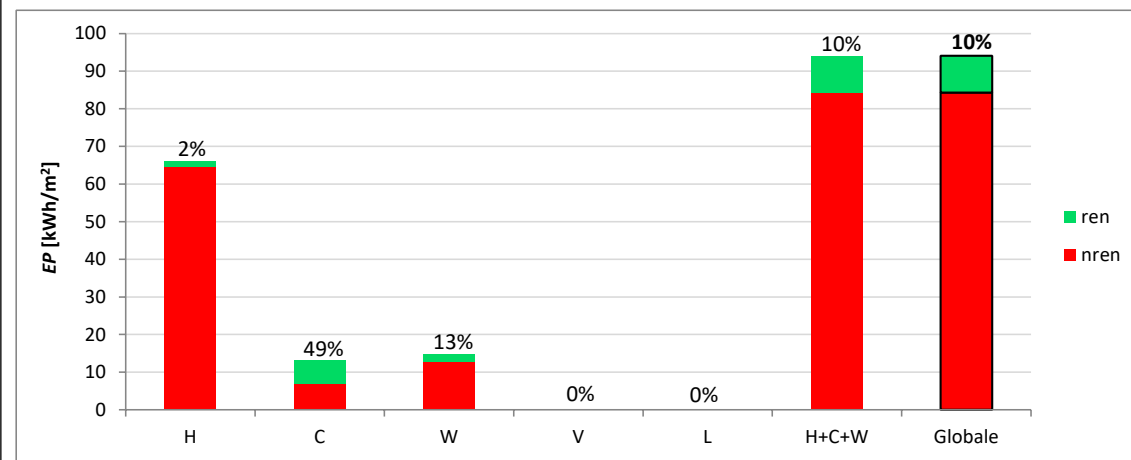
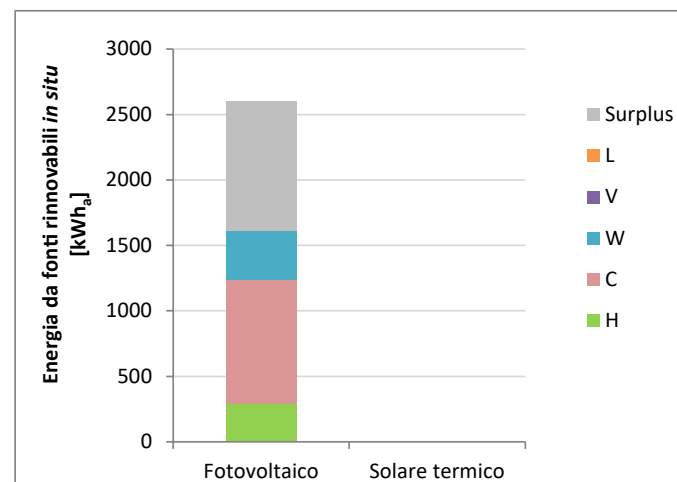
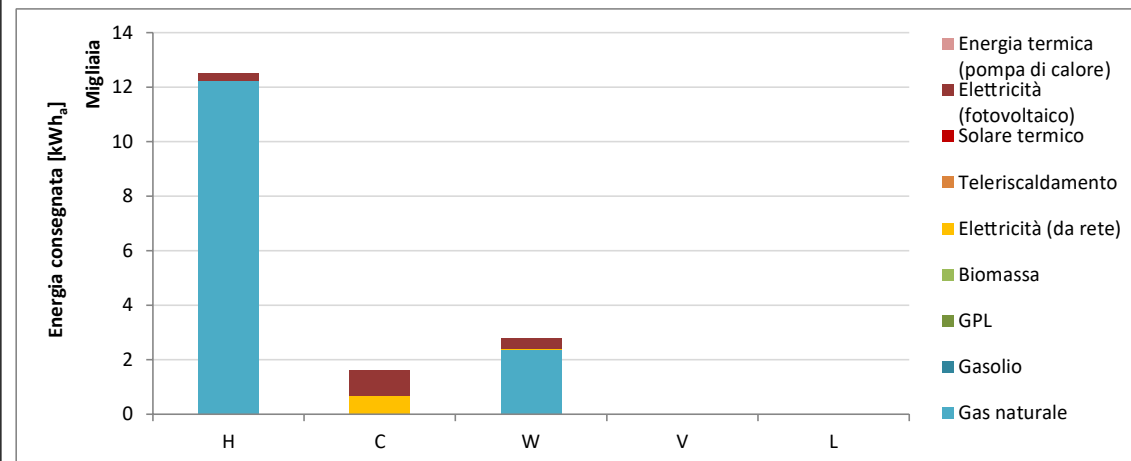
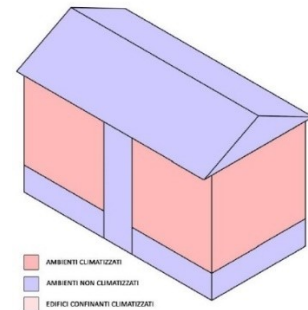


Tabella 6.121 Condominio esistente di piccole dimensioni, nuovo – zona climatica E (Milano).

EDIFICIO PICCOLO CONDOMINIO – NUOVO – zona E (RPC_N0_E)							
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Ottimale mensile		Ottimale orario	
				Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K^{-1})]$	U_p	0,30	3	0,30	3
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K^{-1})]$	U_p				
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K^{-1})]$ [equivalente, solaio verso sottotetto (b=0,70)]	U_r	0,18	5	0,18	5
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K^{-1})]$ [equivalente, solaio su cantina (b=0,60)]	U_r	0,17	5	0,26	4
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K^{-1})]$	U_w	3,80	1	3,80	1
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	mobile	2	mobile	2
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3,00	1	3,00	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	3,70	2	3,70	2
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Ph,W}$	0,93	1	0,93	1
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore 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	Superficie dei collettori solari $[m^2]$	A_{coll}	7,00	1	7,00	1
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata $[kW]$	P_p	4,80	3	4,80	3
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r	0,60	1	0,60	1
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	ZC	3	ZC	3
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata $[W \cdot m^{-2}]$	P_N				
		Fattore del profilo di occupazione	F_O				
		Fattore di illuminamento costante	F_C				
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D				

Dati tipologici		
		
Superficie netta, A_f	$[m^2]$	450
Volume lordo, V_l	$[m^3]$	1634
Fattore di forma, A_{env}/V_l	$[m^{-1}]$	0,63
Sup. disperd. trasp., A_w/A_{env}	$[-]$	0,06
n. piani climatizzati		3
n. unità immobiliari		6

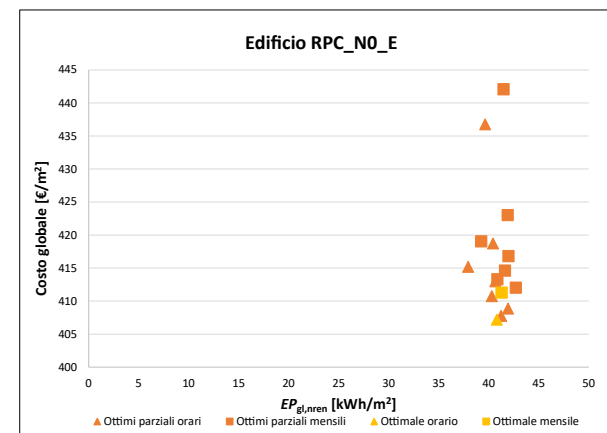


Tabella 6.122 Condominio esistente di piccole dimensioni, nuovo – zona climatica E (Milano).

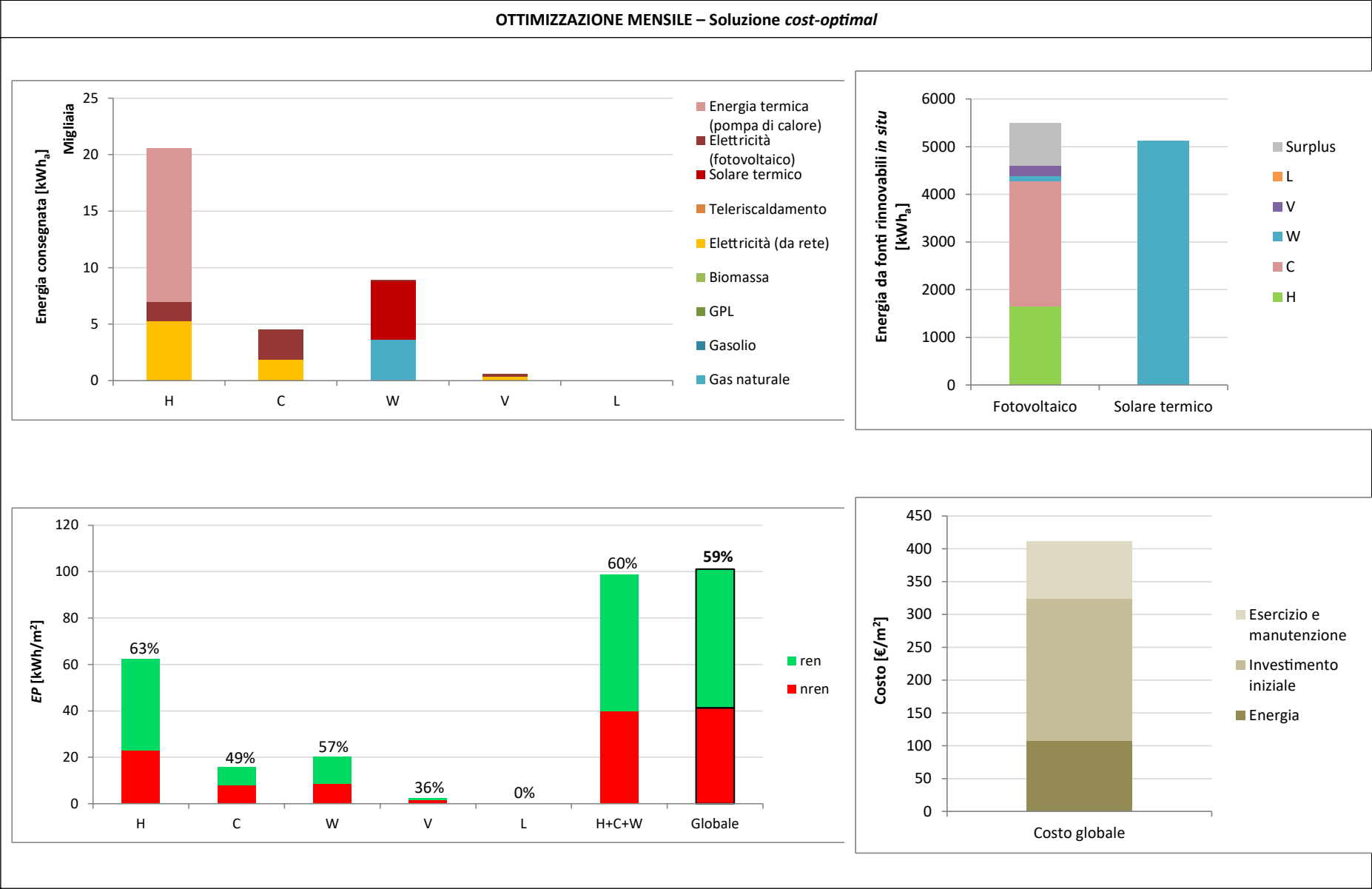


Tabella 6.123 Condominio esistente di piccole dimensioni, nuovo – zona climatica E (Milano).

OTTIMIZZAZIONE ORARIA – Soluzione *cost-optimal*

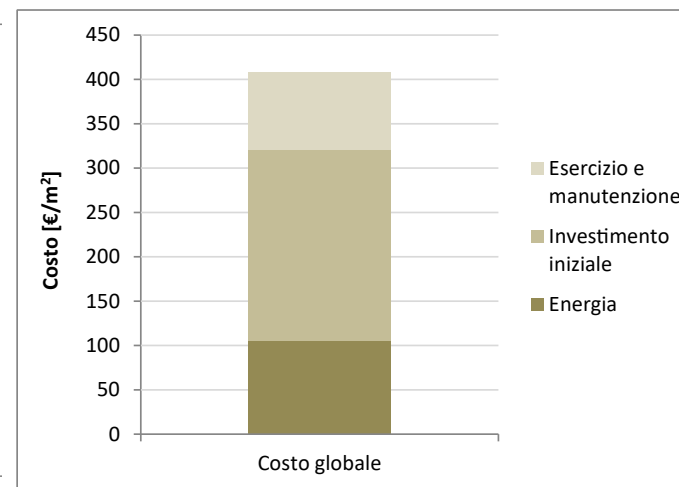
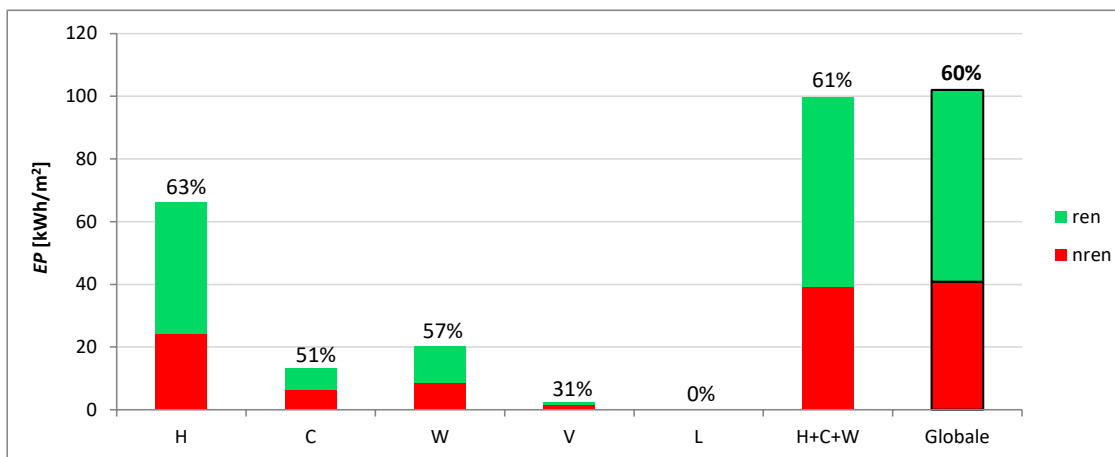
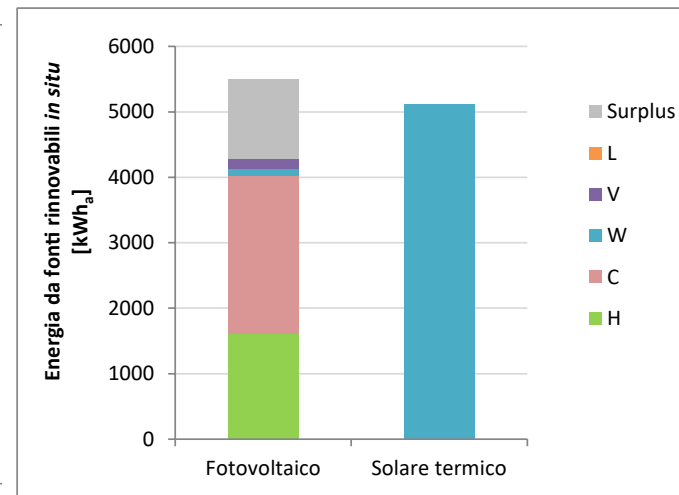
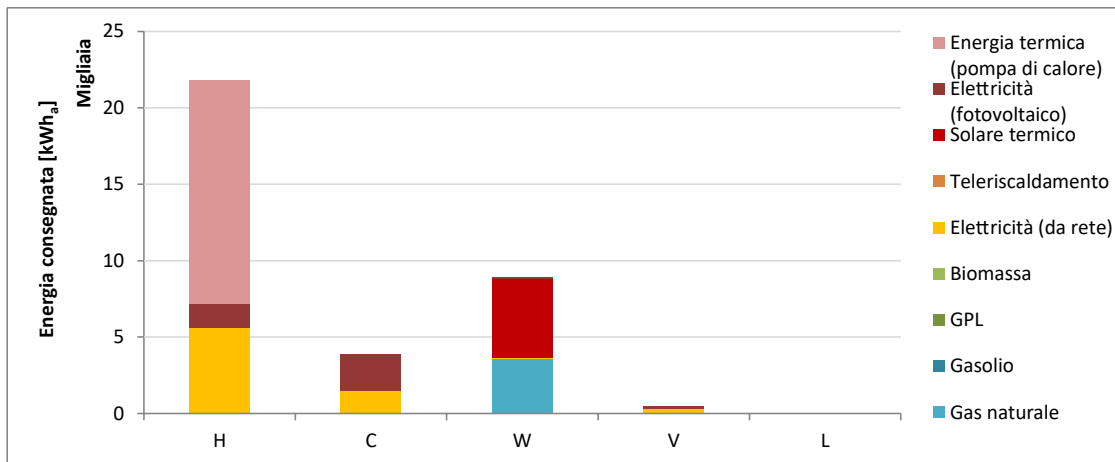


Tabella 6.124 Condominio esistente di piccole dimensioni, nuovo – zona climatica B (Palermo).

EDIFICIO PICCOLO CONDOMINIO – NUOVO – zona B (RPC_NO_B)							
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Ottimale mensile		Ottimale orario	
				Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K)^{-1}]$	U_p	1,50	1	1,50	1
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K)^{-1}]$	U_p				
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K)^{-1}]$ [equivalente, solaio verso sottotetto (b=0,70)]	U_r	0,28	5	0,28	5
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K)^{-1}]$ [equivalente, solaio su cantina (b=0,60)]	U_r	0,29	5	0,44	4
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K)^{-1}]$	U_w	3,20	3	3,20	3
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	mobile	2	mobile	2
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3,00	1	3,00	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	3,70	2	3,70	2
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Ph,W}$	0,93	1	0,93	1
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore 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	Superficie dei collettori solari $[m^2]$	A_{coll}	7,00	1	7,00	1
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata $[kW]$	P_p	4,80	3	4,80	3
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r	0,60	1	0,60	1
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	ZC	3	ZC	3
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata $[W \cdot m^{-2}]$	P_N				
		Fattore del profilo di occupazione	F_O				
		Fattore di illuminamento costante	F_C				
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D				

Dati tipologici		
■ AMBIENTI CLIMATIZZATI ■ AMBIENTI NON CLIMATIZZATI ■ EDIFICI CONTIGUI CLIMATIZZATI		
Superficie netta, A_f	$[m^2]$	450
Volume lordo, V_l	$[m^3]$	1634
Fattore di forma, A_{env}/V_l	$[m^{-1}]$	0,63
Sup. disperd. trasp., A_w/A_{env}	$[-]$	0,06
n. piani climatizzati		3
n. unità immobiliari		6

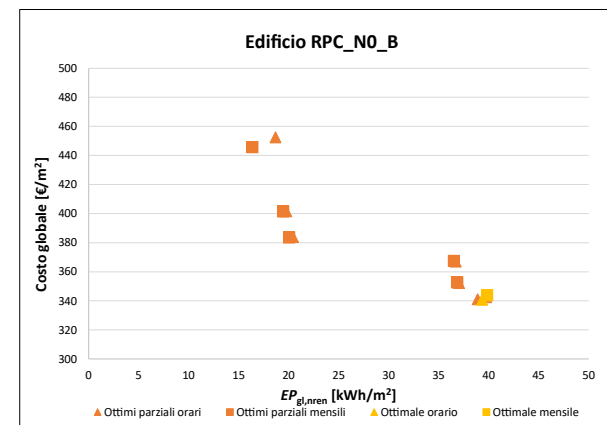


Tabella 6.125 Condominio esistente di piccole dimensioni, nuovo – zona climatica B (Palermo).

OTTIMIZZAZIONE MENSILE – Soluzione *cost-optimal*

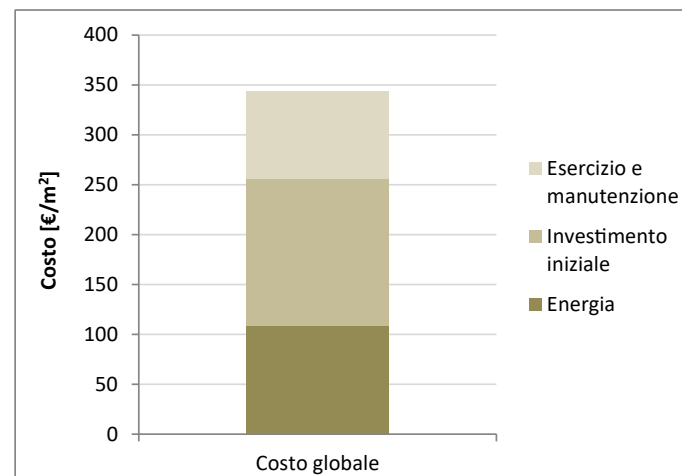
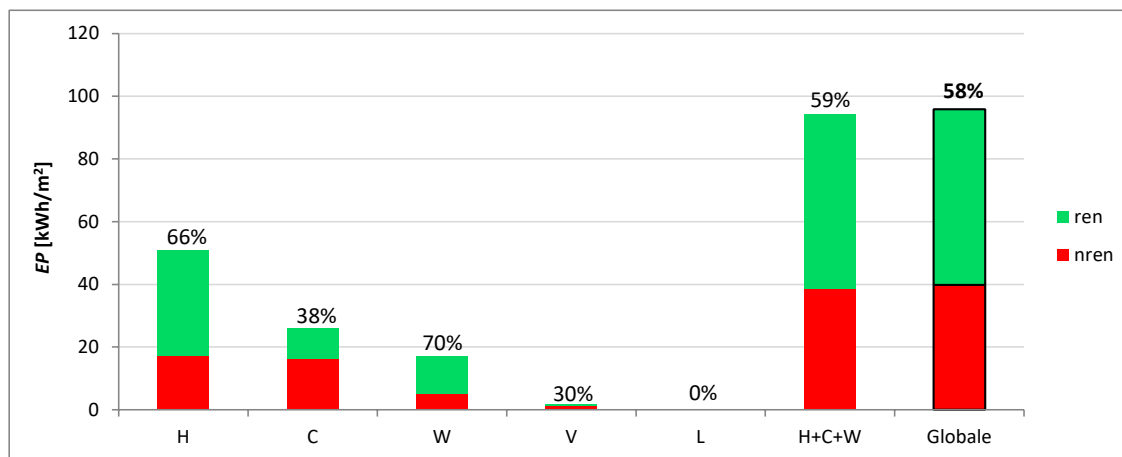
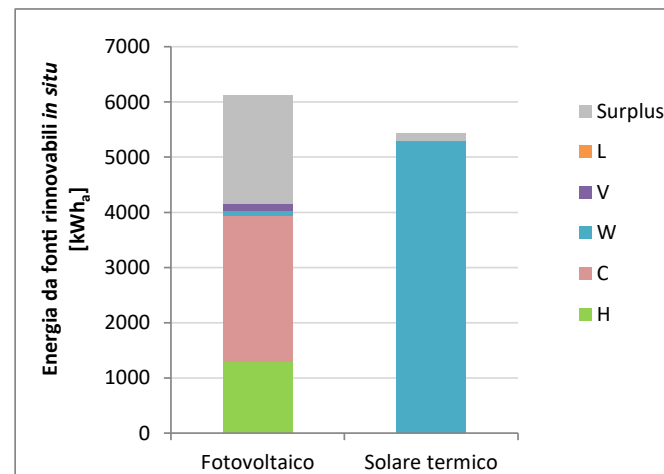
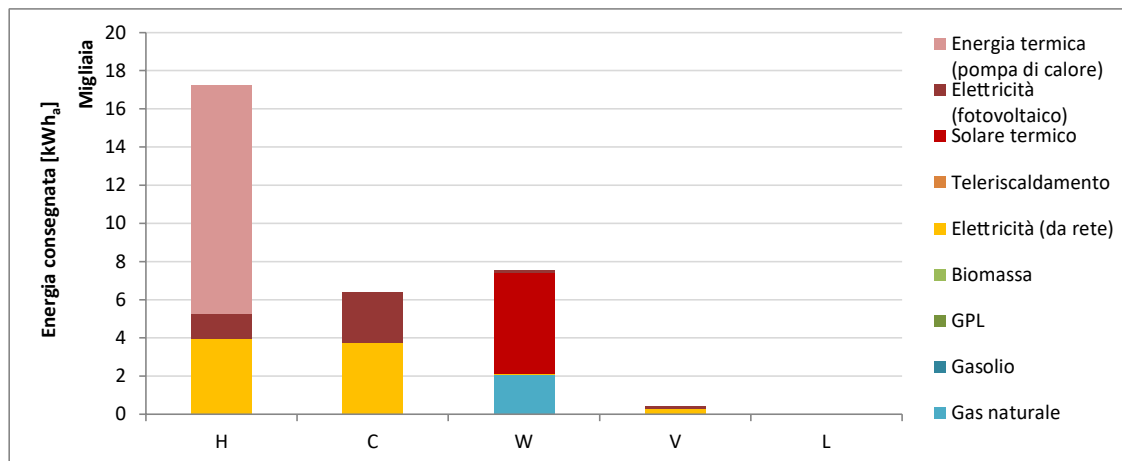


Tabella 6.126 Condominio esistente di piccole dimensioni, nuovo – zona climatica B (Palermo).

OTTIMIZZAZIONE ORARIA – Soluzione *cost-optimal*

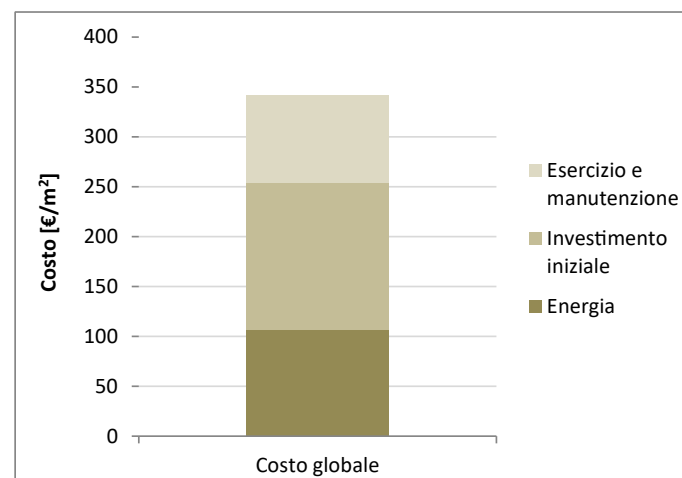
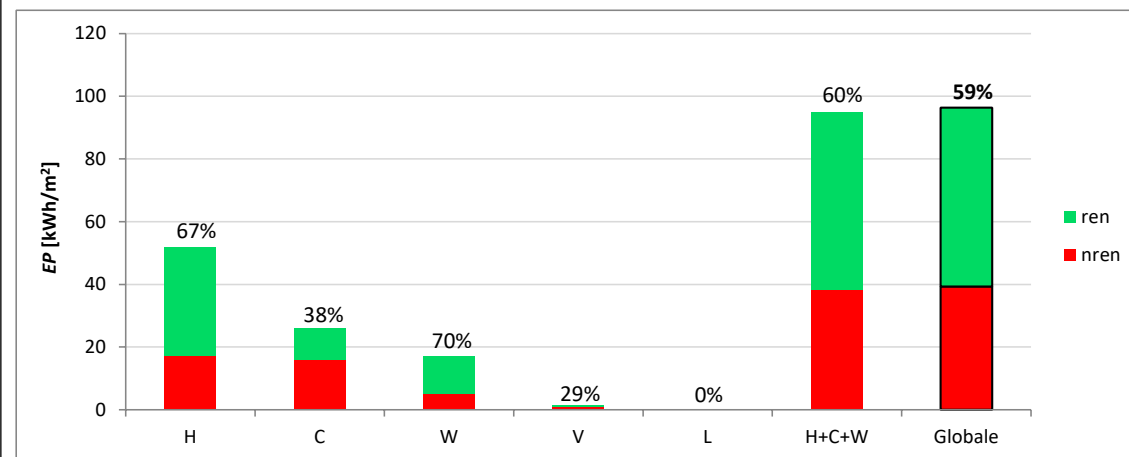
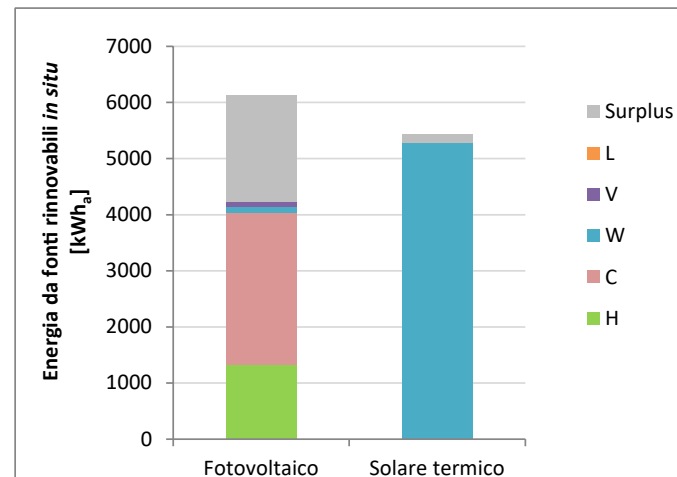
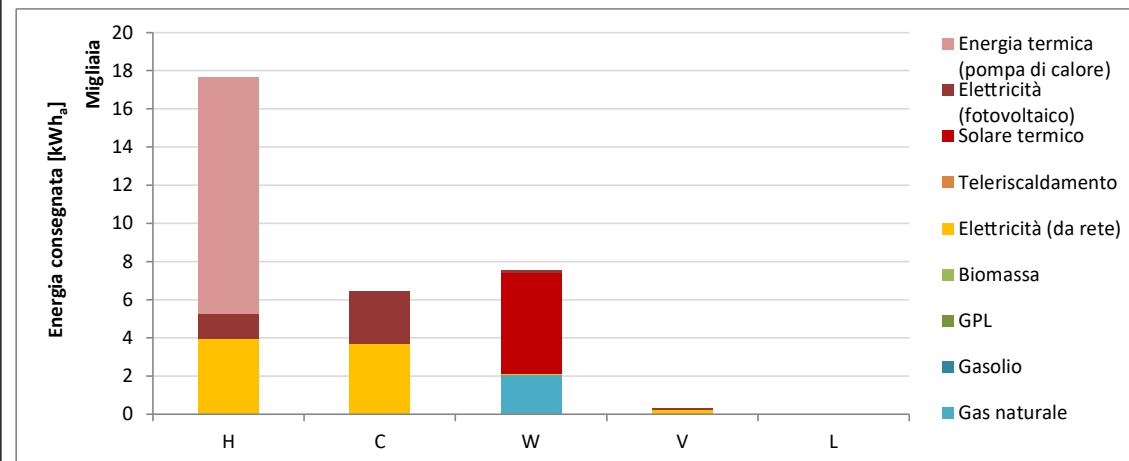


Tabella 6.127 Condominio esistente di piccole dimensioni, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica E (Milano).

EDIFICIO PICCOLO CONDOMINIO – ESISTENTE 1946-76 – zona E (RPC_E1_E)								
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Ottimale mensile		Ottimale orario	
					Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p	-	-	-	-	-
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p	1,15	0,37	2	0,372	2
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)] [equivalente, solaio verso sottotetto (b=0,70)]	U_r	1,16	0,20	5	0,20	5
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)] [equivalente, solaio su cantina (b=0,60)]	U_r	0,78	0,19	5	0,29	4
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_w	4,90	4,90	1	4,90	1
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	assenti	mobile	3	mobile	3
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2,35	2,35	1	2,35	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	0,85	1,00	3	1,00	3
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	0,75	0,93	2	0,93	2
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore 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	Superficie dei collettori solari [m ²]	A_{coll}	assente	assente	1	assente	1
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata [kW]	P_p	assente	8,40	4	8,40	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r					
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	C	ZC	4	ZC	4
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata [W.m ⁻²]	P_N					
		Fattore del profilo di occupazione	F_O					
		Fattore di illuminamento costante	F_C					
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D					

Dati tipologici



Superficie netta, A_f	[m ²]	827
Volume lordo, V_l	[m ³]	3076
Fattore di forma, A_{env}/V_l	[m ⁻¹]	0,51
Sup. disperd. trasp., A_w/A_{env}	[-]	0,09
n. piani climatizzati		3
n. unità immobiliari		12

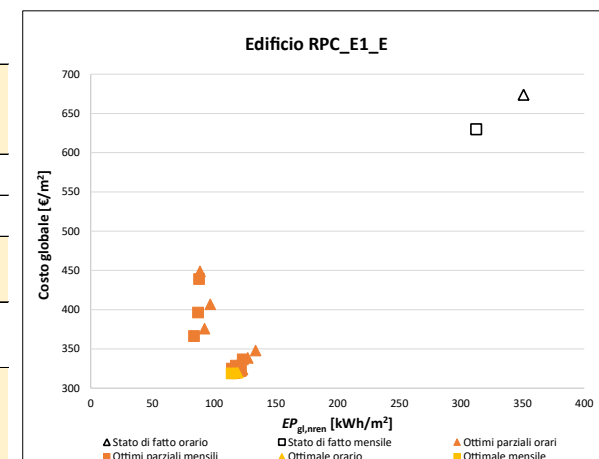


Tabella 6.128 Condominio esistente di piccole dimensioni, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica E (Milano).

OTTIMIZZAZIONE MENSILE – Soluzione *cost-optimal*

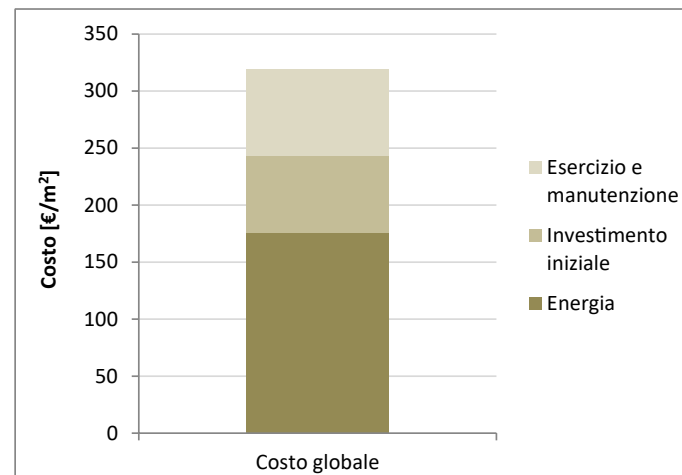
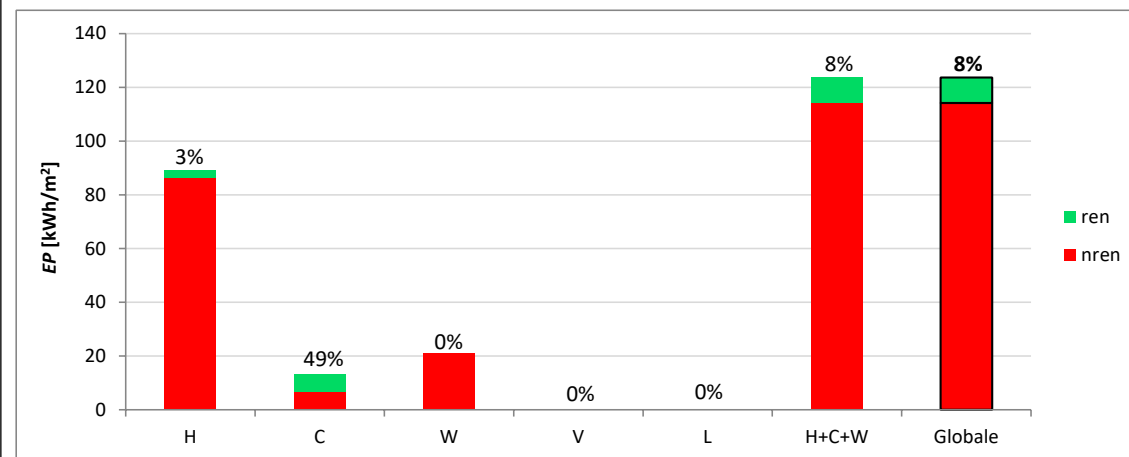
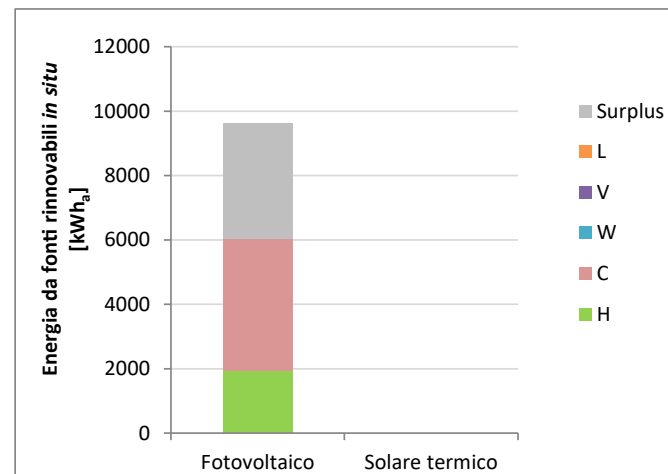
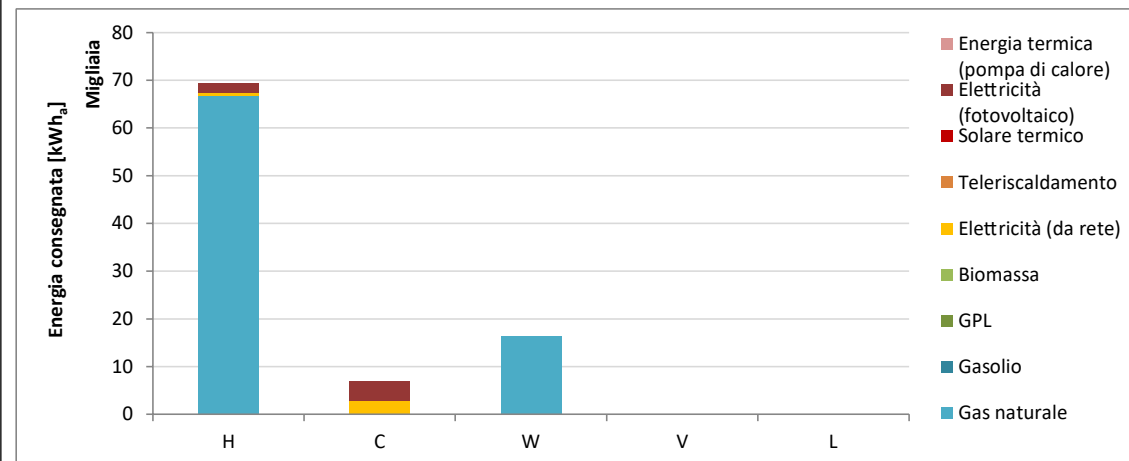


Tabella 6.129 Condominio esistente di piccole dimensioni, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica E (Milano).

OTTIMIZZAZIONE ORARIA – Soluzione *cost-optimal*

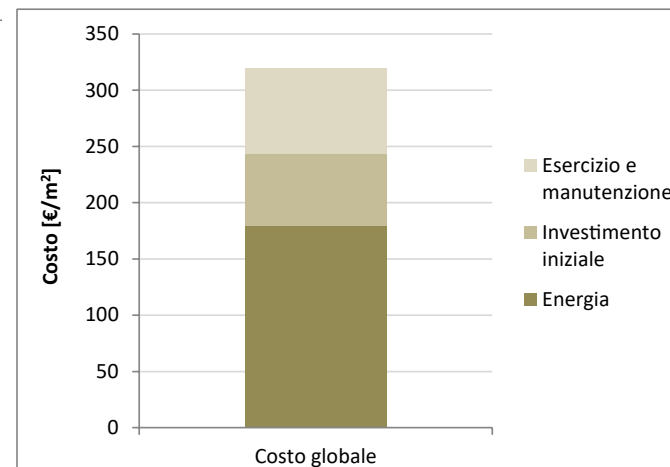
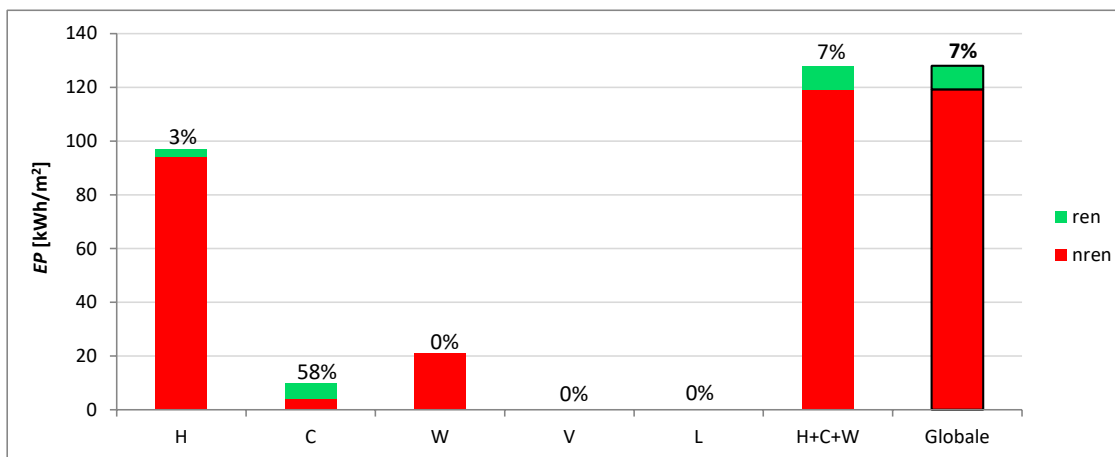
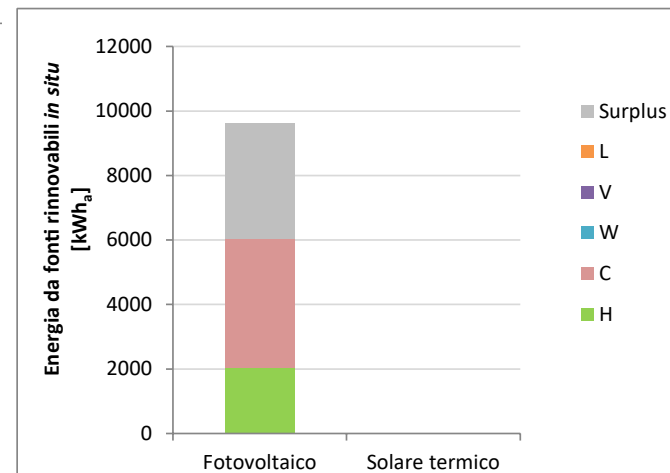
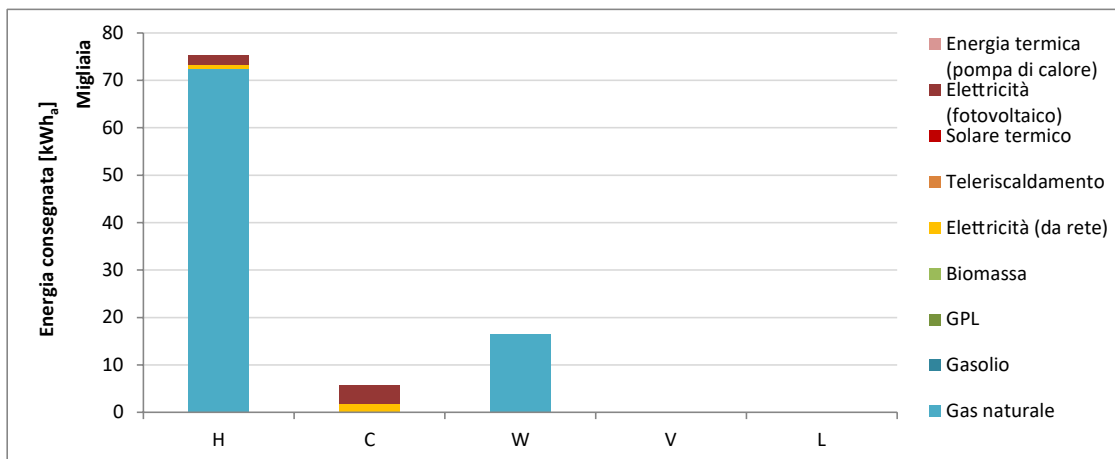


Tabella 6.130 Condominio esistente di piccole dimensioni, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica B (Palermo).

EDIFICIO PICCOLO CONDOMINIO – ESISTENTE 1946-76 – zona B (RPC_E1_B)								
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Ottimale mensile		Ottimale orario	
					Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K^{-1})]$	U_p	0,90	0,90	1	0,90	1
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K^{-1})]$	U_p					
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K^{-1})]$ [equivalente, solaio verso sottotetto (b=0,70)]	U_r	1,16	0,26	5	0,26	5
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K^{-1})]$ [equivalente, solaio su cantina (b=0,60)]	U_r	0,78	0,28	5	0,78	1
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K^{-1})]$	U_w	4,90	4,90	1	4,90	1
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	assenti	mobile	3	mobile	3
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2,35	2,35	1	2,35	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	0,85	1,00	3	1,00	3
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	0,75	0,93	2	0,93	2
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore 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	Superficie dei collettori solari $[m^2]$	A_{coll}	assente	12,00	3	12,00	3
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata $[kW]$	P_p	assente	8,40	4	8,40	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r					
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	C	ZC	4	ZC	4
16	Riquilibrificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata $[W \cdot m^{-2}]$	P_N					
		Fattore del profilo di occupazione	F_O					
		Fattore di illuminamento costante	F_C					
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D					

Dati tipologici		
		
Superficie netta, A_f	$[m^2]$	827
Volume lordo, V_l	$[m^3]$	3076
Fattore di forma, A_{env}/V_l	$[m^{-1}]$	0,51
Sup. disperd. trasp., A_w/A_{env}	$[-]$	0,09
n. piani climatizzati		3
n. unità immobiliari		12

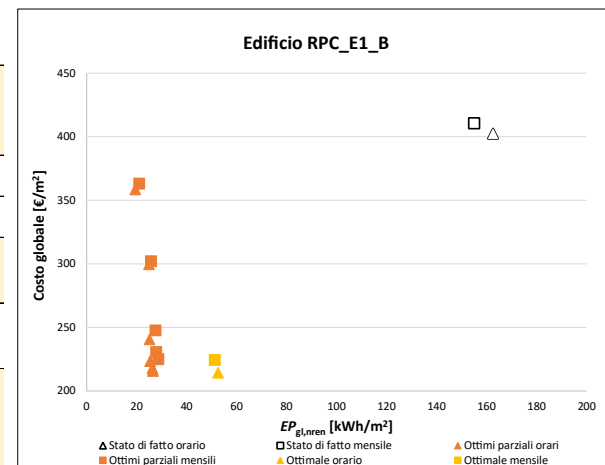


Tabella 6.131 Condominio esistente di piccole dimensioni, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica B (Palermo).

OTTIMIZZAZIONE MENSILE – Soluzione *cost-optimal*

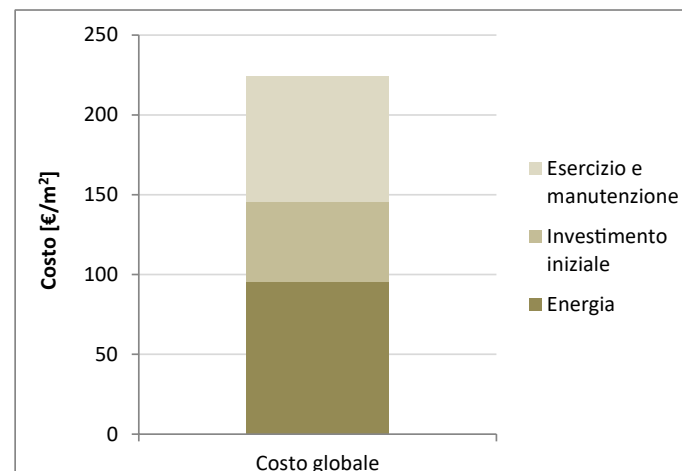
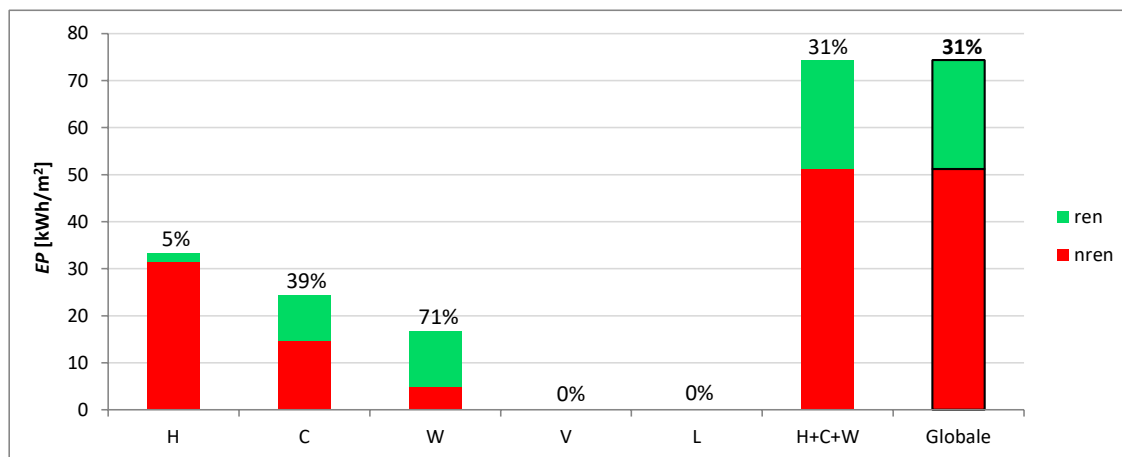
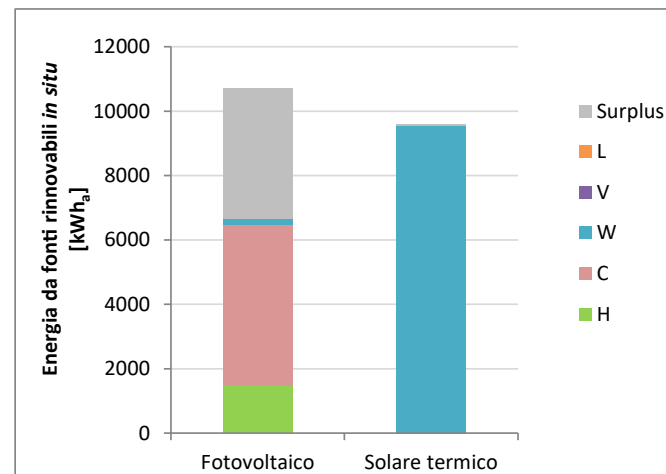
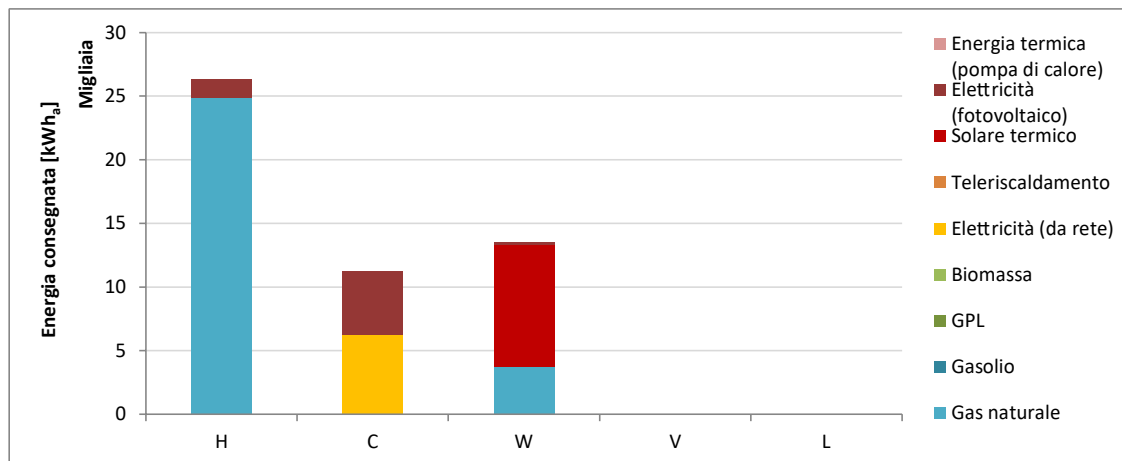


Tabella 6.132 Condominio esistente di piccole dimensioni, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica B (Palermo).

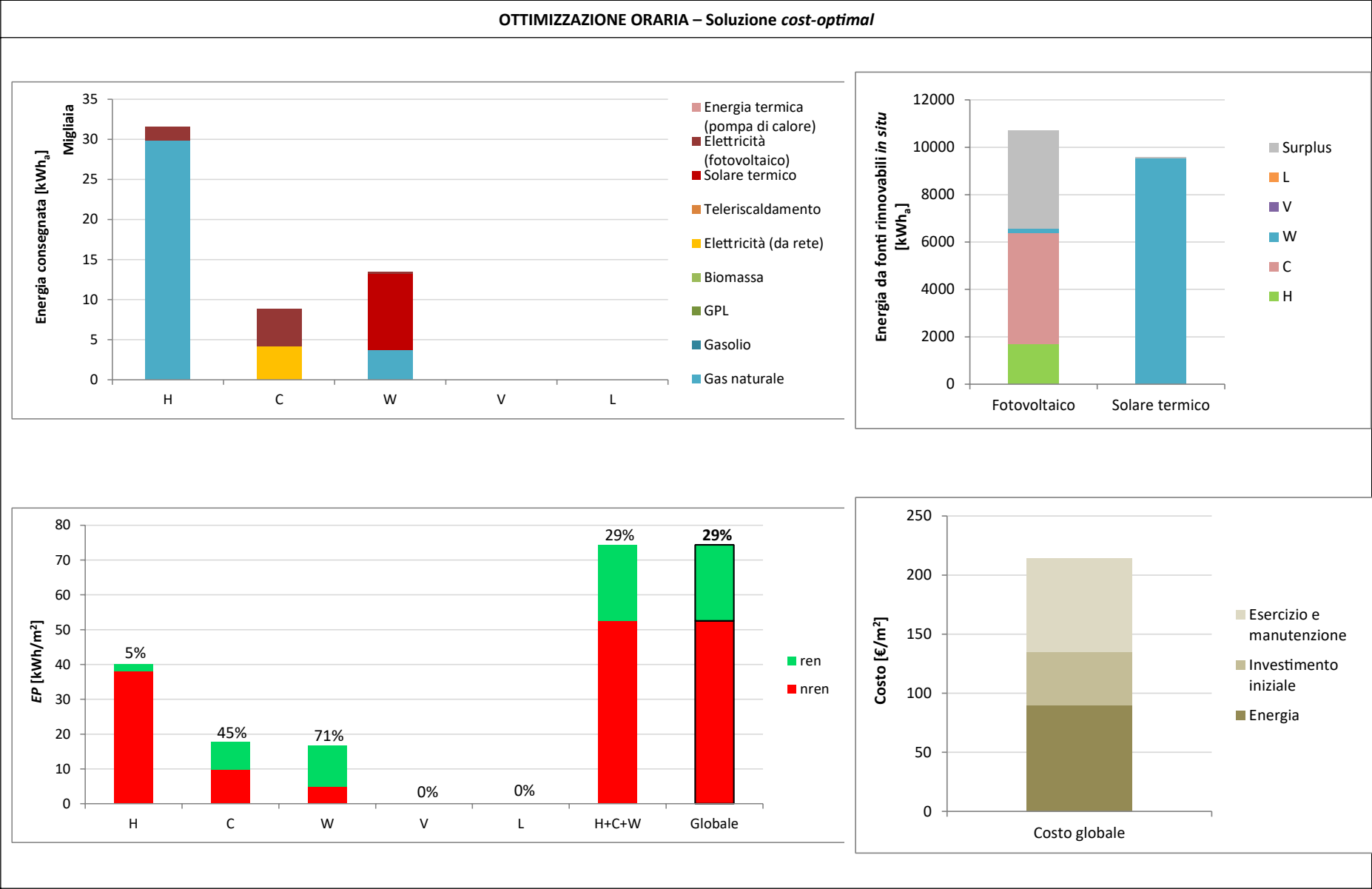


Tabella 6.133 Condominio esistente di piccole dimensioni, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica E (Milano).

EDIFICIO PICCOLO CONDOMINIO – ESISTENTE 1977-90 – zona E (RPC_E2_E)								
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Ottimale mensile		Ottimale orario	
					Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p	0,81	0,81	1	0,81	1
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p					
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)] [equivalente, solaio verso sottotetto (b=0,70)]	U_r	0,68	0,20	5	0,20	5
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_r	1,14	0,29	4	0,29	4
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_w	3,70	3,70	1	3,70	1
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	assenti	assenti	1	assenti	1
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2,35	2,35	1	2,35	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	0,85	1,00	3	1,00	3
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	0,77	0,93	2	0,93	2
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore 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	Superficie dei collettori solari [m ²]	A_{coll}	assente	12,00	3	12,00	3
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata [kW]	P_p	assente	9,60	4	9,60	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r					
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	C	ZC	4	ZC	4
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata [W.m ⁻²]	P_N					
		Fattore del profilo di occupazione	F_O					
		Fattore di illuminamento costante	F_C					
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D					

Dati tipologici



Superficie netta, A_f	[m ²]	1088
Volume lordo, V_l	[m ³]	4136
Fattore di forma, A_{env}/V_l	[m ⁻¹]	0,48
Sup. disperd. trasp., A_w/A_{env}	[-]	0,06
n. piani climatizzati		3
n. unità immobiliari		12

Edificio RPC_E2_E

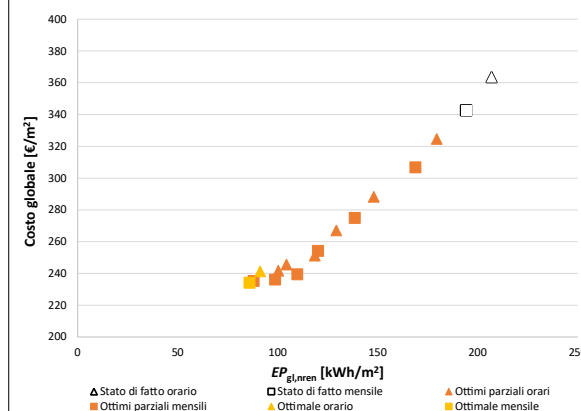


Tabella 6.134 Condominio esistente di piccole dimensioni, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica E (Milano).

OTTIMIZZAZIONE MENSILE – Soluzione *cost-optimal*

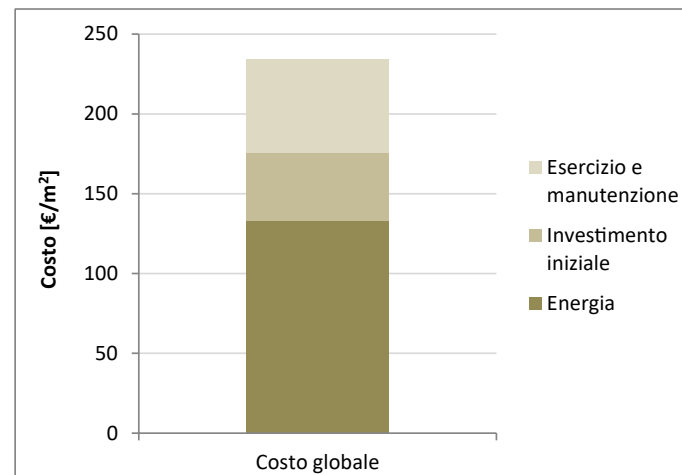
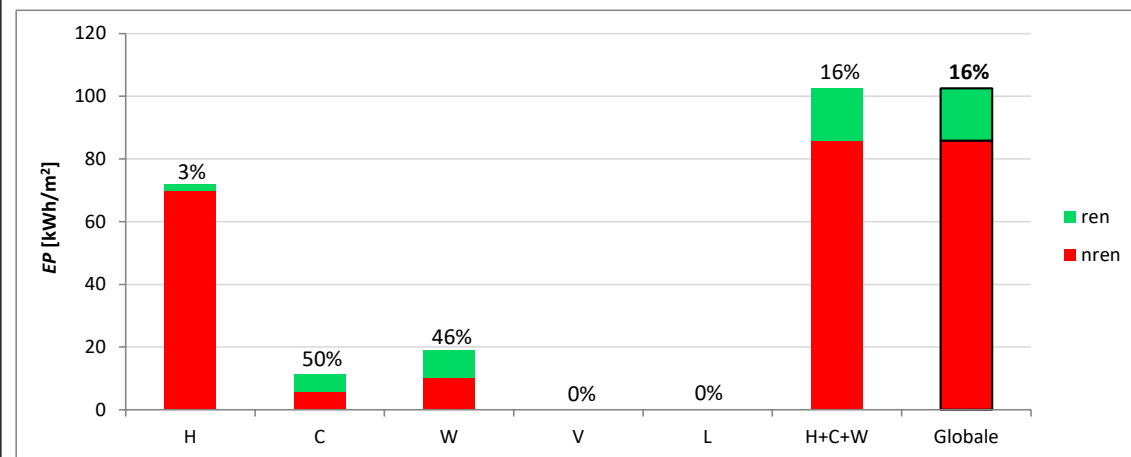
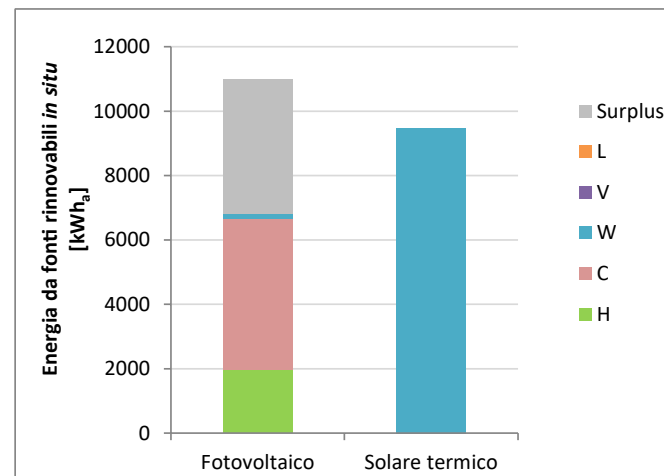
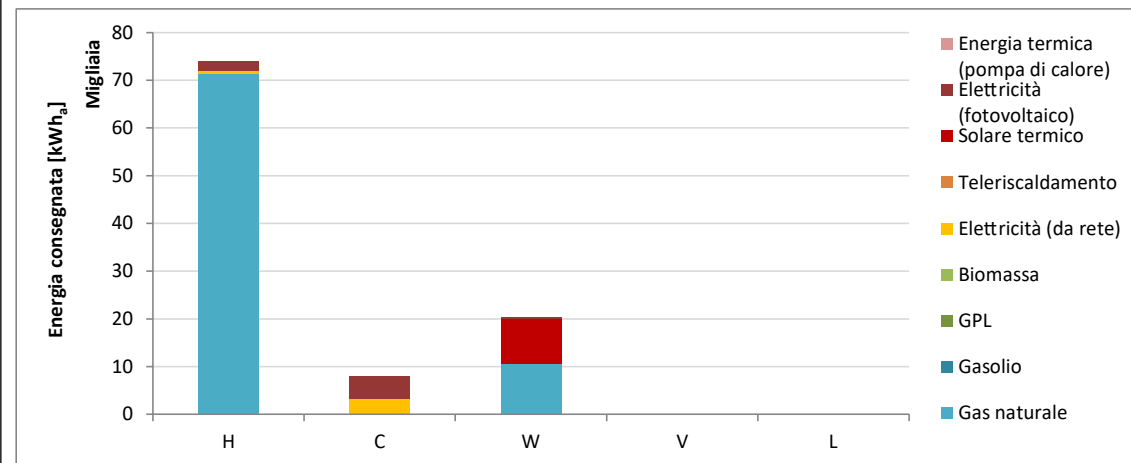


Tabella 6.135 Condominio esistente di piccole dimensioni, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica E (Milano).

OTTIMIZZAZIONE ORARIA – Soluzione *cost-optimal*

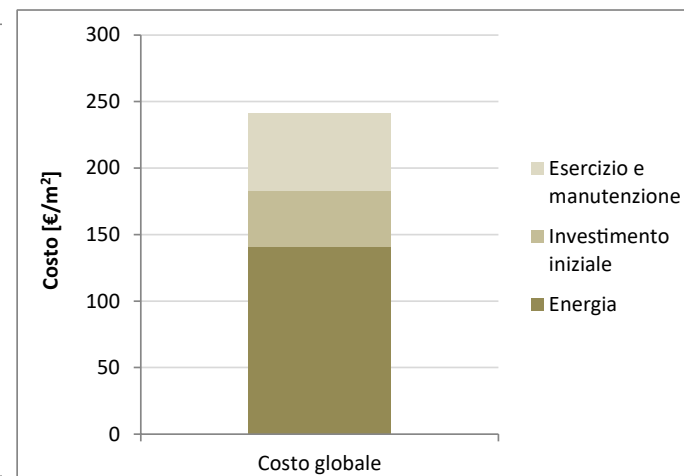
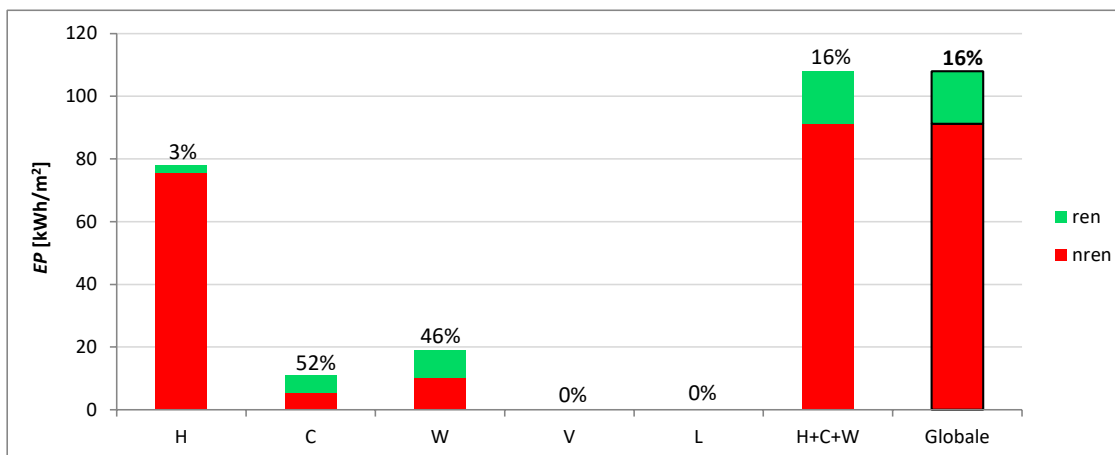
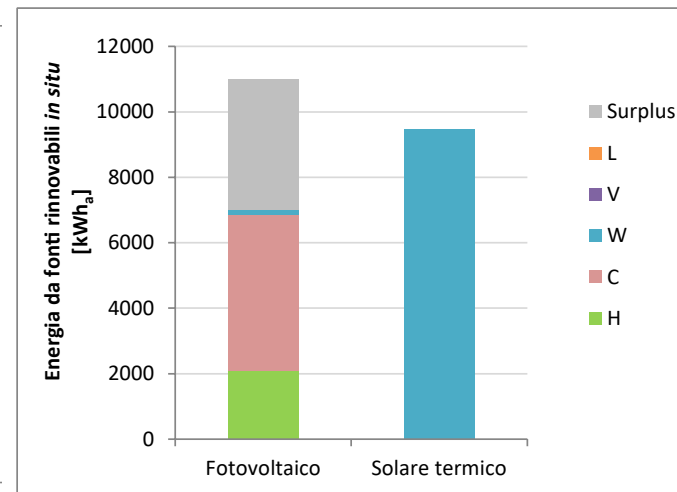
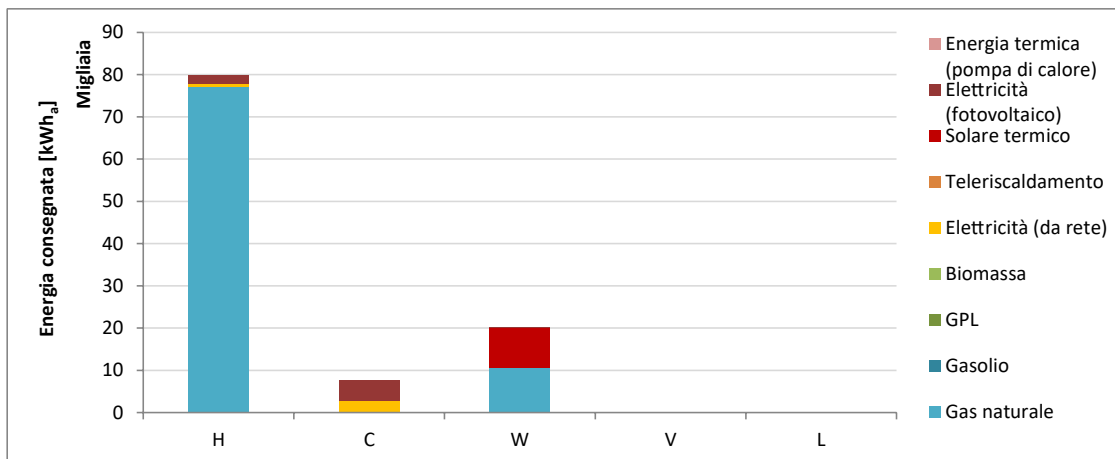


Tabella 6.136 Condominio esistente di piccole dimensioni, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica B (Palermo).

EDIFICIO PICCOLO CONDOMINIO – ESISTENTE 1977-90 – zona B (RPC_E2_B)								
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Ottimale mensile		Ottimale orario	
					Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p	-	-	-	-	-
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p	0,98	0,35	2	0,98	1
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)] [equivalente, solaio verso sottotetto (b=0,70)]	U_r	1,16	0,26	5	0,26	5
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_r	1,60	0,42	4	0,42	4
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_w	3,80	3,80	1	3,80	1
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	assenti	mobile	3	mobile	3
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2,35	2,35	1	2,35	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	0,85	0,85	1	1,00	3
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	0,77	0,77	1	0,77	1
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore 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	Superficie dei collettori solari [m ²]	A_{coll}	assente	12,00	3	12,00	3
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata [kW]	P_p	assente	9,60	4	9,60	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r					
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	C	ZC	4	ZC	4
16	Riquilibrificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata [W.m ⁻²]	P_N					
		Fattore del profilo di occupazione	F_O					
		Fattore di illuminamento costante	F_C					
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D					

Dati tipologici



Superficie netta, A_f	[m ²]	1088
Volume lordo, V_l	[m ³]	4136
Fattore di forma, A_{env}/V_l	[m ⁻¹]	0,48
Sup. disperd. trasp., A_w/A_{env}	[-]	0,06
n. piani climatizzati		3
n. unità immobiliari		12

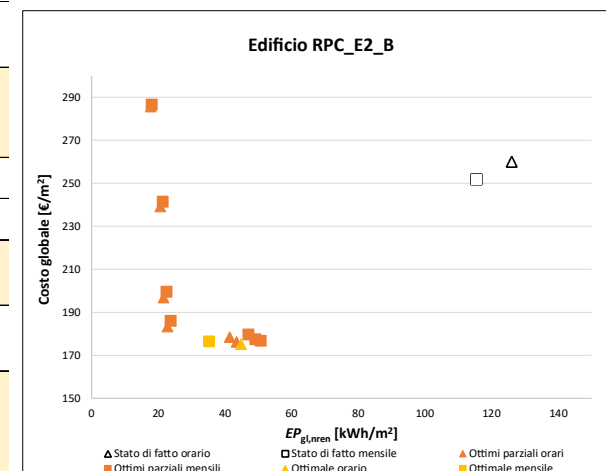


Tabella 6.137 Condominio esistente di piccole dimensioni, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica B (Palermo).

OTTIMIZZAZIONE MENSILE – Soluzione *cost-optimal*

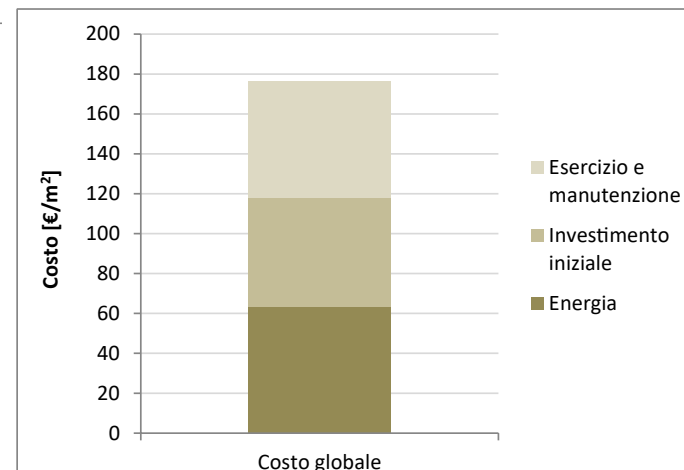
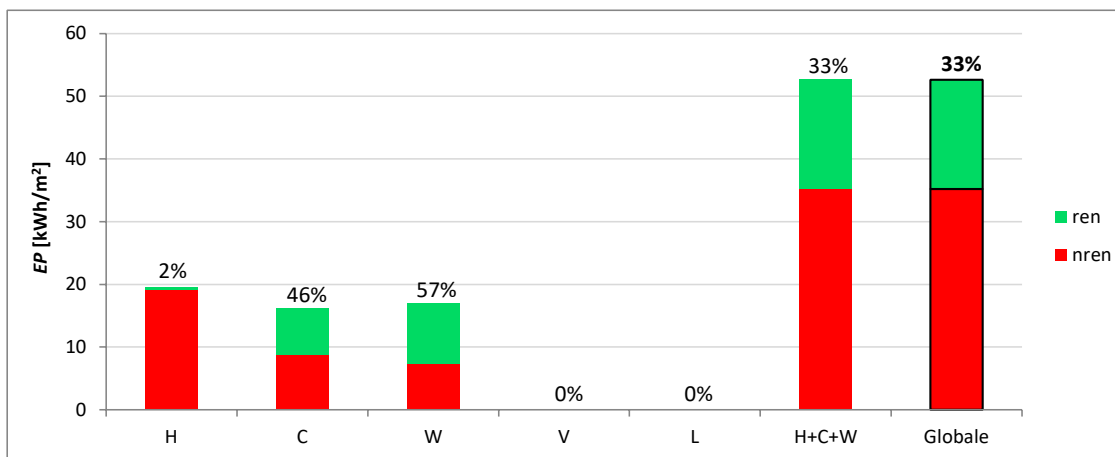
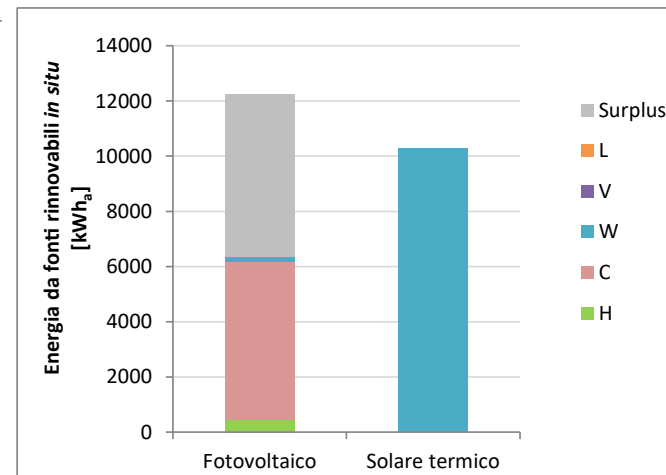
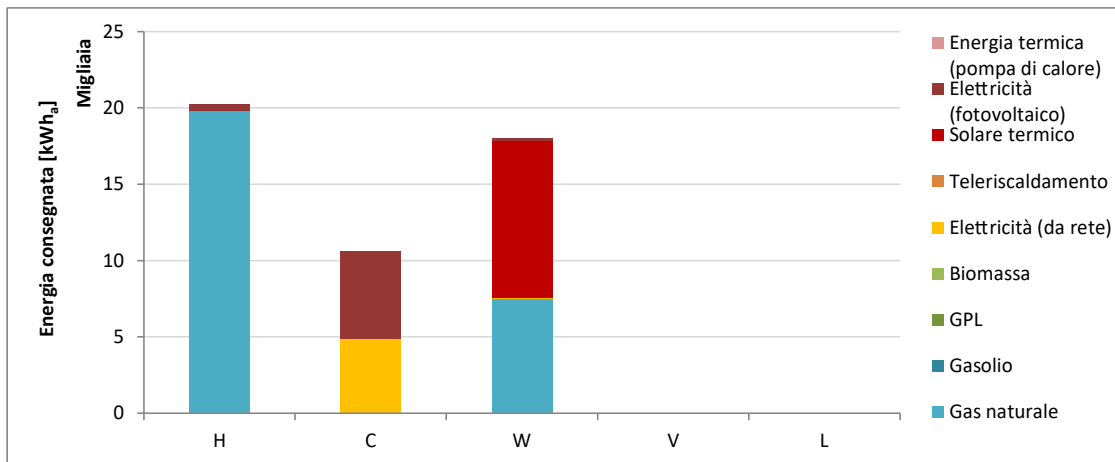


Tabella 6.138 Condominio esistente di piccole dimensioni, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica B (Palermo).

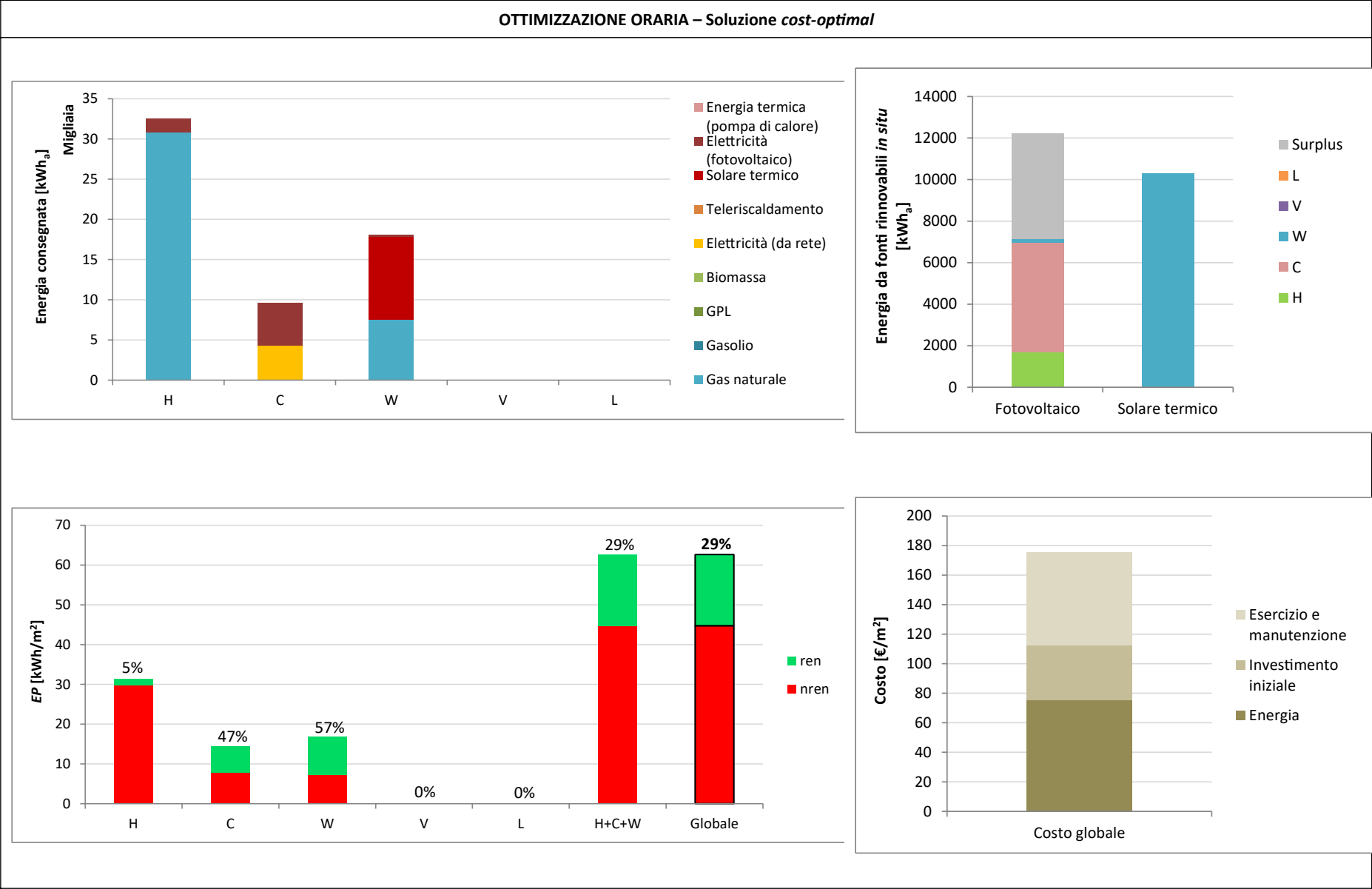
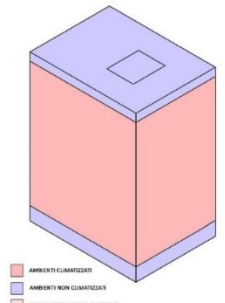


Tabella 6.139 Condominio di grandi dimensioni, nuovo – zona climatica E (Milano).

EDIFICIO GRANDE CONDOMINIO – NUOVO – zona E (RGC_N0_E)							
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Ottimale mensile		Ottimale orario	
				Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p	0,26	4	0,30	3
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p				
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)] [equivalente, solaio verso sottotetto (b=0,70)]	U_r	0,18	5	0,18	5
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)] [equivalente, solaio su cantina (b=0,60)]	U_r	0,17	5	0,26	4
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_w	3,80	1	3,80	1
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	mobile	2	mobile	2
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3,00	1	3,00	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	3,70	2	3,70	2
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	0,93	1	0,93	1
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore 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	Superficie dei collettori solari [m ²]	A_{coll}	20,00	1	20,00	1
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata [kW]	P_p	7,20	3	7,20	3
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r	0,90	3	0,90	3
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	ZC	3	ZC	3
16	Riquilificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata [W.m ⁻²]	P_N				
		Fattore del profilo di occupazione	F_O				
		Fattore di illuminamento costante	F_C				
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D				

Dati tipologici		
		
Superficie netta, A_f	[m ²]	1788
Volume lordo, V_l	[m ³]	6662
Fattore di forma, A_{env}/V_l	[m ⁻¹]	0,43
Sup. disperd. trasp., A_w/A_{env}	[-]	0,09
n. piani climatizzati		8
n. unità immobiliari		24

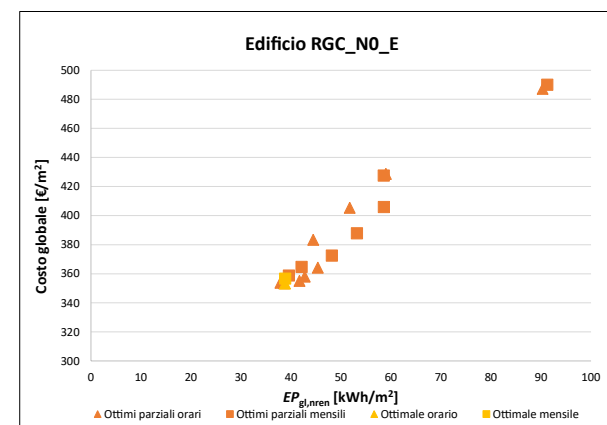


Tabella 6.140 Condominio di grandi dimensioni, nuovo – zona climatica E (Milano).

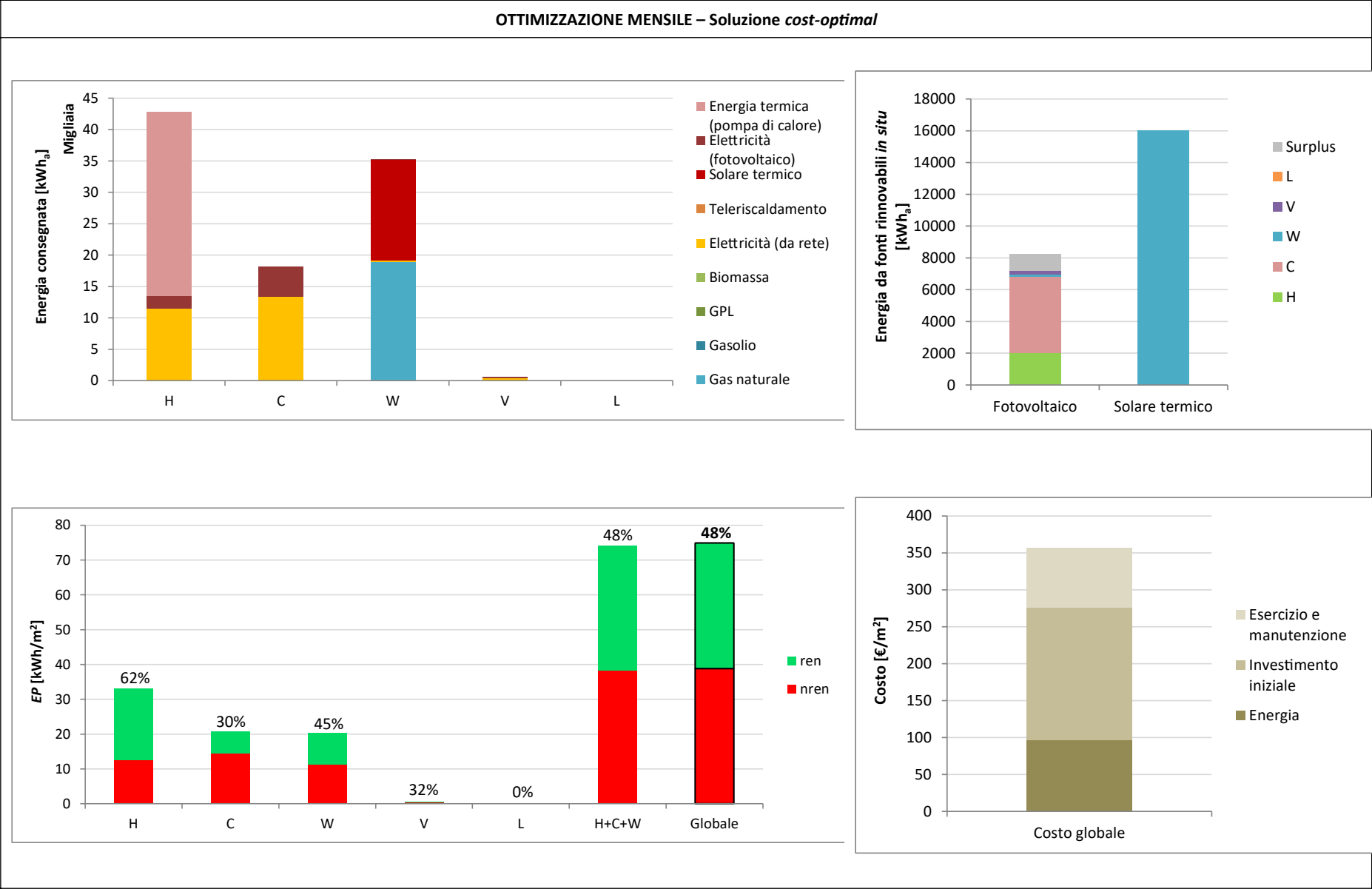


Tabella 6.141 Condominio di grandi dimensioni, nuovo – zona climatica E (Milano).

OTTIMIZZAZIONE ORARIA – Soluzione *cost-optimal*

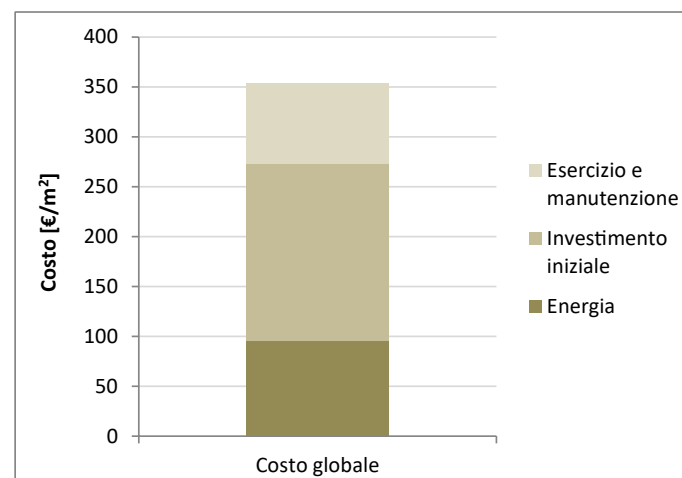
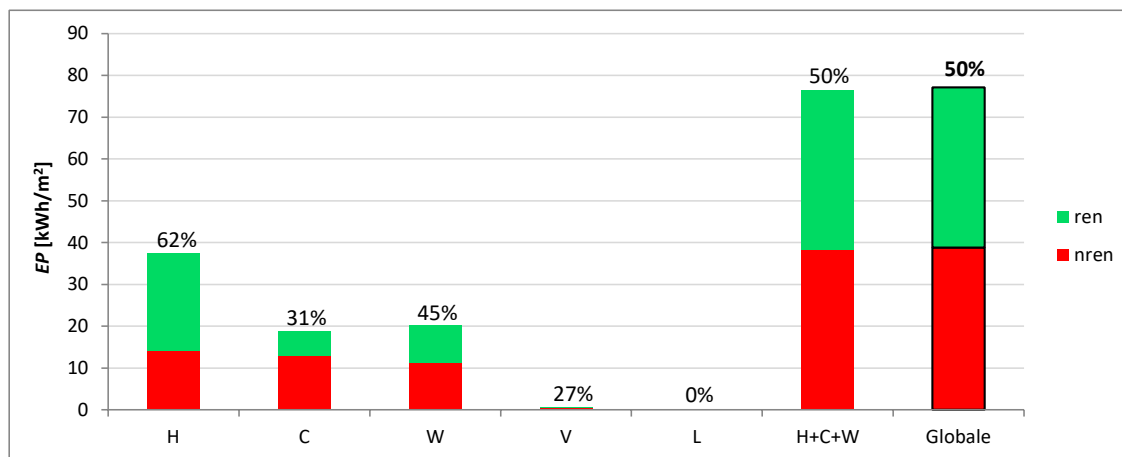
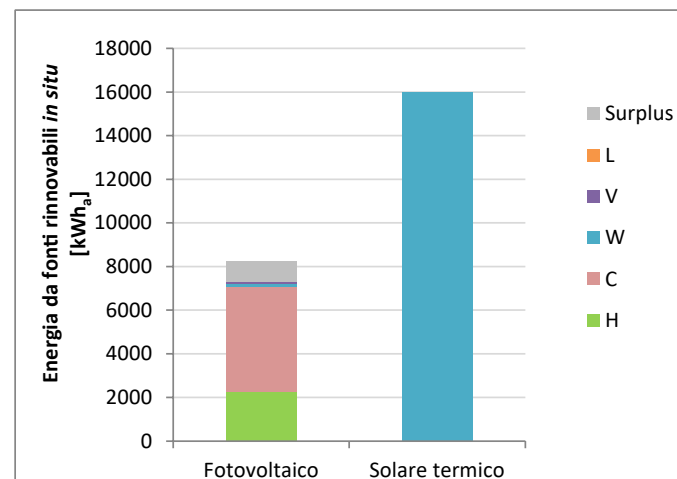
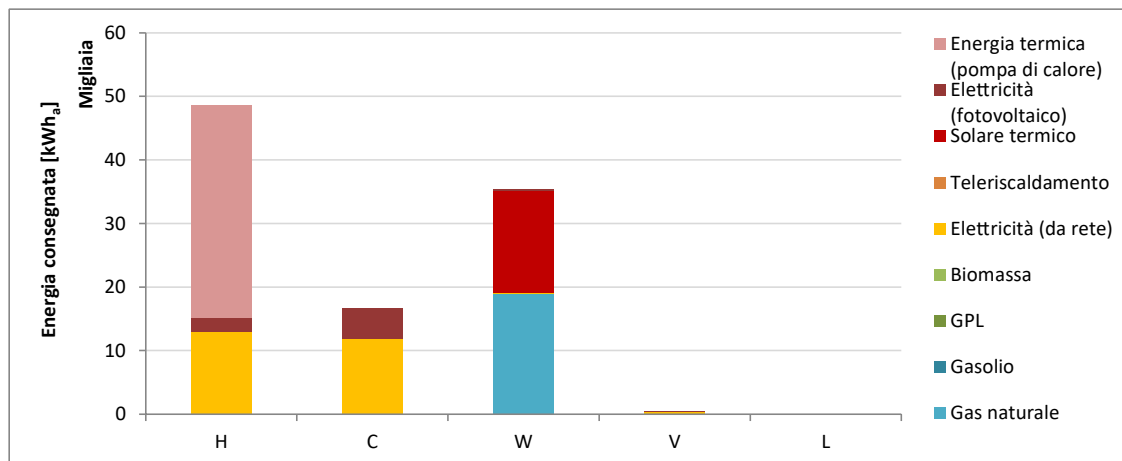
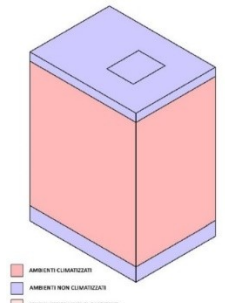


Tabella 6.142 Condominio di grandi dimensioni, nuovo – zona climatica B (Palermo).

EDIFICIO GRANDE CONDOMINIO – NUOVO – zona B (RGC_N0_B)							
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Ottimale mensile		Ottimale orario	
				Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K)^{-1}]$	U_p	1,50	1	1,50	1
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K)^{-1}]$	U_p				
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K)^{-1}]$ [equivalente, solaio verso sottotetto (b=0,70)]	U_r	0,28	5	0,28	5
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K)^{-1}]$ [equivalente, solaio su cantina (b=0,60)]	U_r	0,29	5	0,29	5
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K)^{-1}]$	U_w	3,20	3	3,20	3
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	mobile	2	mobile	2
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3,00	1	3,00	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	3,70	2	3,70	2
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Ph,W}$	0,93	1	0,93	1
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore 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	Superficie dei collettori solari $[m^2]$	A_{coll}	20,00	1	20,00	1
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata $[kW]$	P_p	7,20	3	7,20	3
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r	0,60	1	0,60	1
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	ZC	3	ZC	3
16	Riquilificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata $[W \cdot m^{-2}]$	P_N				
		Fattore del profilo di occupazione	F_O				
		Fattore di illuminamento costante	F_C				
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D				

Dati tipologici		
		
Superficie netta, A_f	$[m^2]$	1788
Volume lordo, V_l	$[m^3]$	6662
Fattore di forma, A_{env}/V_l	$[m^{-1}]$	0,43
Sup. disperd. trasp., A_w/A_{env}	$[-]$	0,09
n. piani climatizzati		8
n. unità immobiliari		24

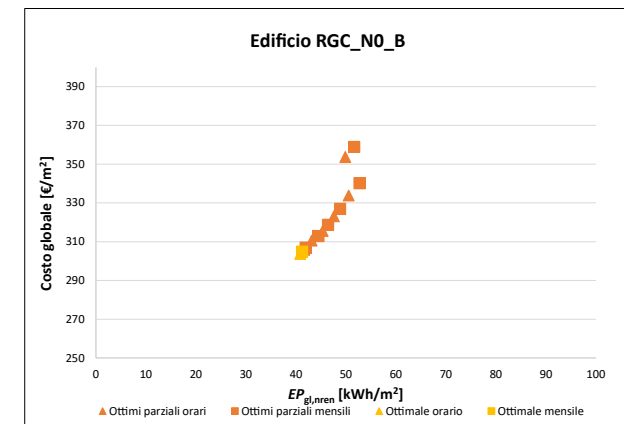


Tabella 6.143 Condominio di grandi dimensioni, nuovo – zona climatica B (Palermo).

OTTIMIZZAZIONE MENSILE – Soluzione *cost-optimal*

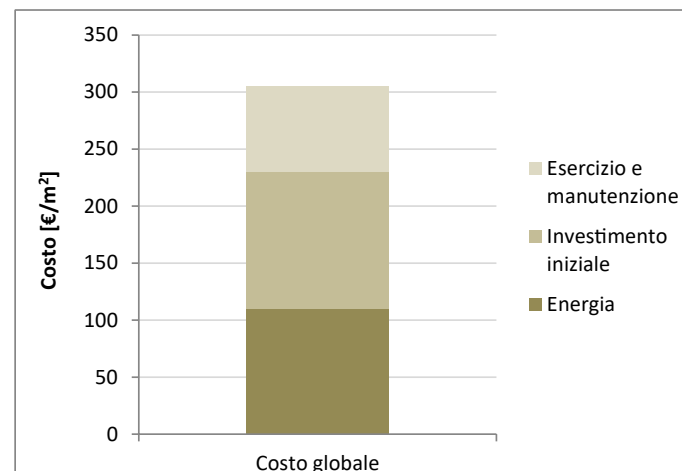
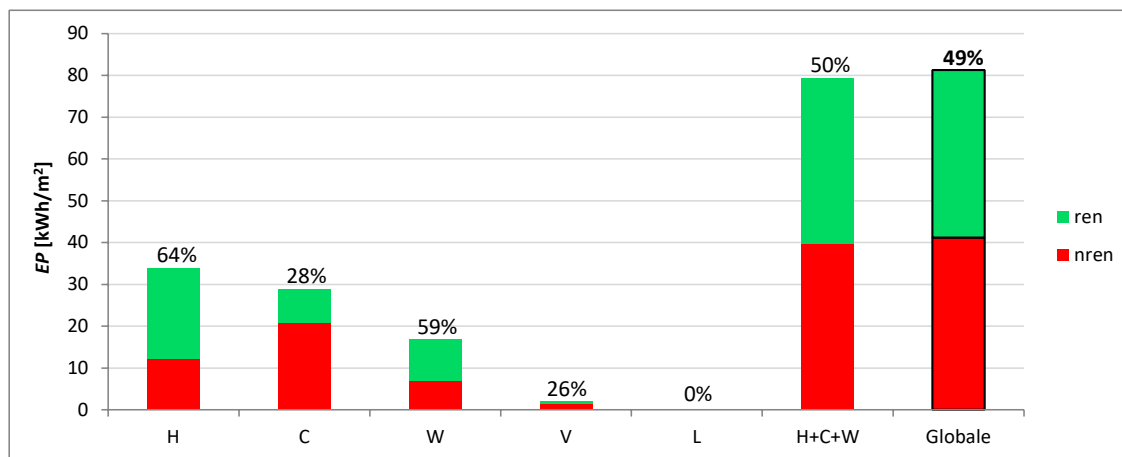
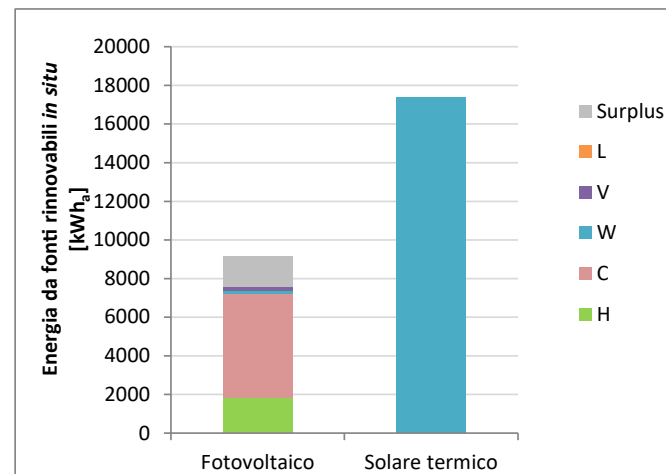
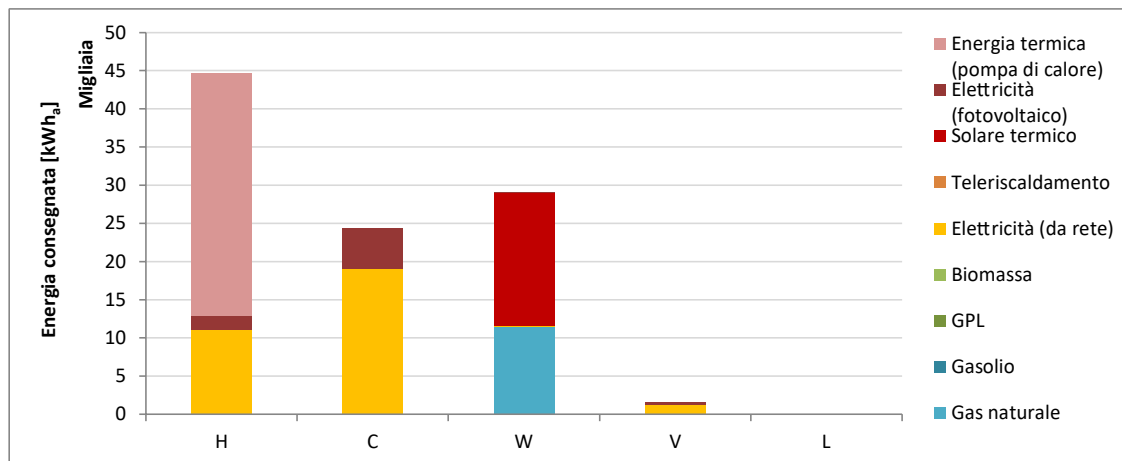


Tabella 6.144 Condominio di grandi dimensioni, nuovo – zona climatica B (Palermo).

OTTIMIZZAZIONE ORARIA – Soluzione *cost-optimal*

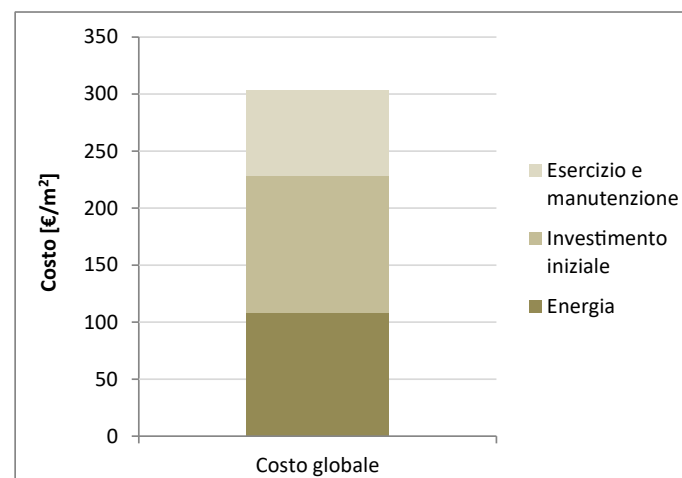
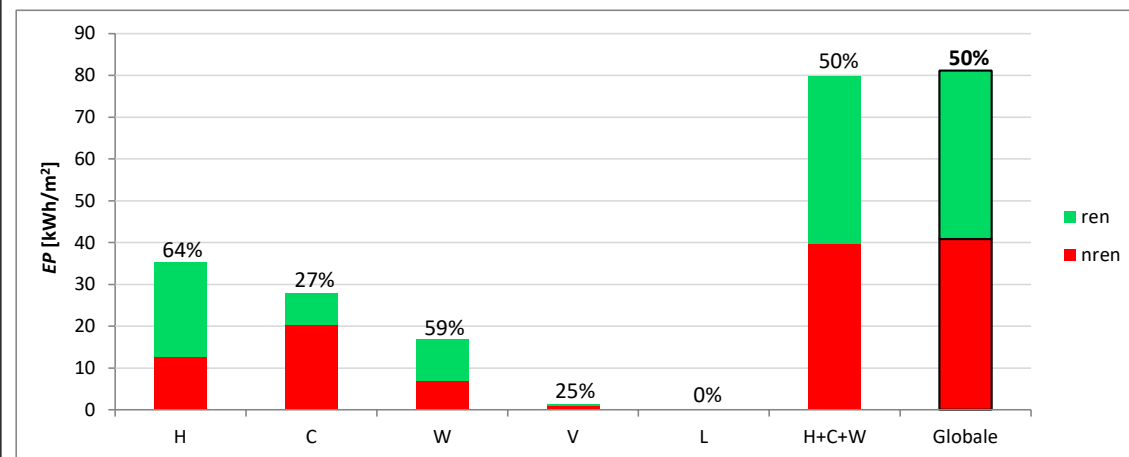
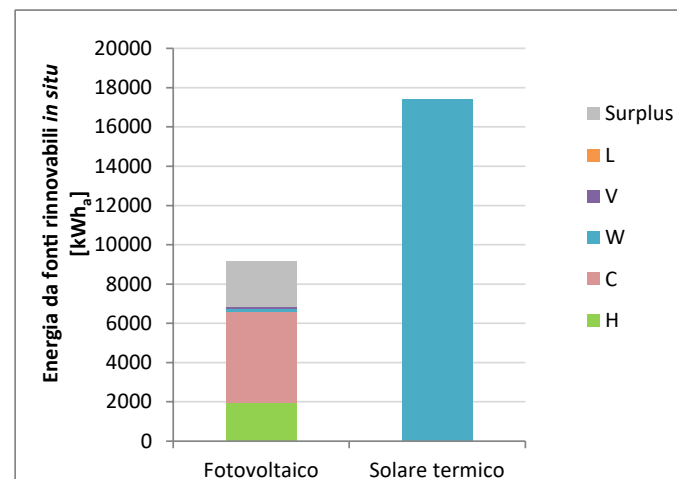
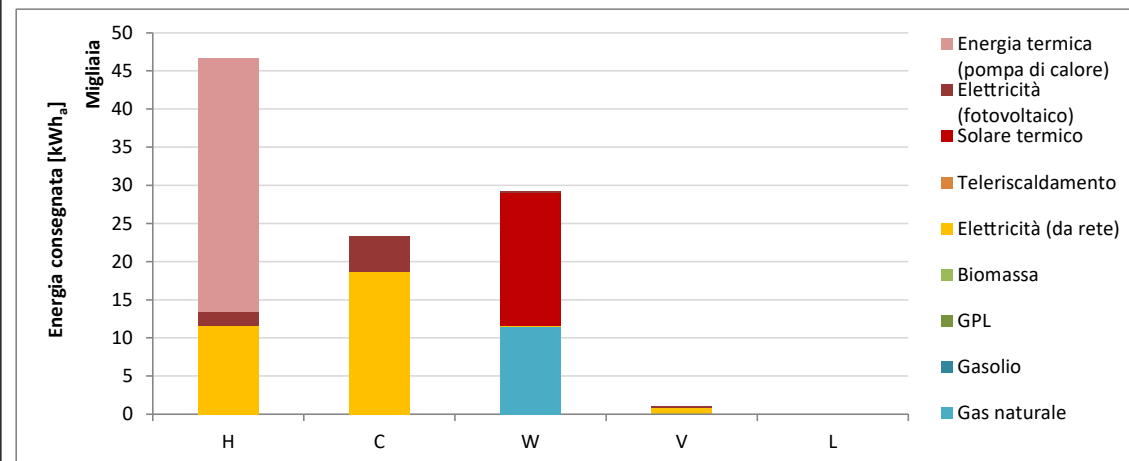


Tabella 6.145 Condominio esistente di grandi dimensioni, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica E (Milano).

EDIFICIO GRANDE CONDOMINIO – ESISTENTE 1946-76 – zona E (RGC_E1_E)								
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Ottimale mensile		Ottimale orario	
					Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p	-	-	-	-	-
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p	1,15	0,37	2	0,37	2
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)] [equivalente, solaio verso sottotetto (b=0,70)]	U_r	1,16	0,20	5	0,20	5
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)] [equivalente, solaio su cantina (b=0,60)]	U_r	0,78	0,19	5	0,29	4
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_w	4,90	2,30	2	2,30	2
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	assenti	mobile	3	mobile	3
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2,35	2,35	1	2,35	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	0,85	0,95	2	1,00	3
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	0,75	0,93	2	0,93	2
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore 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	Superficie dei collettori solari [m ²]	A_{coll}	assente	20,00	2	20,00	2
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata [kW]	P_p	assente	10,80	4	10,80	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r					
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	C	ZC	4	ZC	4
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata [W.m ⁻²]	P_N					
		Fattore del profilo di occupazione	F_O					
		Fattore di illuminamento costante	F_C					
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D					

Dati tipologici



Superficie netta, A_f	[m ²]	1552
Volume lordo, V_l	[m ³]	5949
Fattore di forma, A_{env}/V_l	[m ⁻¹]	0,46
Sup. disperd. trasp., A_w/A_{env}	[-]	0,08
n. piani climatizzati		4
n. unità immobiliari		24

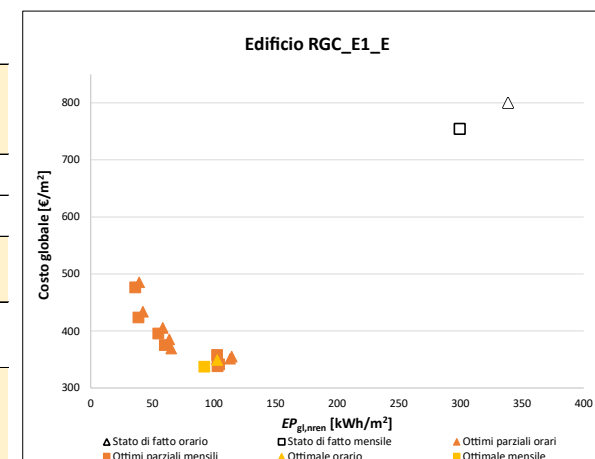


Tabella 6.146 Condominio esistente di grandi dimensioni, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica E (Milano).

OTTIMIZZAZIONE MENSILE – Soluzione *cost-optimal*

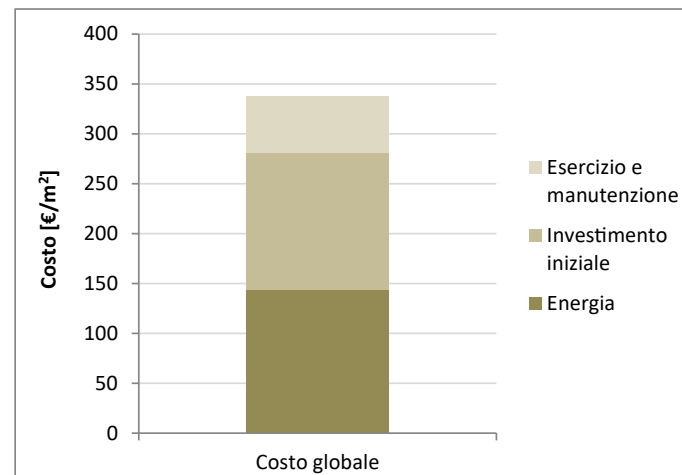
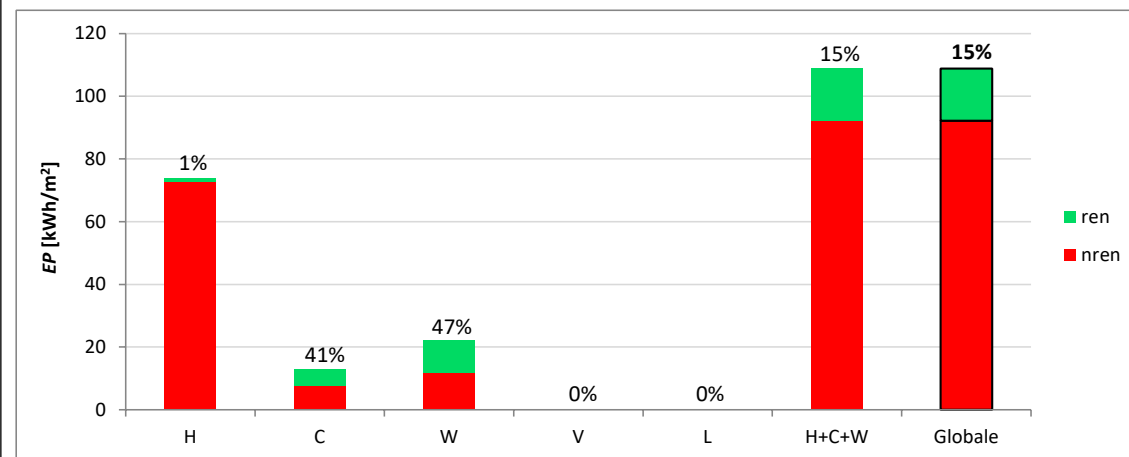
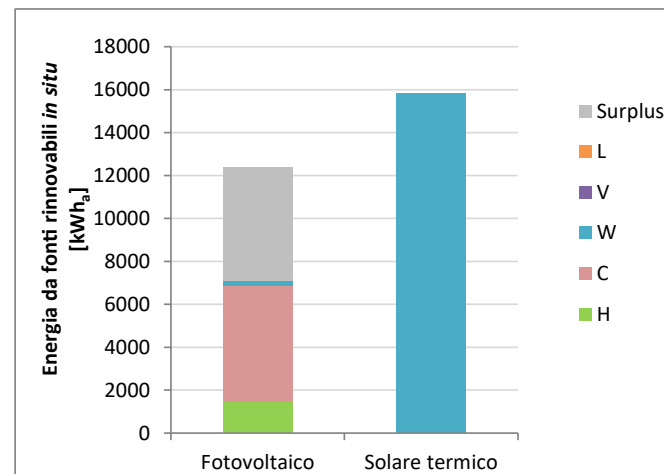
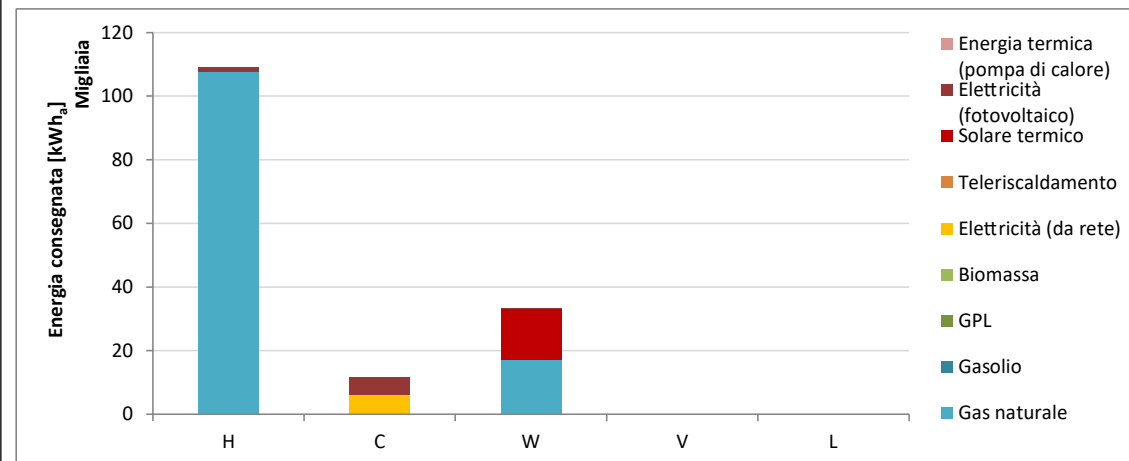


Tabella 6.147 Condominio esistente di grandi dimensioni, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica E (Milano).

OTTIMIZZAZIONE ORARIA – Soluzione *cost-optimal*

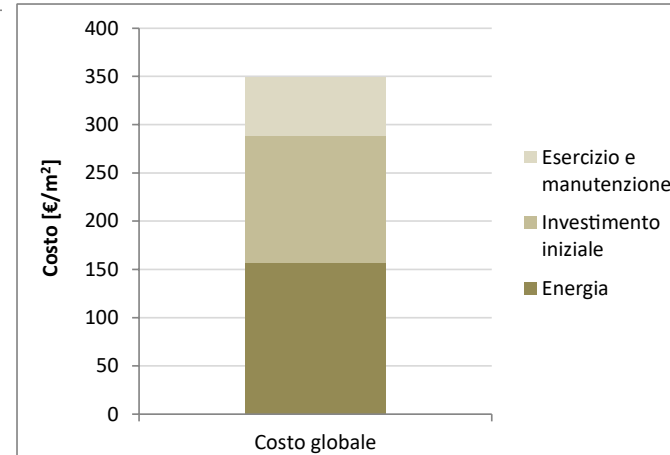
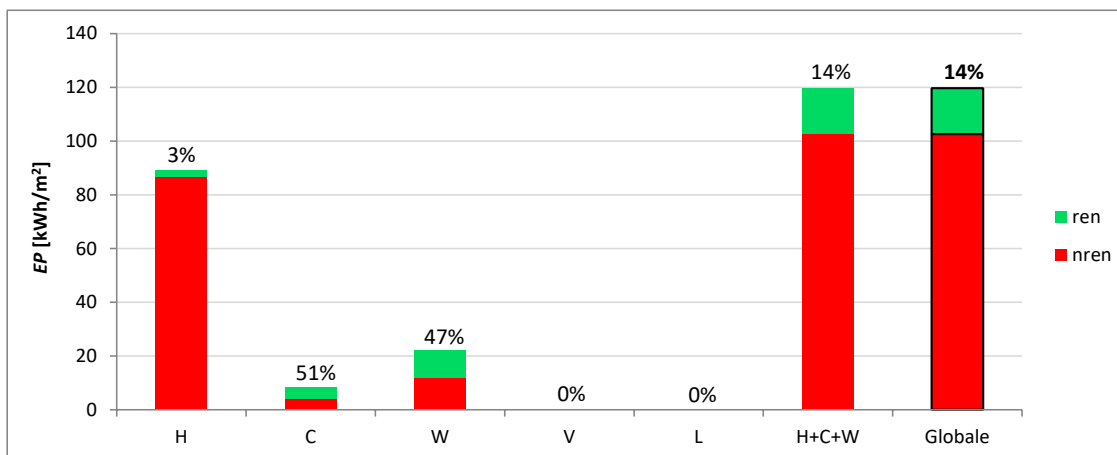
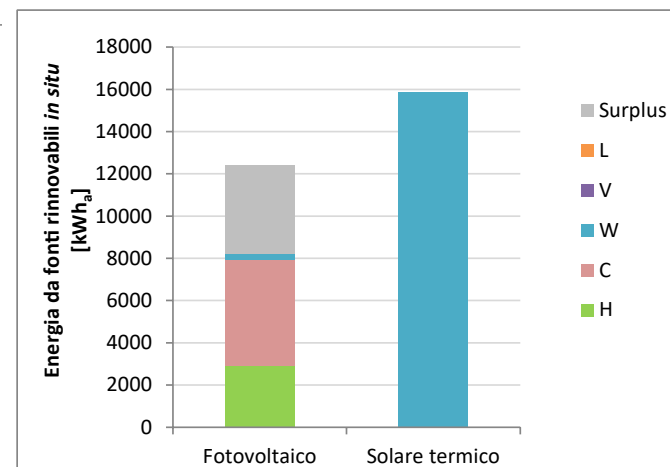
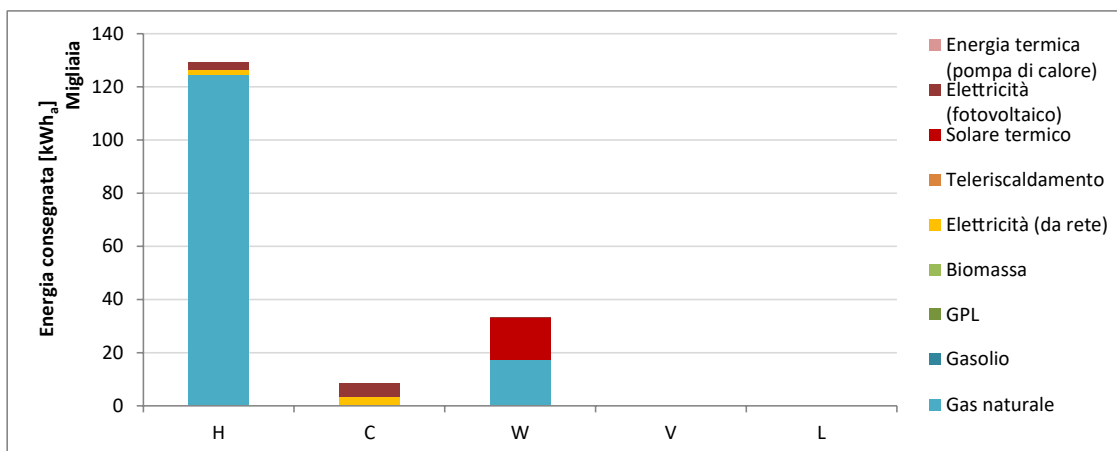


Tabella 6.148 Condominio esistente di grandi dimensioni, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica B (Palermo).

EDIFICIO GRANDE CONDOMINIO – ESISTENTE 1946-76 – zona B (RGC_E1_B)								
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Ottimale mensile		Ottimale orario	
					Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K^{-1})]$	U_p	0,90	0,90	1	0,90	1
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K^{-1})]$	U_p					
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K^{-1})]$ [equivalente, solaio verso sottotetto (b=0,70)]	U_r	1,16	0,26	5	0,26	5
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K^{-1})]$ [equivalente, solaio su cantina (b=0,60)]	U_r	0,78	0,28	5	0,78	1
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K^{-1})]$	U_w	4,90	3,20	3	3,20	3
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	assenti	mobile	3	mobile	3
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2,35	2,35	1	2,35	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	0,85	1,00	3	1,00	3
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	0,75	0,75	1	0,75	1
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore 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	Superficie dei collettori solari $[m^2]$	A_{coll}	assente	20,00	2	20,00	2
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata $[kW]$	P_p	assente	10,80	4	10,80	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r					
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	A	A	1	A	1
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata $[W \cdot m^{-2}]$	P_N					
		Fattore del profilo di occupazione	F_O					
		Fattore di illuminamento costante	F_C					
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D					

Dati tipologici



Superficie netta, A_f	$[m^2]$	1552
Volume lordo, V_l	$[m^3]$	5949
Fattore di forma, A_{env}/V_l	$[m^{-1}]$	0,46
Sup. disperd. trasp., A_w/A_{env}	$[-]$	0,08
n. piani climatizzati		4
n. unità immobiliari		24

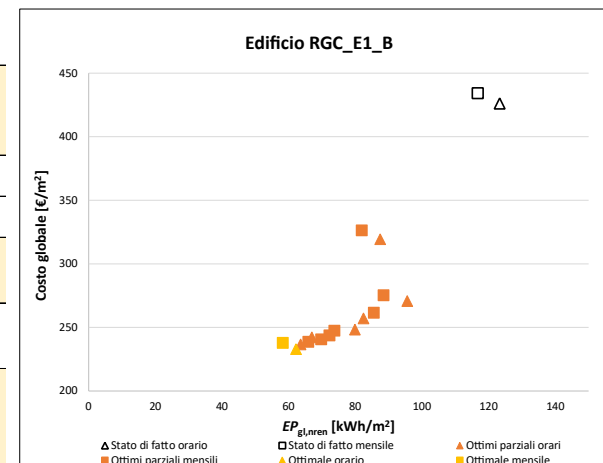


Tabella 6.149 Condominio esistente di grandi dimensioni, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica B (Palermo).

OTTIMIZZAZIONE MENSILE – Soluzione *cost-optimal*

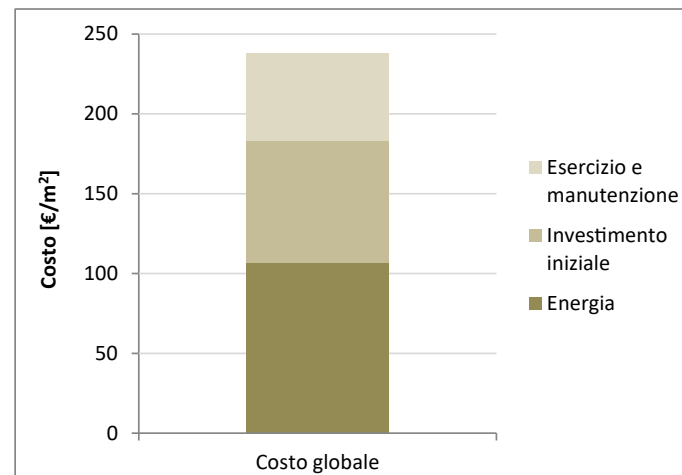
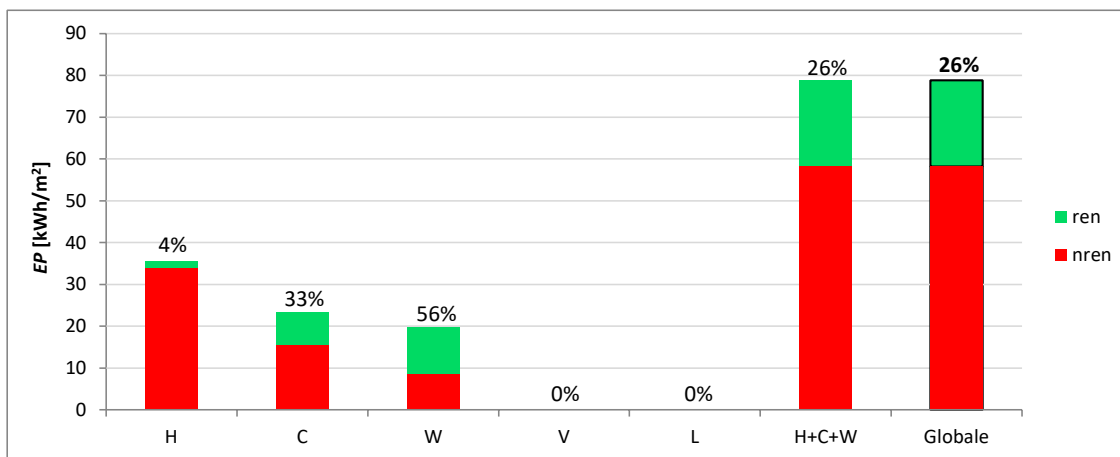
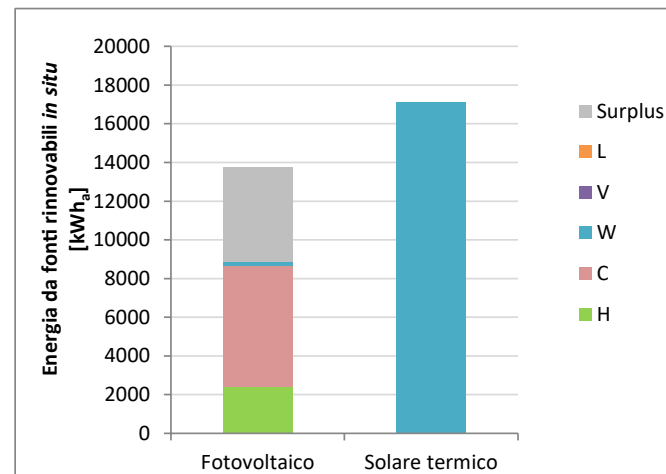
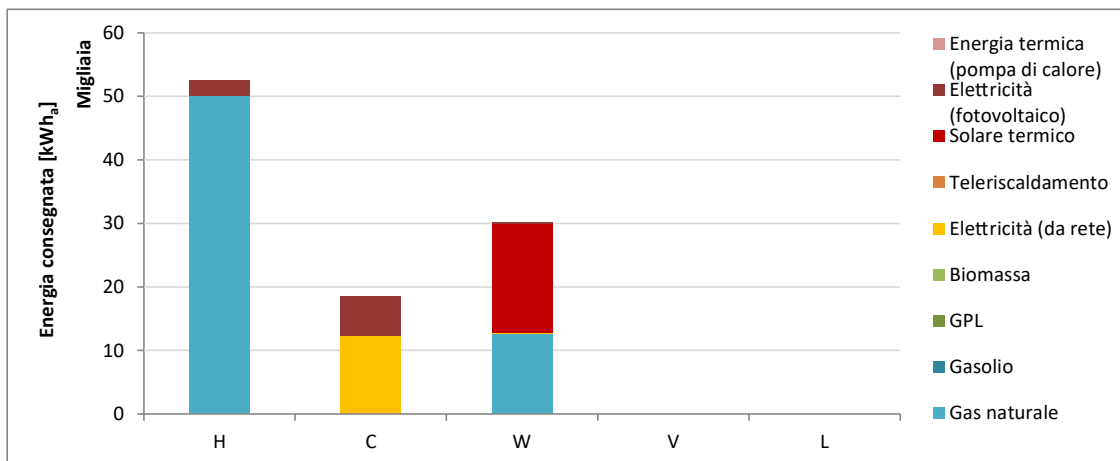


Tabella 6.150 Condominio esistente di grandi dimensioni, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica B (Palermo).

OTTIMIZZAZIONE ORARIA – Soluzione *cost-optimal*

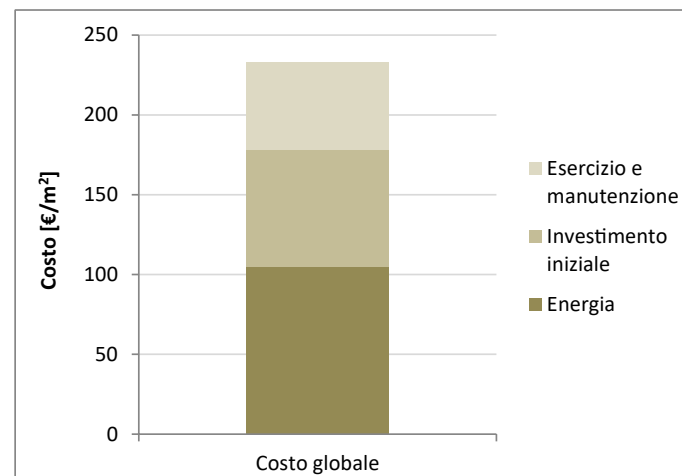
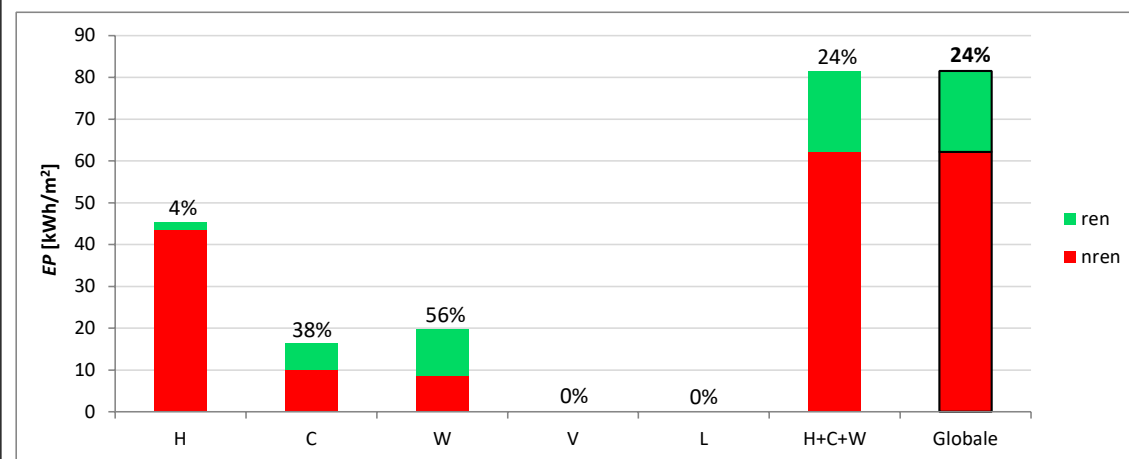
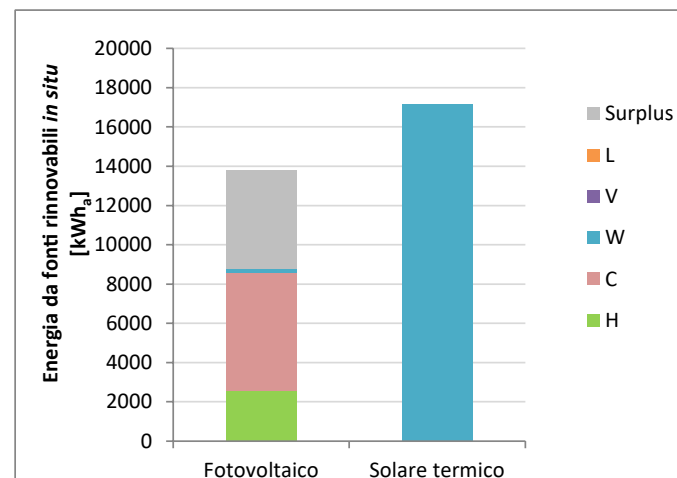
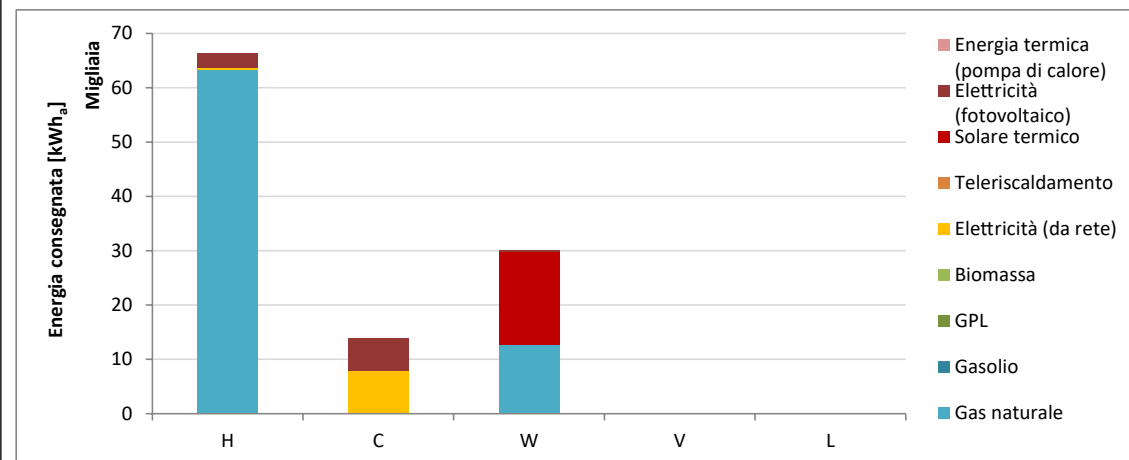


Tabella 6.151 Condominio esistente di grandi dimensioni, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica E (Milano).

EDIFICIO GRANDE CONDOMINIO – ESISTENTE 1977-90 – zona E (RGC_E2_E)								
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Ottimale mensile		Ottimale orario	
					Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p	-	-	-	-	-
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p	0,76	0,27	2	0,27	2
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)] [equivalente, solaio verso sottotetto (b=0,70)]	U_r	0,68	0,20	5	0,20	5
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)] [equivalente, solaio su cantina (b=0,60)]	U_r	0,59	0,29	4	0,29	4
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_w	3,70	3,70	1	3,70	1
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	assenti	mobile	3	mobile	3
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2,35	2,35	1	2,35	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	0,85	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	0,80	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	-	1,00	2	1,00	2
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP					
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER					
12	Impianto solare termico	Superficie dei collettori solari [m ²]	A_{coll}	assente	20,00	2	30,00	3
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata [kW]	P_p	assente	16,80	4	16,80	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r					
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	C	ZC	4	ZC	4
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata [W.m ⁻²]	P_N					
		Fattore del profilo di occupazione	F_O					
		Fattore di illuminamento costante	F_C					
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D					

Dati tipologici		
		
Superficie netta, A_f	[m ²]	3506
Volume lordo, V_l	[m ³]	12685
Fattore di forma, A_{env}/V_l	[m ⁻¹]	0,37
Sup. disperd. trasp., A_w/A_{env}	[-]	0,08
n. piani climatizzati		6
n. unità immobiliari		48

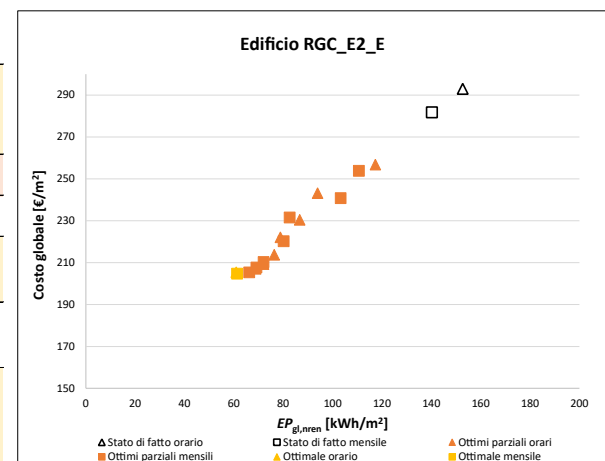


Tabella 6.152 Condominio esistente di grandi dimensioni, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica E (Milano).

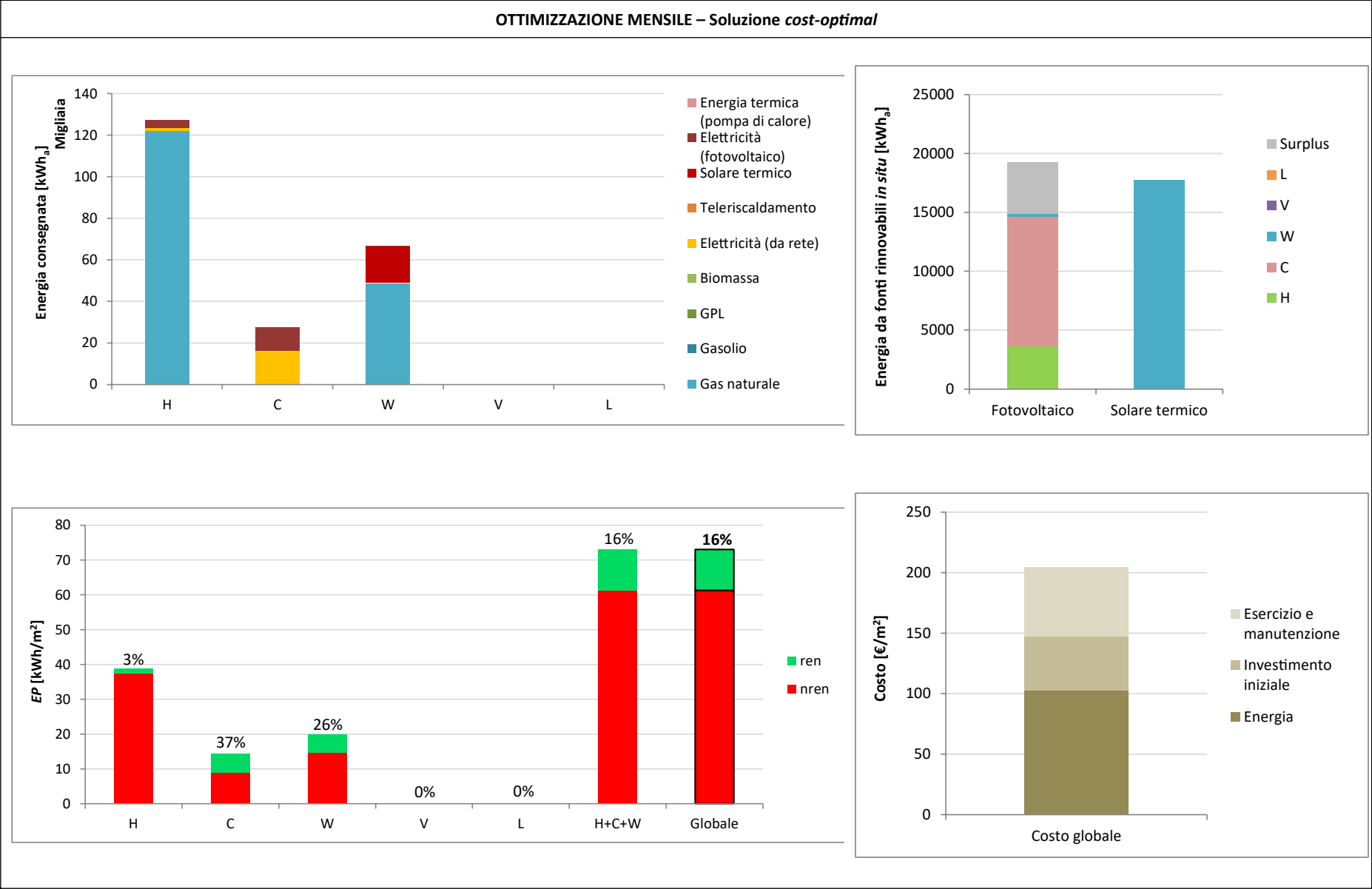


Tabella 6.153 Condominio esistente di grandi dimensioni, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica E (Milano).

OTTIMIZZAZIONE ORARIA – Soluzione *cost-optimal*

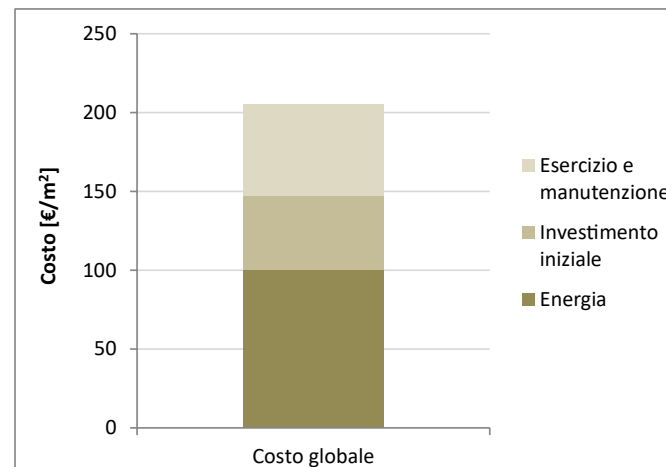
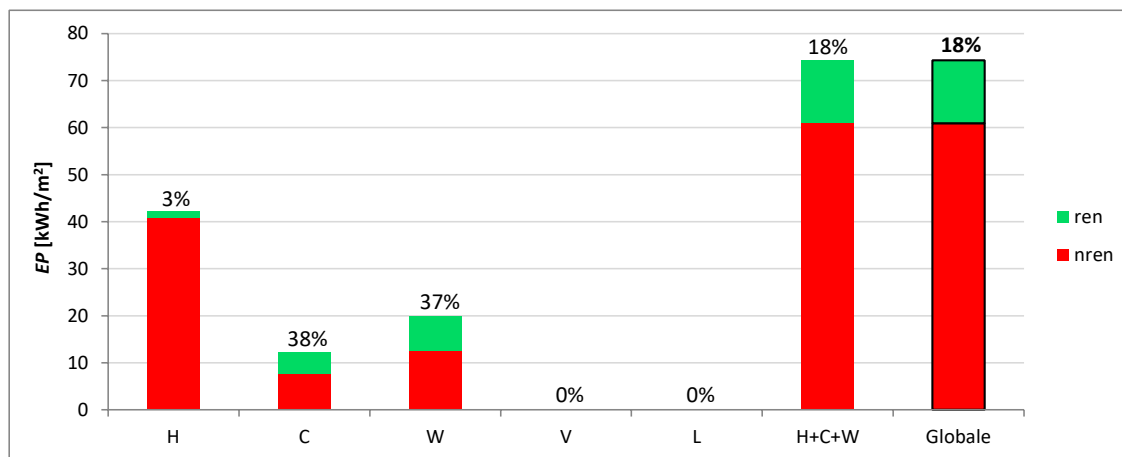
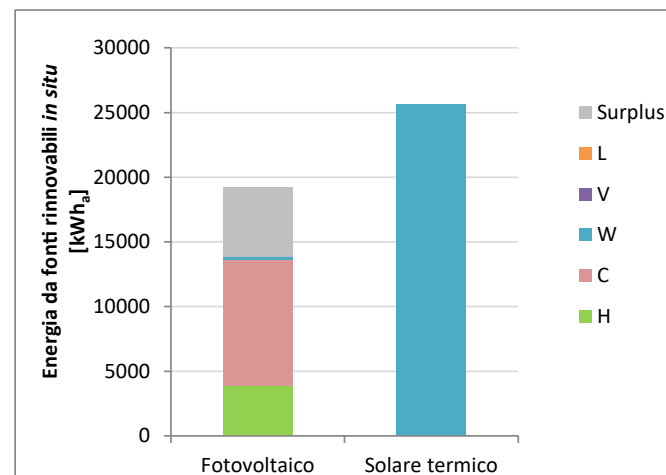
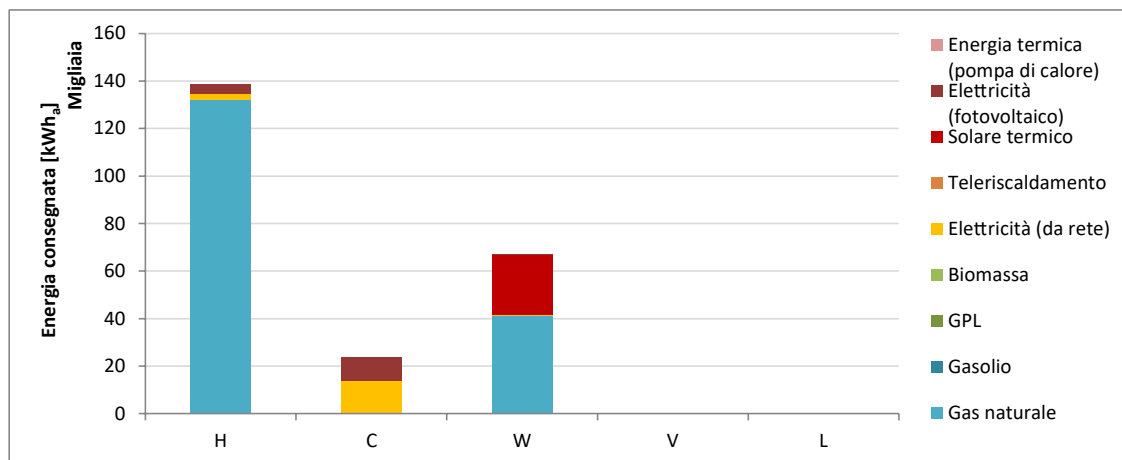


Tabella 6.154 Condominio esistente di grandi dimensioni, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica B (Palermo).

EDIFICIO GRANDE CONDOMINIO – ESISTENTE 1977-90 – zona B (RGC_E2_B)								
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Ottimale mensile		Ottimale orario	
					Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p	-	-	-	-	-
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p	0,98	0,98	1	0,98	1
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)] [equivalente, solaio verso sottotetto (b=0,70)]	U_r	1,16	0,26	5	0,26	5
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)] [equivalente, solaio su cantina (b=0,60)]	U_r	0,78	0,28	5	0,78	1
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_w	4,90	4,90	1	4,90	1
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	assenti	mobile	3	mobile	3
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2,35	2,35	1	2,35	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	0,85	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	0,80	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	-	1,00	2	1,00	2
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP					
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER					
12	Impianto solare termico	Superficie dei collettori solari [m ²]	A_{coll}	assente	30,00	3	30,00	3
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata [kW]	P_p	assente	16,80	4	16,80	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r					
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	C	ZC	4	ZC	4
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata [W.m ⁻²]	P_N					
		Fattore del profilo di occupazione	F_O					
		Fattore di illuminamento costante	F_C					
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D					

Dati tipologici		
		
Superficie netta, A_f	[m ²]	3506
Volume lordo, V_l	[m ³]	12685
Fattore di forma, A_{env}/V_l	[m ⁻¹]	0,37
Sup. disperd. trasp., A_w/A_{env}	[-]	0,08
n. piani climatizzati		6
n. unità immobiliari		48

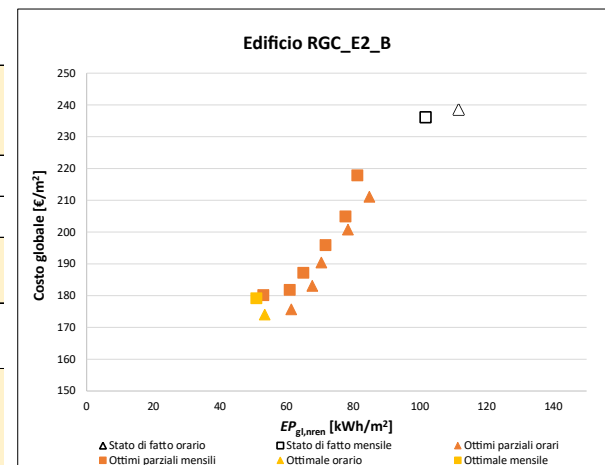


Tabella 6.155 Condominio esistente di grandi dimensioni, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica B (Palermo).

OTTIMIZZAZIONE MENSILE – Soluzione *cost-optimal*

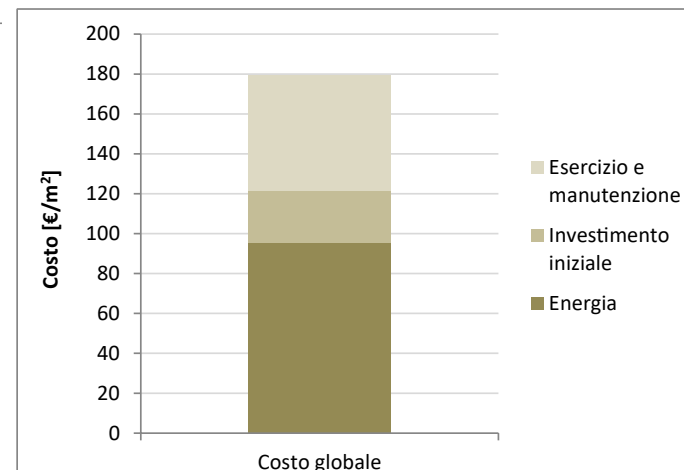
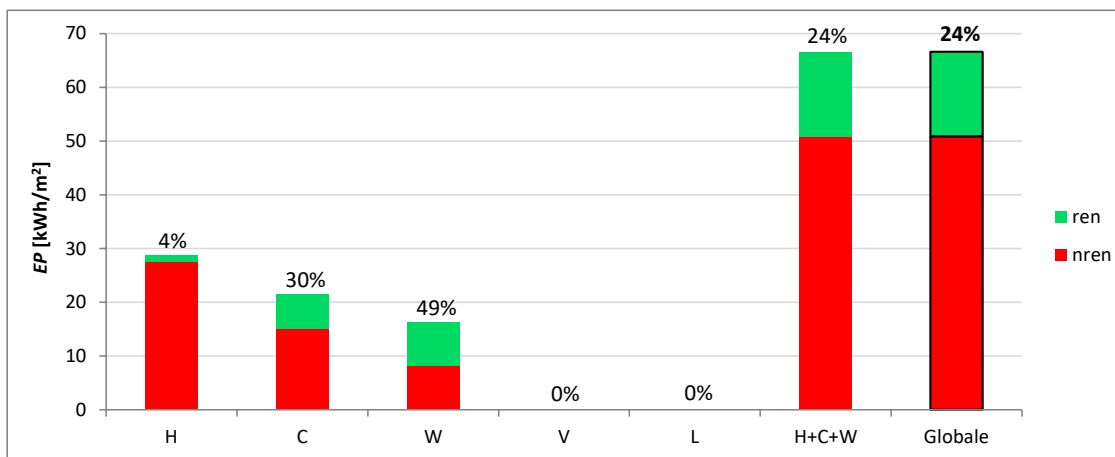
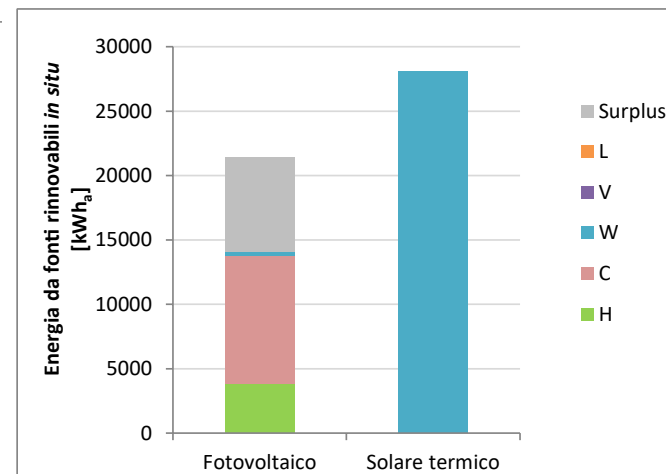
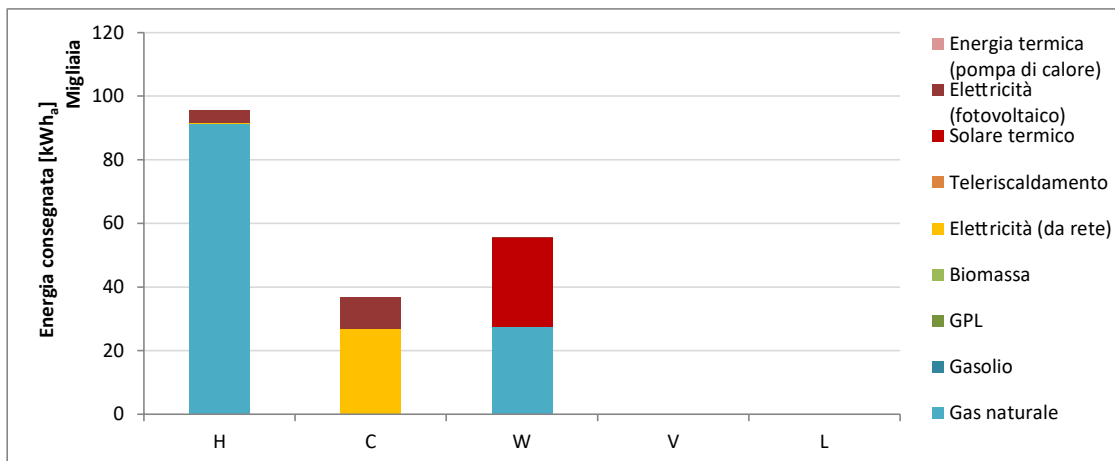


Tabella 6.156 Condominio esistente di grandi dimensioni, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica B (Palermo).

OTTIMIZZAZIONE ORARIA – Soluzione *cost-optimal*

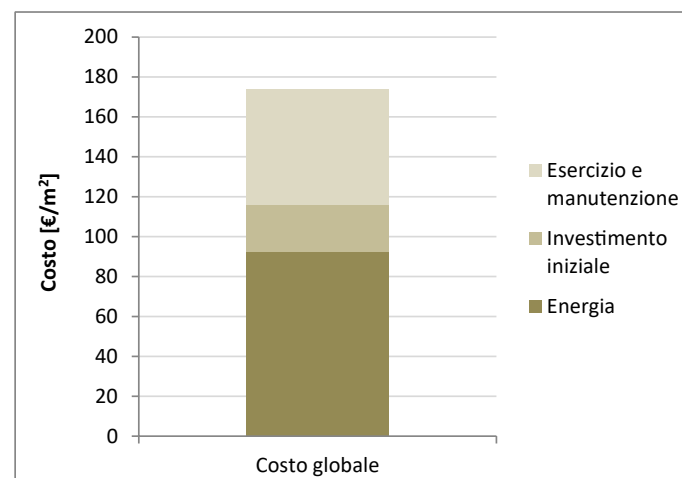
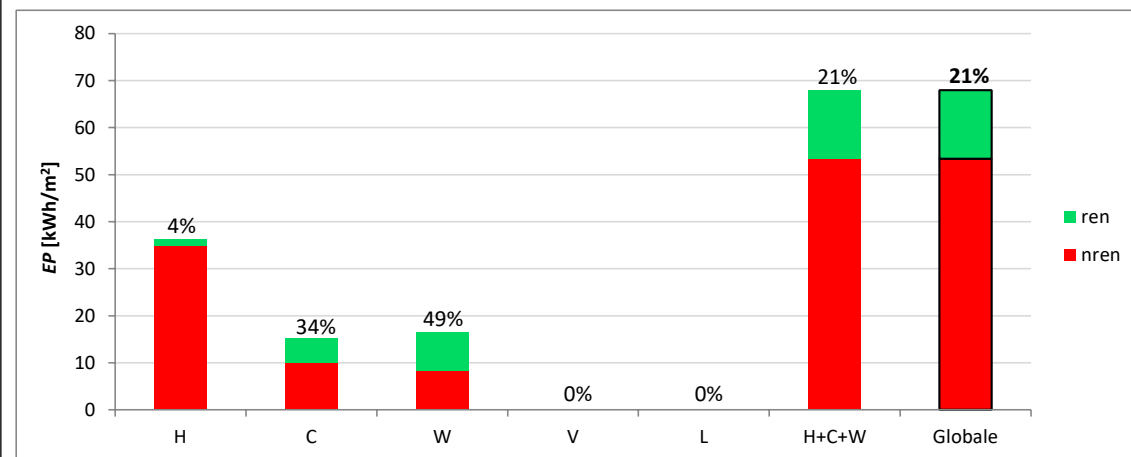
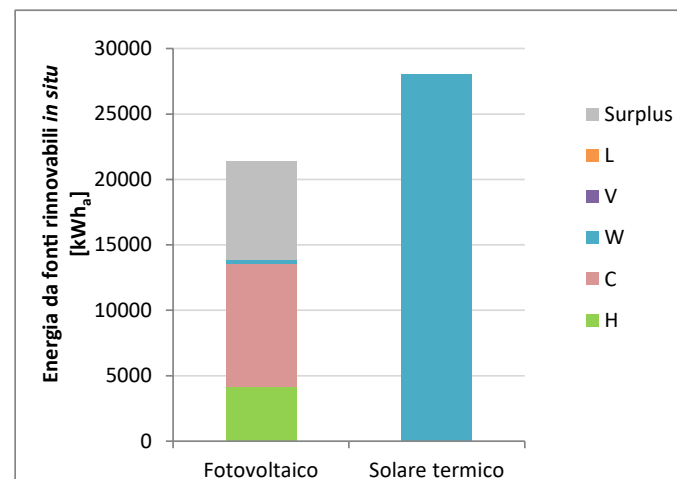
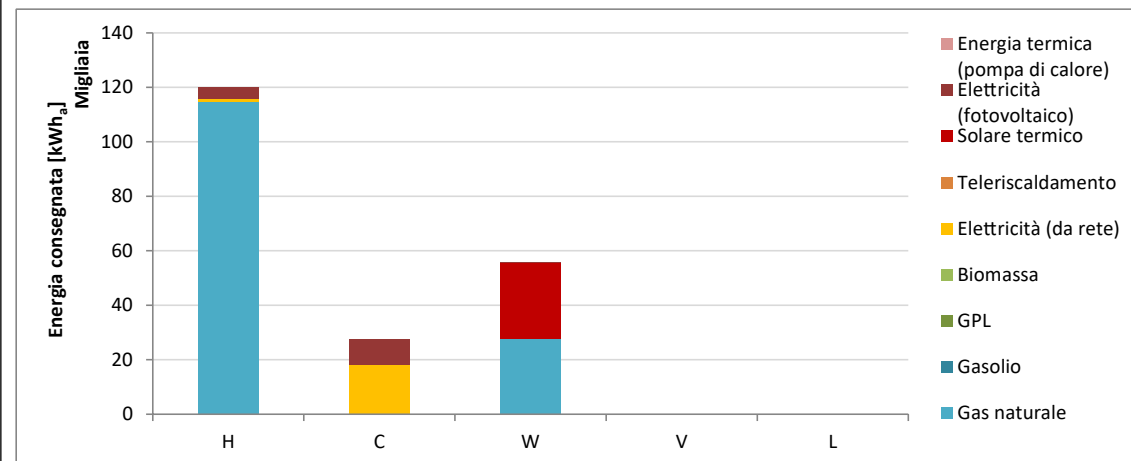
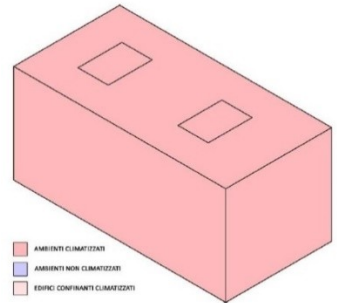


Tabella 6.157 Edificio ad uso uffici, nuovo – zona climatica E (Milano).

EDIFICIO AD USO UFFICIO – NUOVO – zona E (UFF_NO_E)							
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Ottimale mensile		Ottimale orario	
				Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p	0,36	2	0,36	2
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p				
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_r	0,30	2	0,30	2
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)] [equivalente, solaio su cantina (b=0,80)]	U_r	0,30	3	0,36	2
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_w	1,10	5	1,10	5
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	mobile	2	mobile	2
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}				
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$				
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore 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	3,50	2	3,50	2
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3,20		3,20	
12	Impianto solare termico	Superficie dei collettori solari [m ²]	A_{coll}	2,00	1	2,00	1
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata [kW]	P_p	13,20	3	13,20	3
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r	0,60	1	0,60	1
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	ZC	3	ZC	3
16	Riquilibrificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata [W.m ⁻²]	P_N	6,00	2	6,00	2
		Fattore del profilo di occupazione	F_O	0,80		0,80	
		Fattore di illuminamento costante	F_C	0,90		0,90	
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D	0,90		0,90	

Dati tipologici		
		
Superficie netta, A_f	[m ²]	1519
Volume lordo, V_l	[m ³]	6100
Fattore di forma, A_{env}/V_l	[m ⁻¹]	0,35
Sup. disperd. trasp., A_w/A_{env}	[-]	0,20
n. piani climatizzati		4
n. unità immobiliari		-

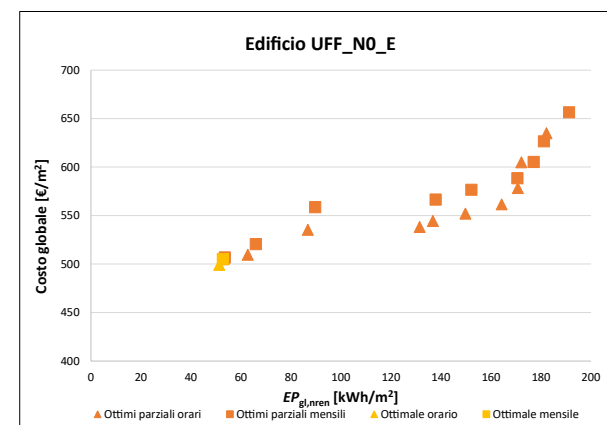


Tabella 6.158 Edificio ad uso uffici, nuovo – zona climatica E (Milano).

OTTIMIZZAZIONE MENSILE – Soluzione *cost-optimal*

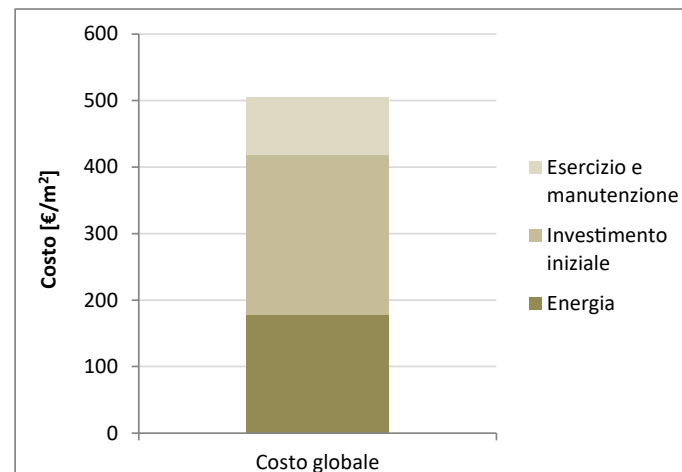
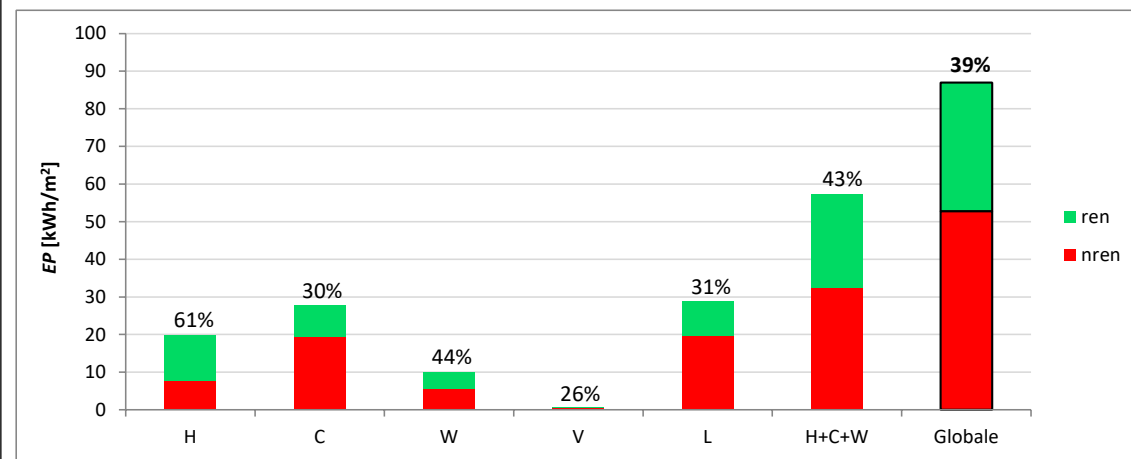
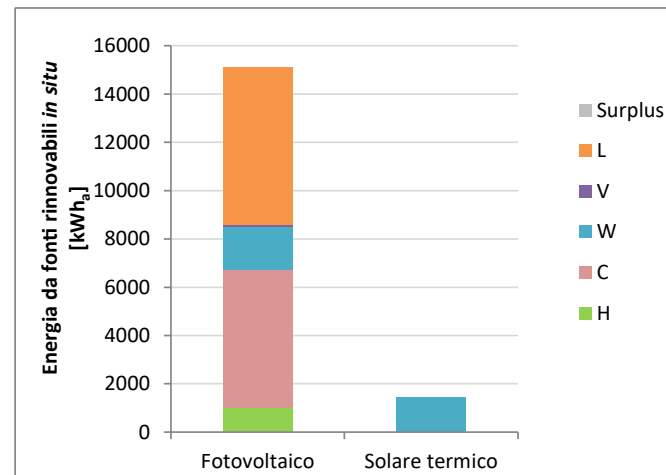
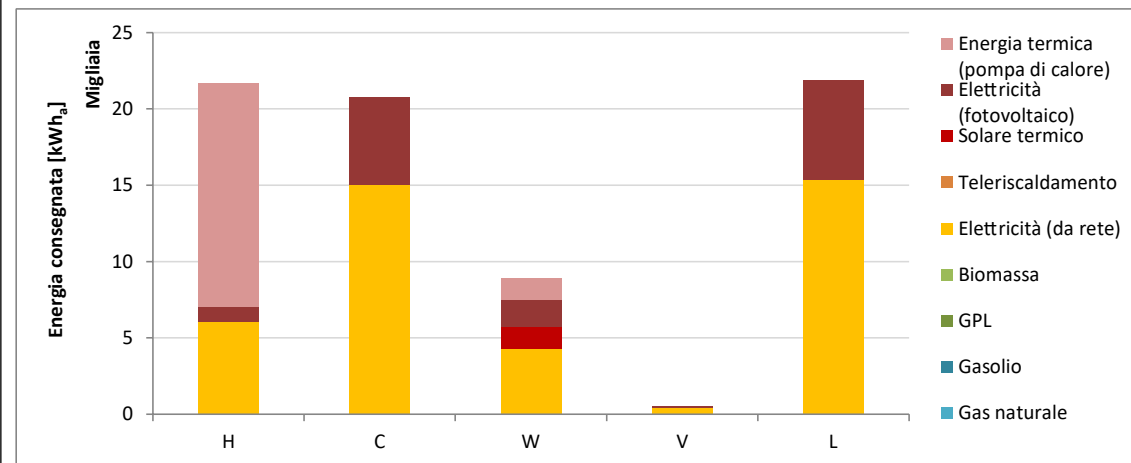


Tabella 6.159 Edificio ad uso uffici, nuovo – zona climatica E (Milano).

OTTIMIZZAZIONE ORARIA – Soluzione *cost-optimal*

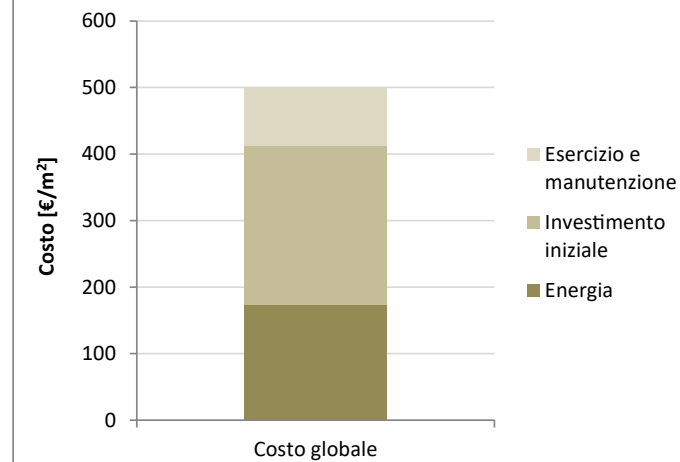
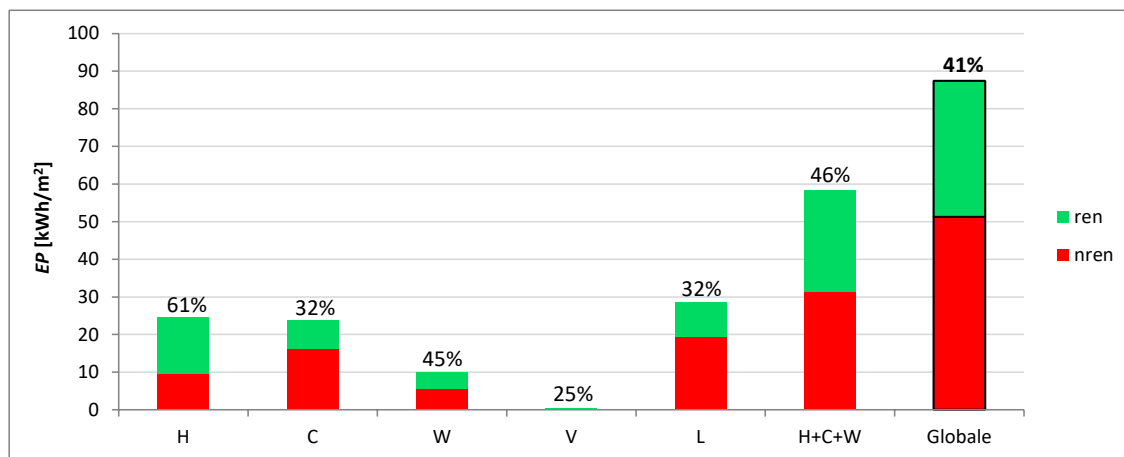
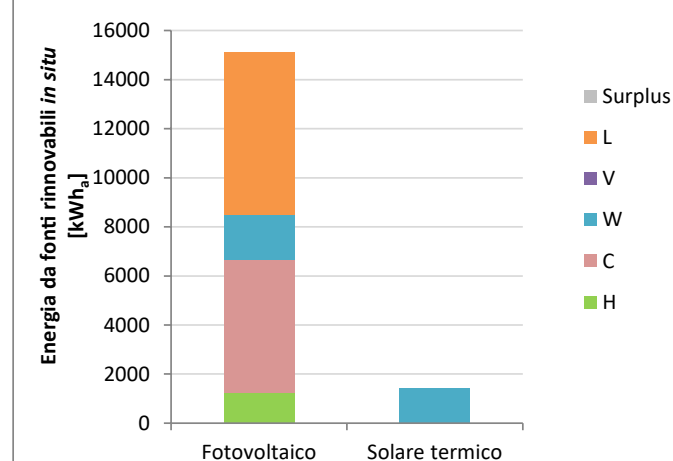
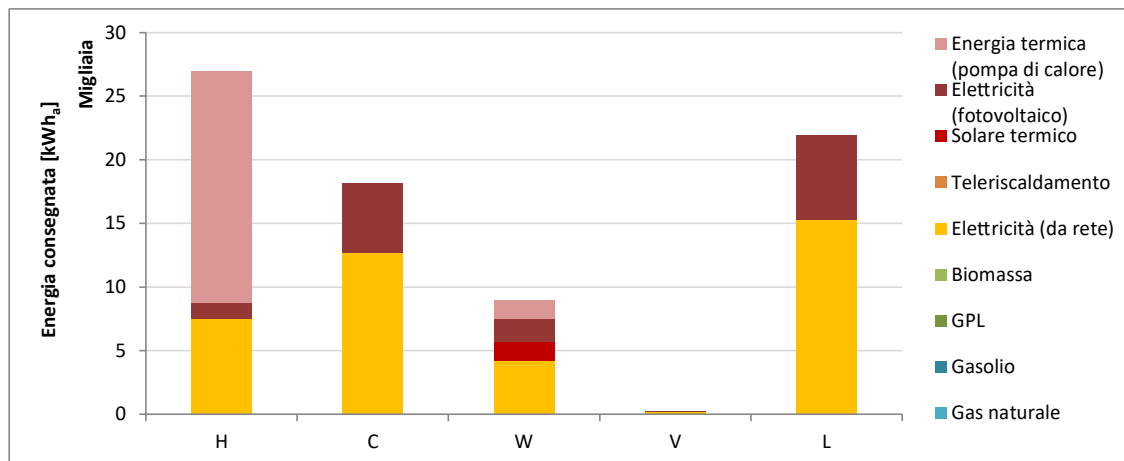
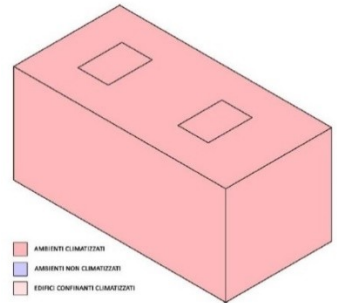


Tabella 6.160 Edificio ad uso uffici, nuovo – zona climatica B (Palermo).

EDIFICIO AD USO UFFICIO – NUOVO – zona B (UFF_NO_B)							
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Ottimale mensile		Ottimale orario	
				Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p	1,50	1	1,50	1
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p				
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_r	0,46	2	0,38	3
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)] [equivalente, solaio su cantina (b=0,80)]	U_r	0,56	2	1,50	1
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_w	5,00	1	5,00	1
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	mobile	2	mobile	2
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}				
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$				
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore 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	3,50	2	3,50	2
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3,20		3,20	
12	Impianto solare termico	Superficie dei collettori solari [m ²]	A_{coll}	2,00	1	2,00	1
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata [kW]	P_p	13,20	3	13,20	3
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r	0,60	1	0,60	1
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	ZC	3	ZC	3
16	Riqualficazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata [W.m ⁻²]	P_N	6,00	2	6,00	2
		Fattore del profilo di occupazione	F_O	0,80		0,80	
		Fattore di illuminamento costante	F_C	0,90		0,90	
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D	0,90		0,90	

Dati tipologici		
		
Superficie netta, A_f	[m ²]	1519
Volume lordo, V_l	[m ³]	6100
Fattore di forma, A_{env}/V_l	[m ⁻¹]	0,35
Sup. disperd. trasp., A_w/A_{env}	[-]	0,20
n. piani climatizzati		4
n. unità immobiliari		-

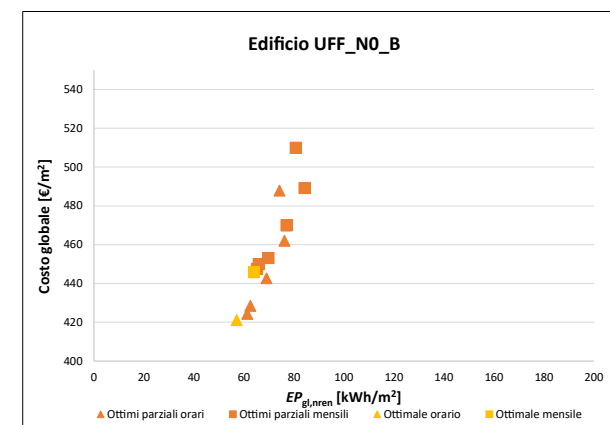


Tabella 6.161 Edificio ad uso uffici, nuovo – zona climatica B (Palermo).

OTTIMIZZAZIONE MENSILE – Soluzione *cost-optimal*

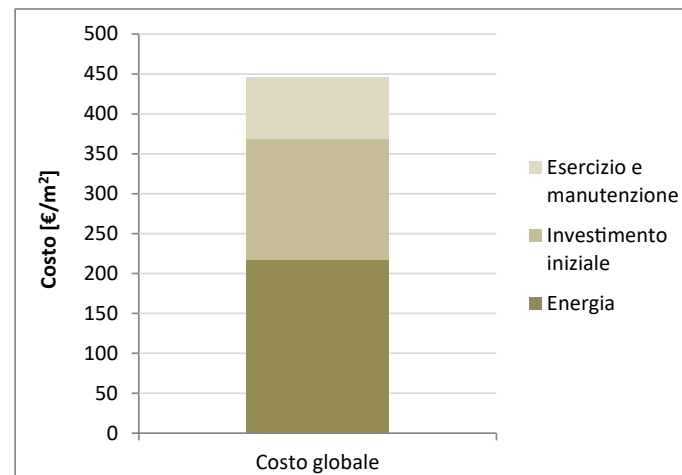
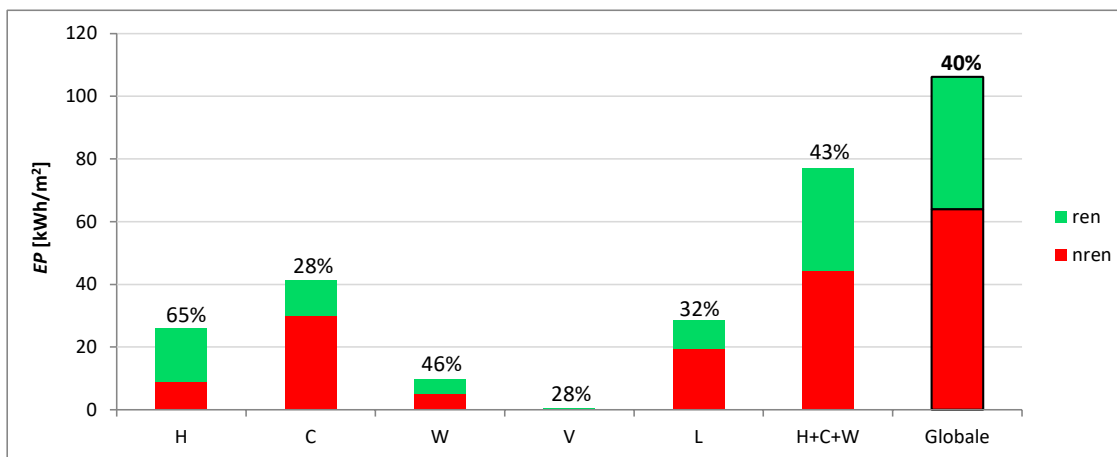
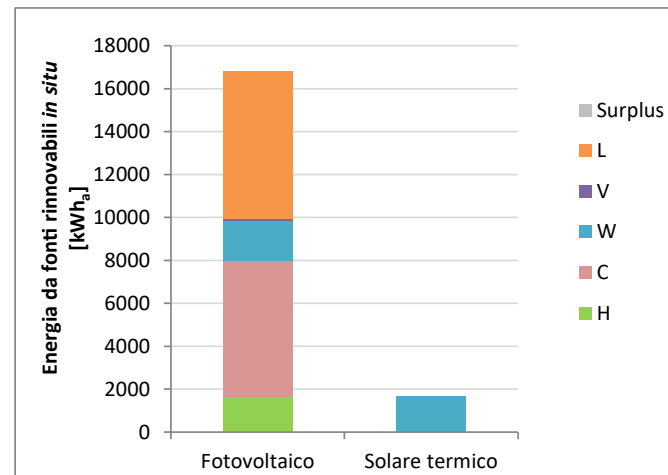
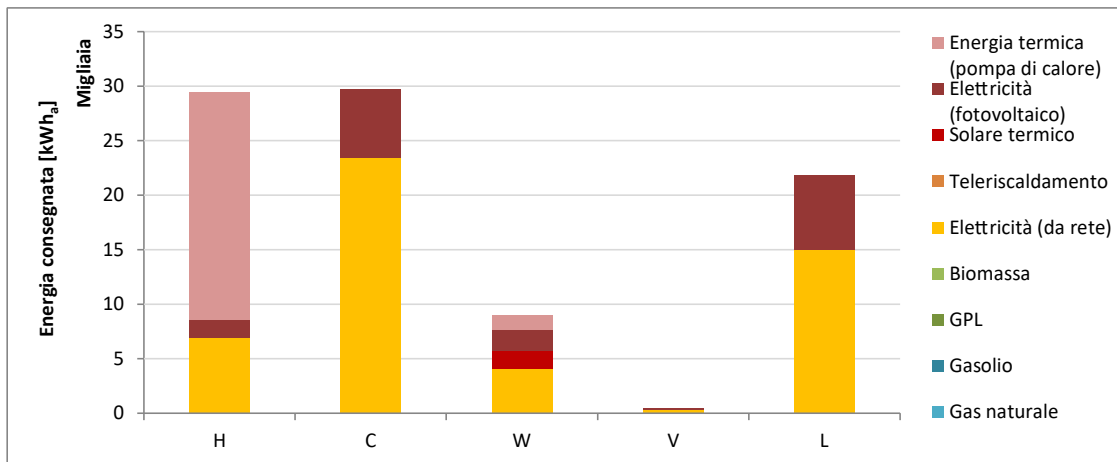


Tabella 6.162 Edificio ad uso uffici, nuovo – zona climatica B (Palermo).

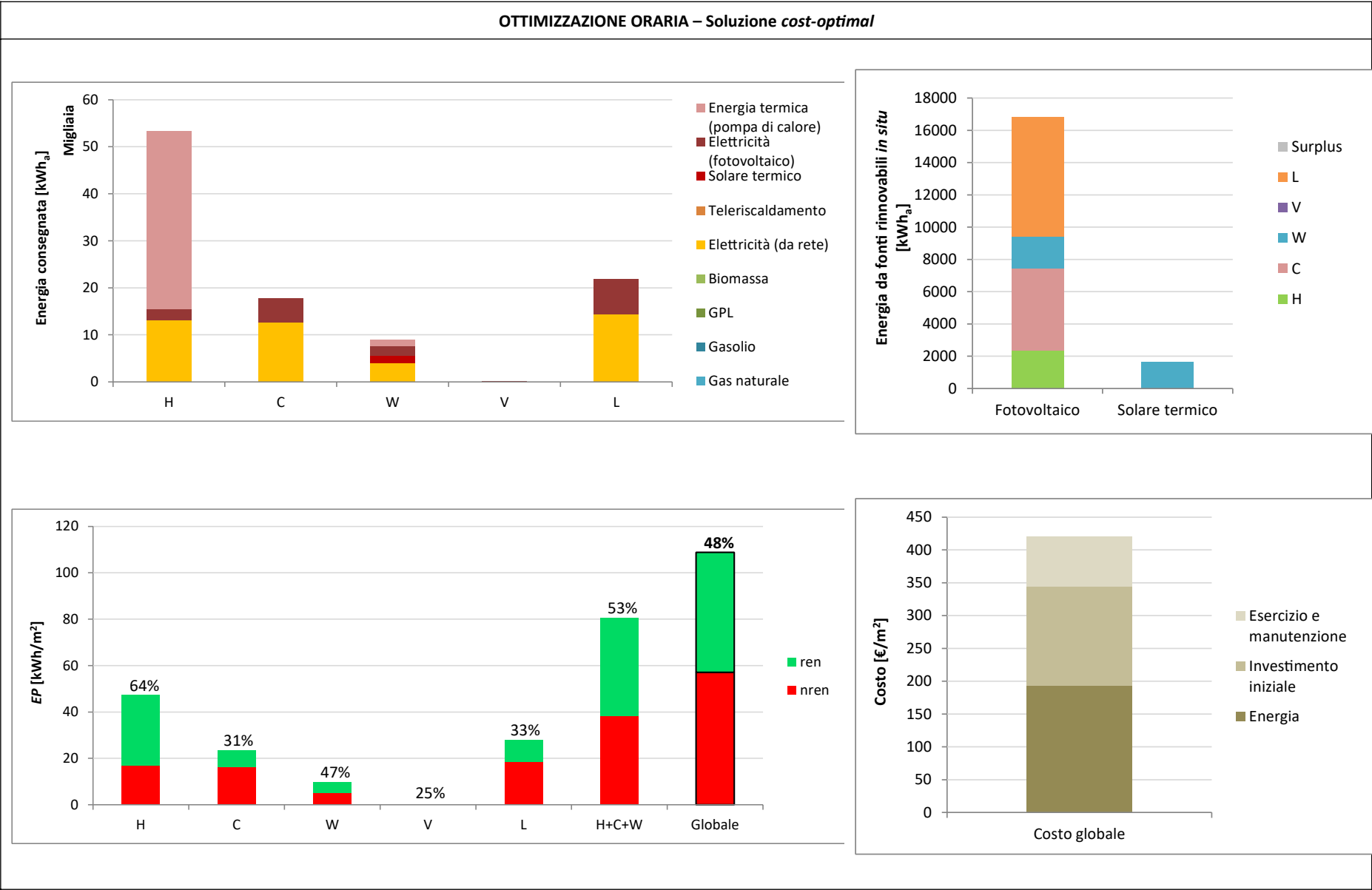
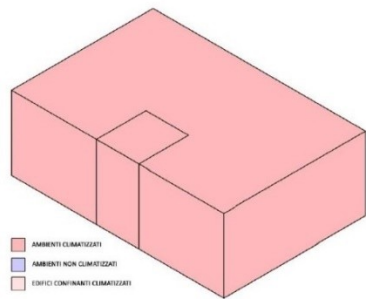


Tabella 6.163 Edificio esistente ad uso uffici, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica E (Milano).

EDIFICIO AD USO UFFICI – ESISTENTE 1946-76 – zona E (UFF_E1_E)								
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Ottimale mensile		Ottimale orario	
					Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p	-	-	-	-	-
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p	1,53	0,15	2	0,15	2
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_r	1,20	0,32	2	0,32	2
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)] [equivalente, solaio controterra (b=0,45)]	U_r	0,39	0,39	1	0,39	1
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_w	2,60	2,60	1	2,60	1
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	assenti	mobile	3	mobile	3
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3,50	3,50	1	3,50	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	0,87	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,pn,w}$	0,75	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	-	1,03	2	1,03	2
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-	-	-	-
12	Impianto solare termico	Superficie dei collettori solari [m ²]	A_{coll}	assente	assente	1	assente	1
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata [kW]	P_p	assente	5,76	4	5,76	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r	assente	assente	1	0,60	2
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	C	ZC	4	ZC	4
16	Riquilibratura dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata [W.m ⁻²]	P_N	20,00	6,00	3	6,00	3
		Fattore del profilo di occupazione	F_O	1,00	0,80		0,80	
		Fattore di illuminamento costante	F_C	1,00	0,90		0,90	
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D	1,00	0,90		0,90	

Dati tipologici		
		
Superficie netta, A_f	[m ²]	363
Volume lordo, V_l	[m ³]	1339
Fattore di forma, A_{env}/V_l	[m ⁻¹]	0,60
Sup. disperd. trasp., A_w/A_{env}	[-]	0,12
n. piani climatizzati		2
n. unità immobiliari		-

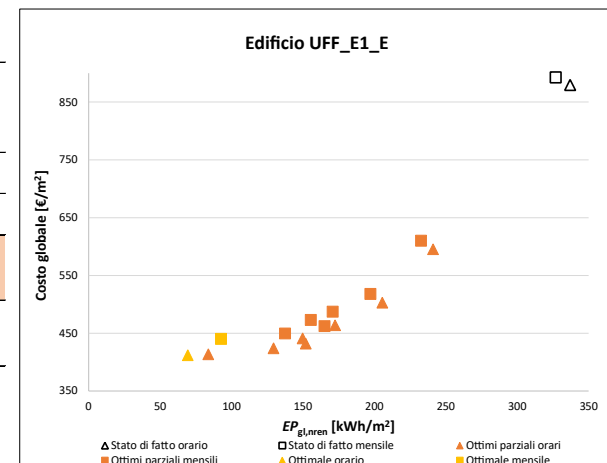


Tabella 6.164 Edificio esistente ad uso uffici, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica E (Milano).

OTTIMIZZAZIONE MENSILE – Soluzione *cost-optimal*

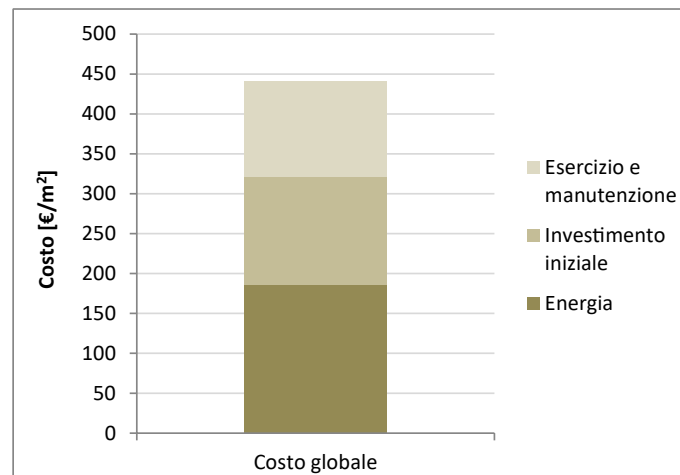
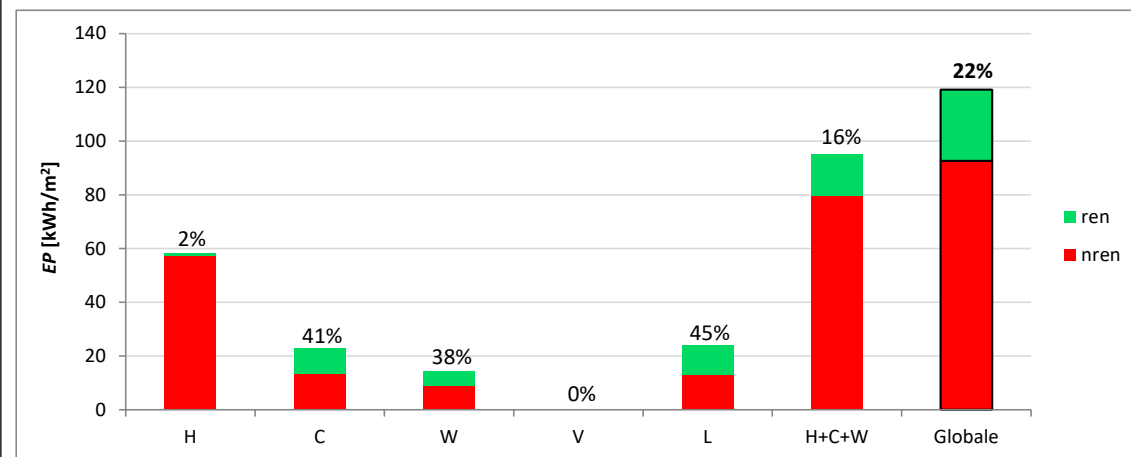
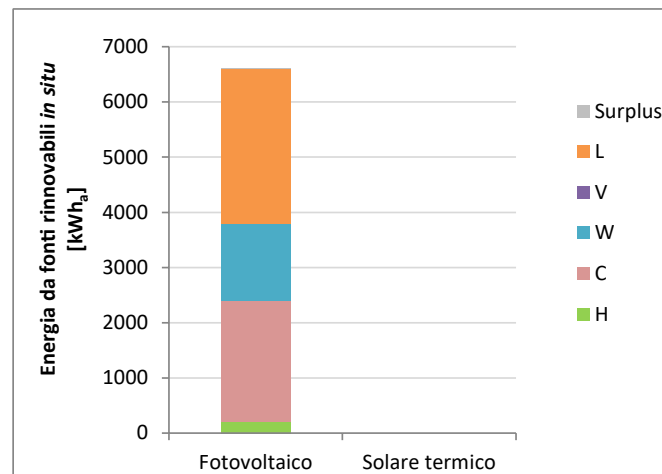
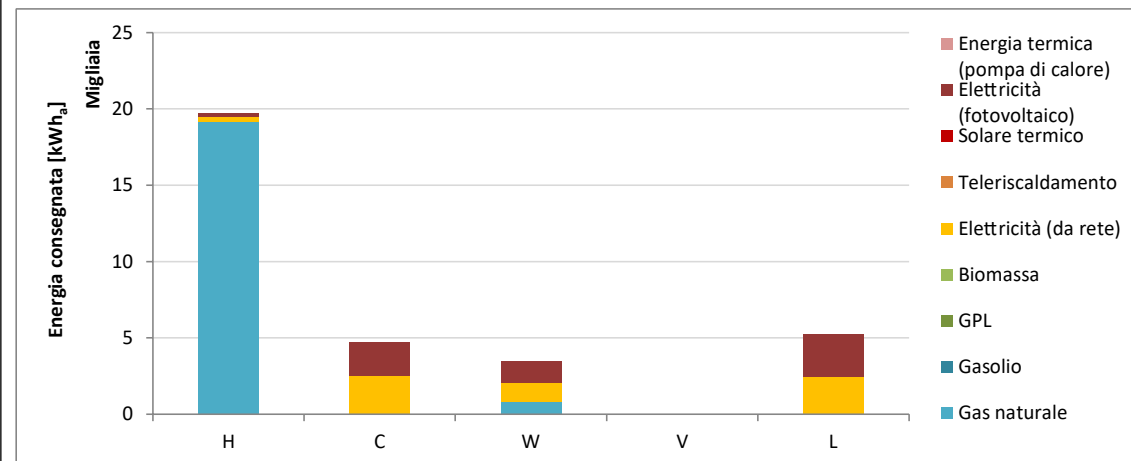


Tabella 6.165 Edificio esistente ad uso uffici, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica E (Milano).

OTTIMIZZAZIONE ORARIA – Soluzione *cost-optimal*

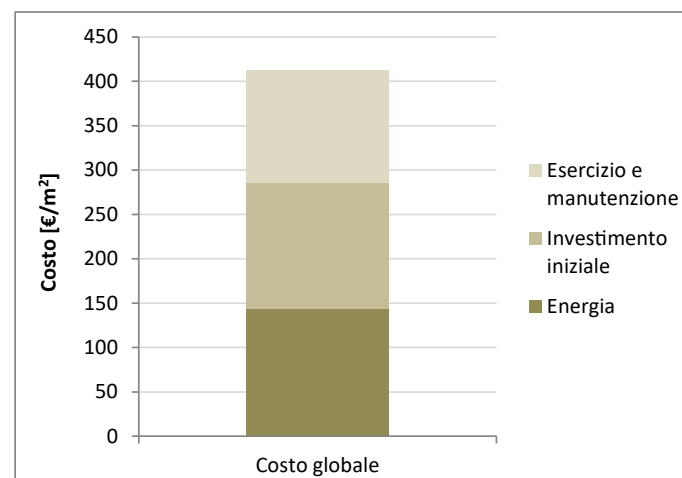
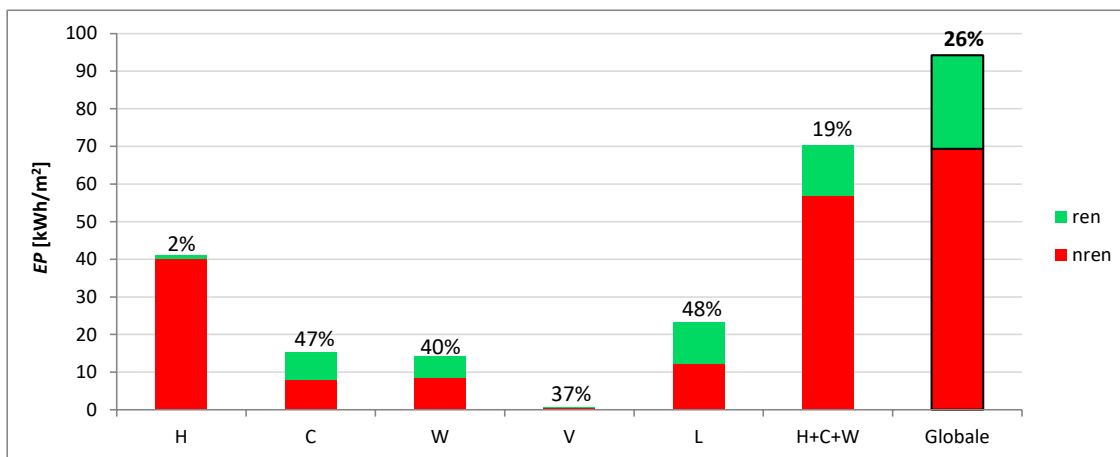
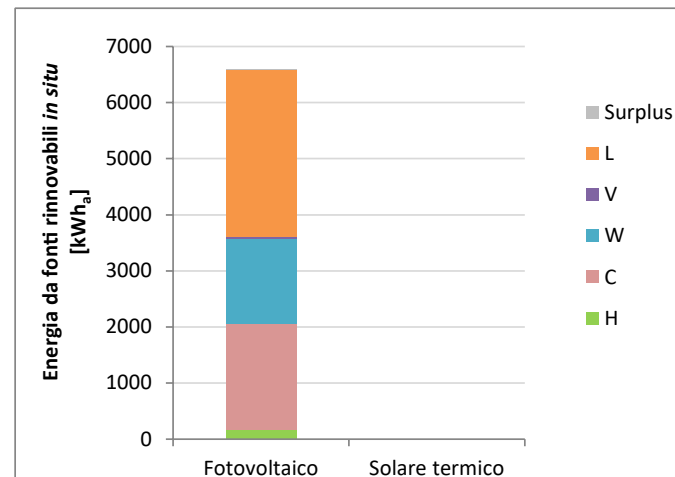
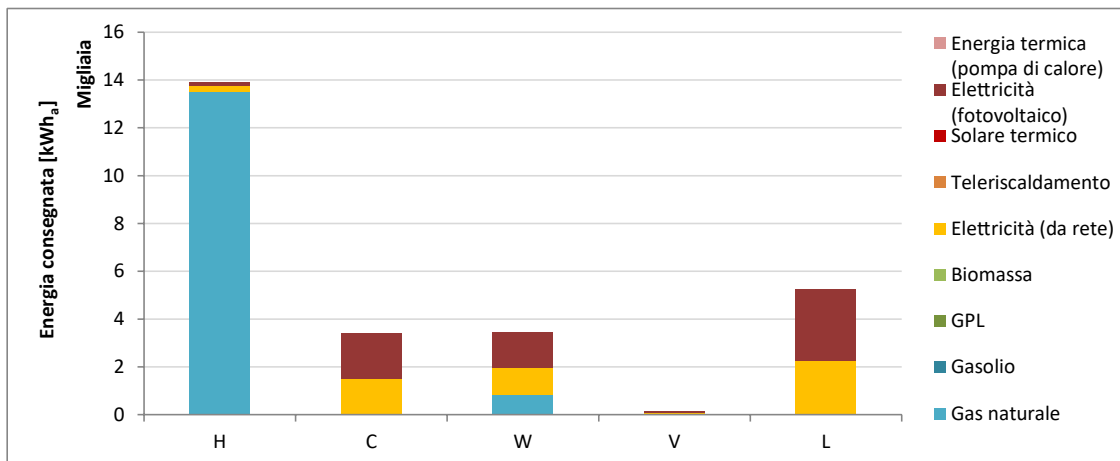
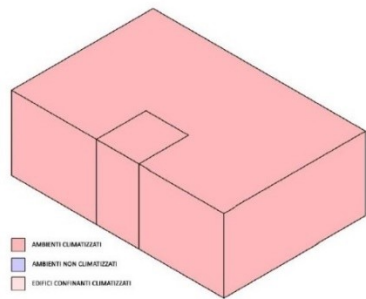


Tabella 6.166 Edificio esistente ad uso uffici, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica B (Palermo).

EDIFICIO AD USO UFFICI – ESISTENTE 1946-76 – zona B (UFF_E1_B)								
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Ottimale mensile		Ottimale orario	
					Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica $[W \cdot m^{-2} K^{-1}]$	U_p	-	-	-	-	-
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica $[W \cdot m^{-2} K^{-1}]$	U_p	1,53	1,53	1	1,53	1
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica $[W \cdot m^{-2} K^{-1}]$	U_r	1,20	1,20	1	1,20	1
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica $[W \cdot m^{-2} K^{-1}]$ [equivalente, solaio controterra (b=0,45)]	U_r	0,59	0,59	1	0,59	1
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica $[W \cdot m^{-2} K^{-1}]$	U_w	4,00	4,00	1	4,00	1
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	assenti	mobile	3	mobile	3
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3,50	3,50	1	3,50	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	0,87	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	0,75	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	-	1,03	2	1,03	2
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-		-	
12	Impianto solare termico	Superficie dei collettori solari $[m^2]$	A_{coll}	assente	assente	1	assente	1
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata $[kW]$	P_p	assente	5,76	4	5,76	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r	assente	assente	1	assente	1
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	C	ZC	4	ZC	4
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata $[W \cdot m^{-2}]$	P_N	20,00	6,00	3	6,00	3
		Fattore del profilo di occupazione	F_O	1,00	0,80		0,80	
		Fattore di illuminamento costante	F_C	1,00	0,90		0,90	
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D	1,00	0,90		0,90	

Dati tipologici		
		
Superficie netta, A_f	$[m^2]$	363
Volume lordo, V_l	$[m^3]$	1339
Fattore di forma, A_{env}/V_l	$[m^{-1}]$	0,60
Sup. disperd. trasp., A_w/A_{env}	$[-]$	0,12
n. piani climatizzati		2
n. unità immobiliari		-

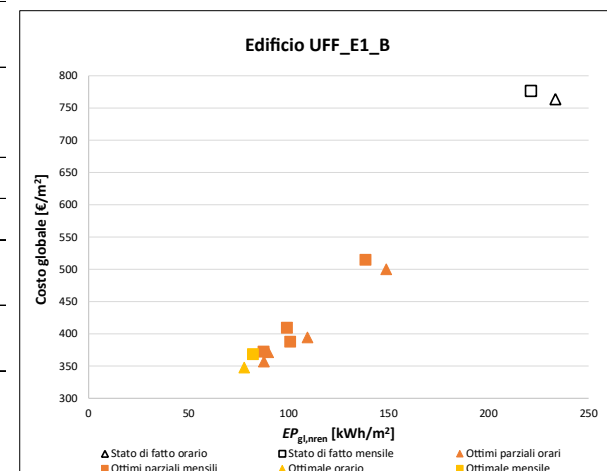


Tabella 6.167 Edificio esistente ad uso uffici, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica B (Palermo).

OTTIMIZZAZIONE MENSILE – Soluzione *cost-optimal*

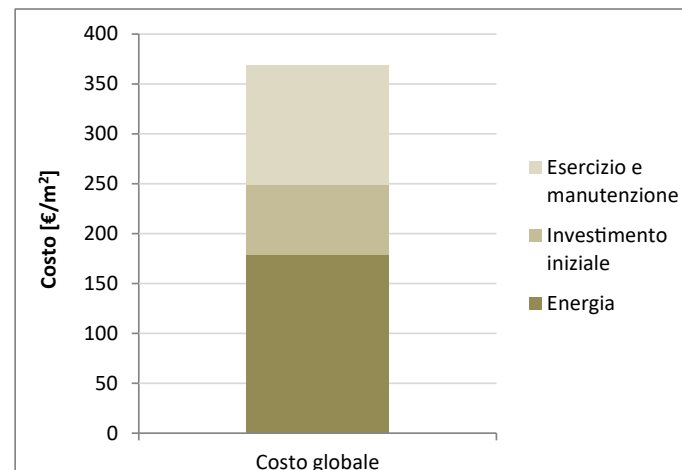
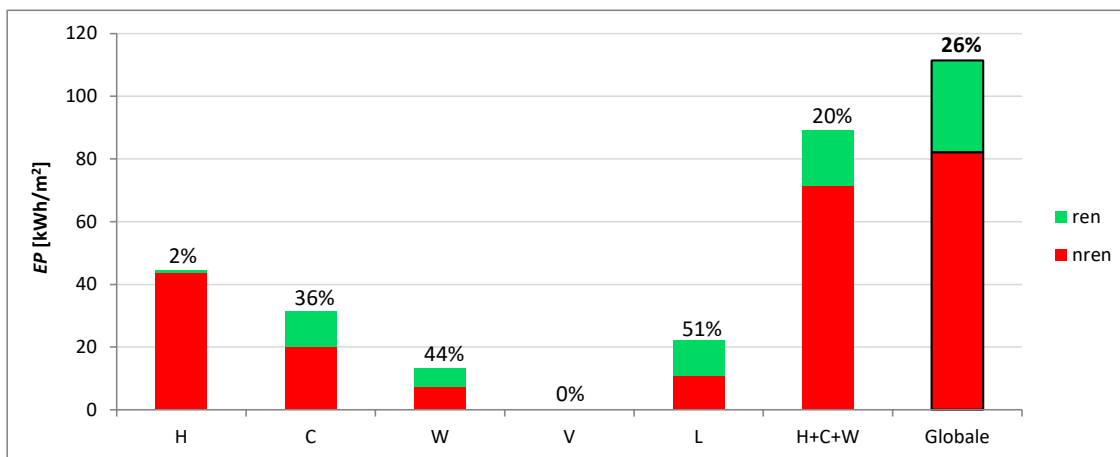
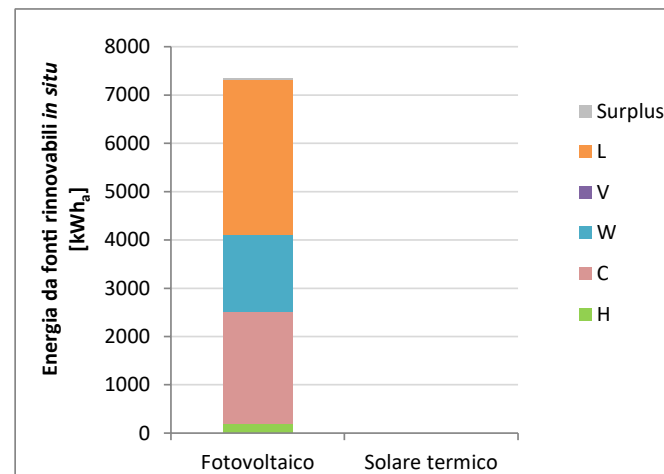
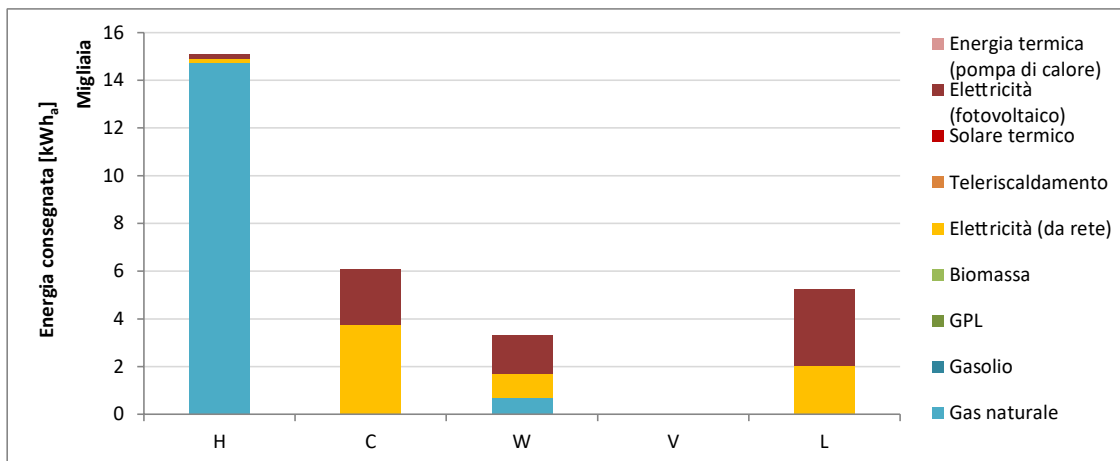


Tabella 6.168 Edificio esistente ad uso uffici, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica B (Palermo).

OTTIMIZZAZIONE ORARIA – Soluzione *cost-optimal*

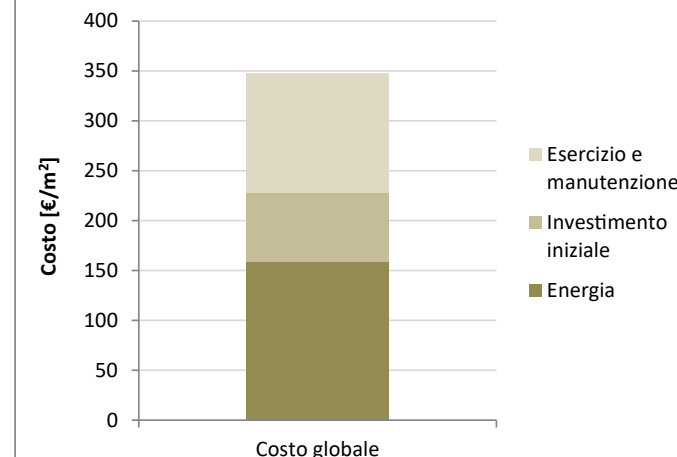
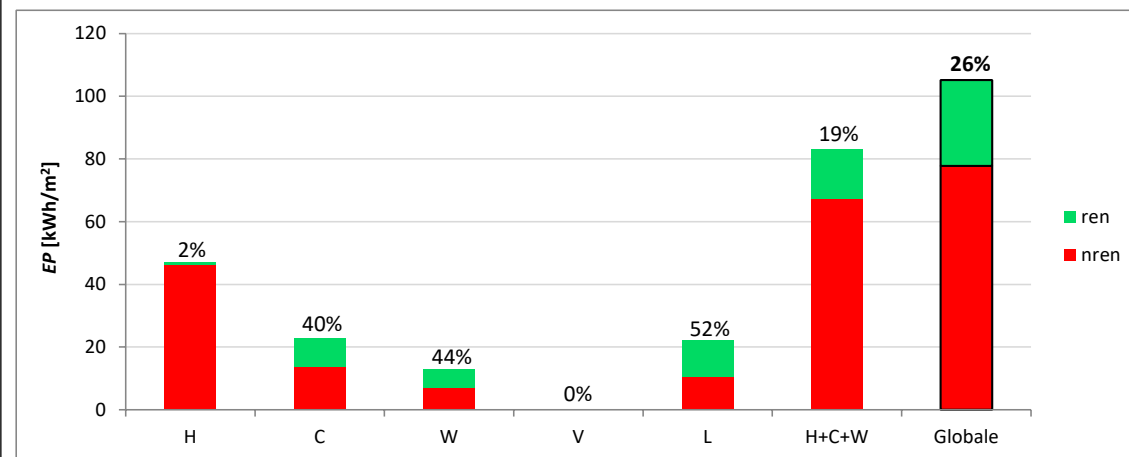
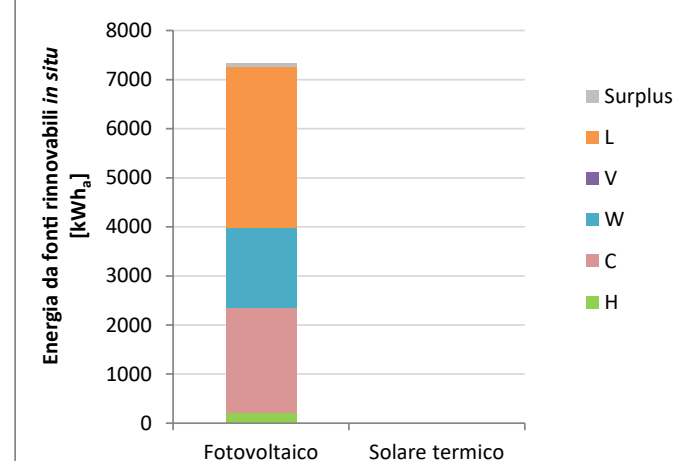
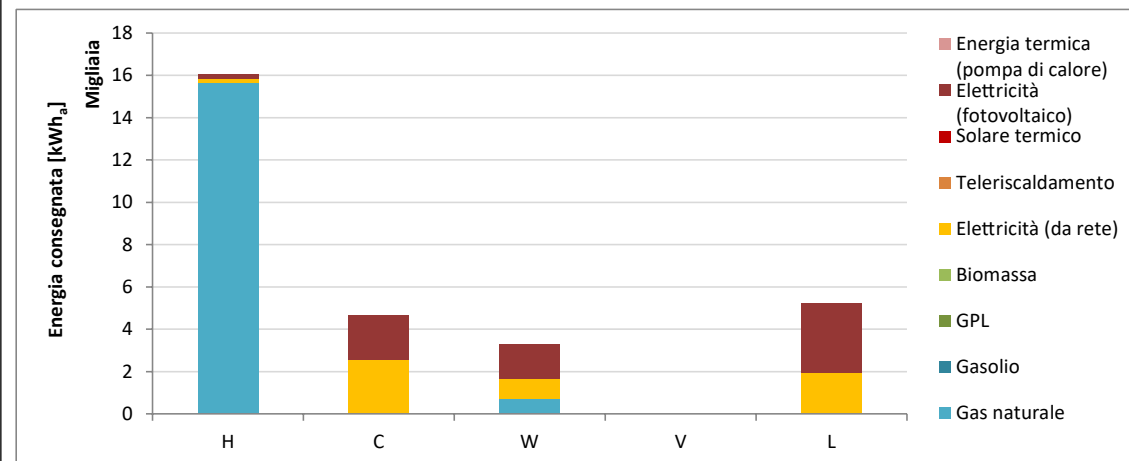
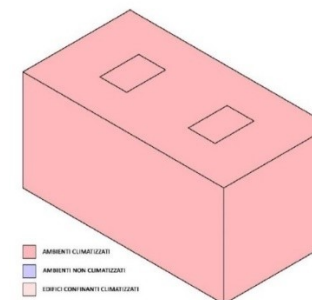


Tabella 6.169 Edificio esistente ad uso uffici, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica E (Milano).

EDIFICIO AD USO UFFICI – ESISTENTE 1977-90 – zona E (UFF_E2_E)								
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Ottimale mensile		Ottimale orario	
					Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p	-	-	-	-	-
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p	0,50	0,18	2	0,18	2
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_r	0,85	0,32	2	0,32	2
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)] [equivalente, solaio controterra (b=0,45)]	U_r	0,39	0,39	1	0,39	1
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_w	3,20	3,20	1	3,20	1
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	assenti	mobile	3	mobile	3
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3,50	3,50	1	3,50	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	0,88	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	0,75	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	-	0,93	1	1,03	2
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-	-	-	-
12	Impianto solare termico	Superficie dei collettori solari [m ²]	A_{coll}	assente	assente	1	assente	1
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata [kW]	P_p	assente	13,20	4	13,20	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r	assente	0,60	2	0,60	2
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	C	ZC	4	ZC	4
16	Riquilibrificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata [W.m ⁻²]	P_N	20,00	6,00	3	6,00	3
		Fattore del profilo di occupazione	F_O	1,00	0,80		0,80	
		Fattore di illuminamento costante	F_C	1,00	0,90		0,90	
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D	1,00	0,90		0,90	

Dati tipologici



Superficie netta, A_f	[m ²]	2007
Volume lordo, V_l	[m ³]	7200
Fattore di forma, A_{env}/V_l	[m ⁻¹]	0,32
Sup. disperd. trasp., A_w/A_{env}	[-]	0,21
n. piani climatizzati		5
n. unità immobiliari		-

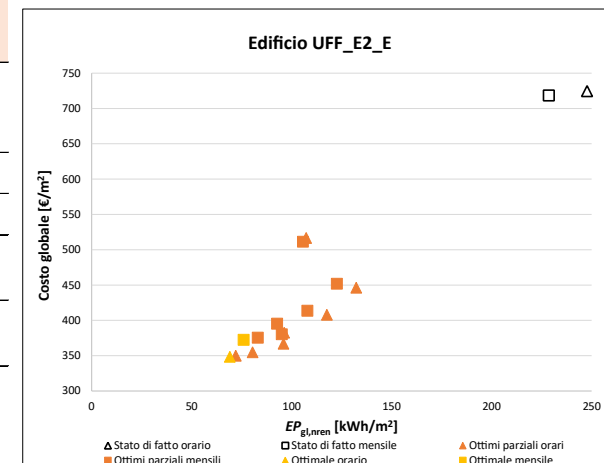


Tabella 6.170 Edificio esistente ad uso uffici, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica E (Milano).

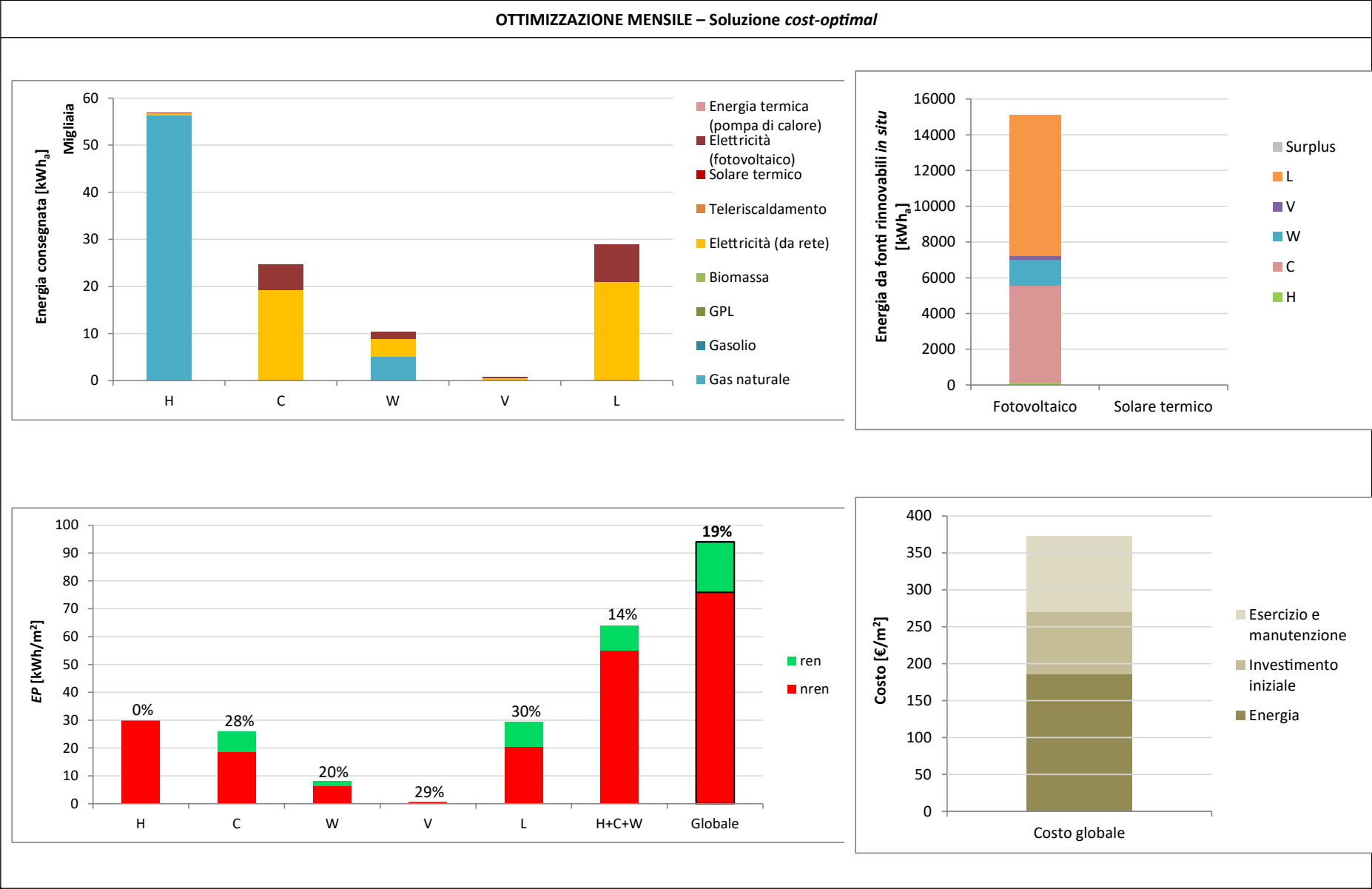


Tabella 6.171 Edificio esistente ad uso uffici, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica E (Milano).

OTTIMIZZAZIONE ORARIA – Soluzione *cost-optimal*

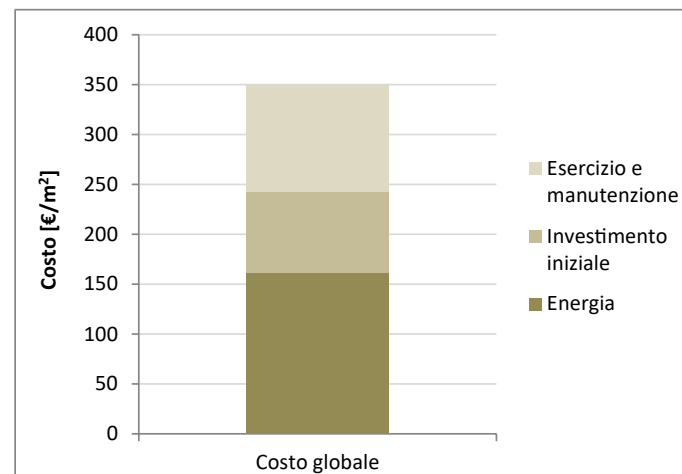
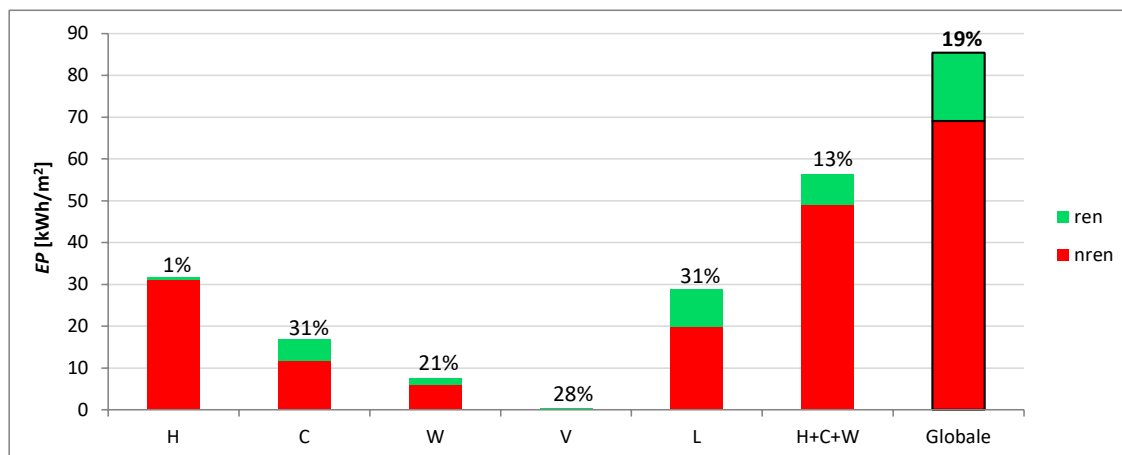
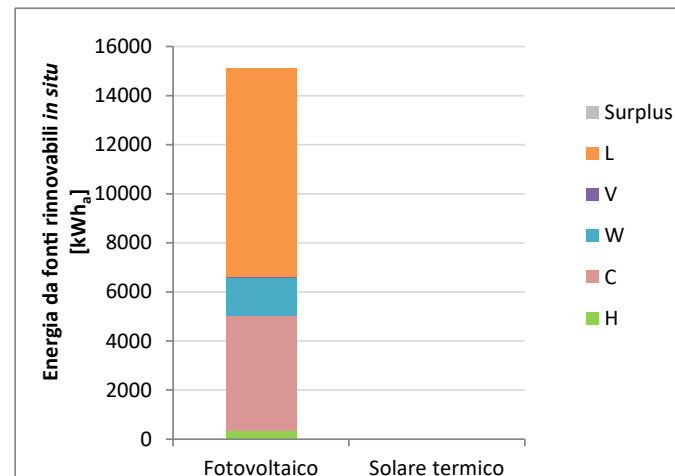
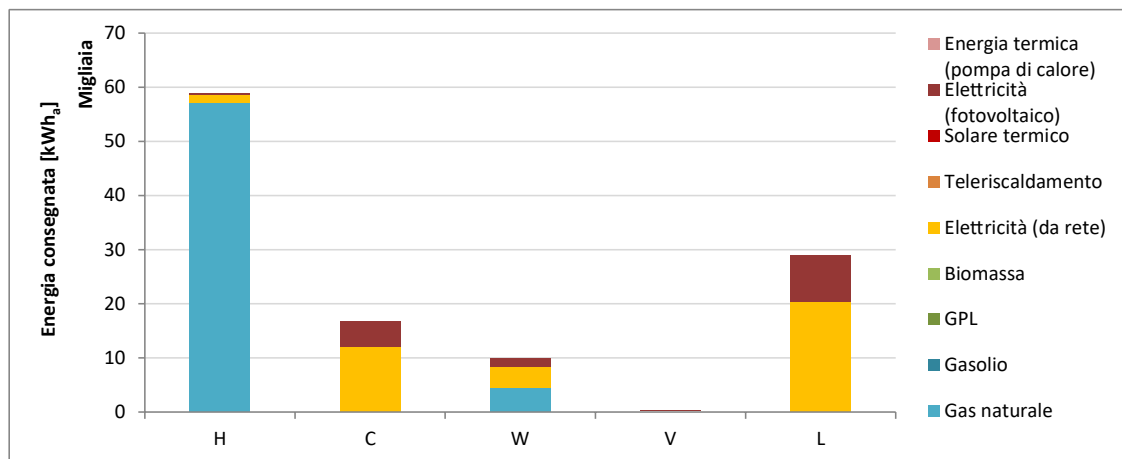
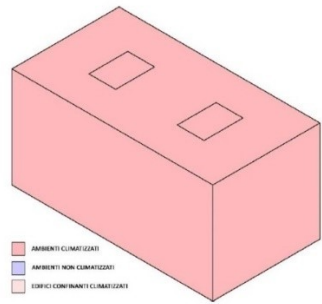


Tabella 6.172 Edificio esistente ad uso uffici, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica B (Palermo).

EDIFICIO AD USO UFFICI – ESISTENTE 1977-90 – zona B (UFF_E2_B)								
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Ottimale mensile		Ottimale orario	
					Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p	-	-	-	-	-
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p	0,50	0,50	1	0,50	1
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_r	0,85	0,85	1	0,85	1
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)] [equivalente, solaio controterra (b=0,45)]	U_r	0,59	0,59	1	0,59	1
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_w	4,90	4,90	1	4,90	1
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	assenti	mobile	3	mobile	3
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3,00	3,00	1	3,00	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	0,88	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	0,75	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	-	1,03	2	1,03	2
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-		-	
12	Impianto solare termico	Superficie dei collettori solari [m ²]	A_{coll}	assente	assente	1	assente	1
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata [kW]	P_p	assente	13,20	4	13,20	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r	assente	assente	1	0,60	2
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	C	ZC	4	ZC	4
16	Riquilibratura dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata [W.m ⁻²]	P_N	20,00	6,00	3	6,00	3
		Fattore del profilo di occupazione	F_O	1,00	0,80		0,80	
		Fattore di illuminamento costante	F_C	1,00	0,90		0,90	
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D	1,00	0,90		0,90	

Dati tipologici		
		
Superficie netta, A_f	[m ²]	2007
Volume lordo, V_l	[m ³]	7200
Fattore di forma, A_{env}/V_l	[m ⁻¹]	0,32
Sup. disperd. trasp., A_w/A_{env}	[-]	0,19
n. piani climatizzati		5
n. unità immobiliari		-

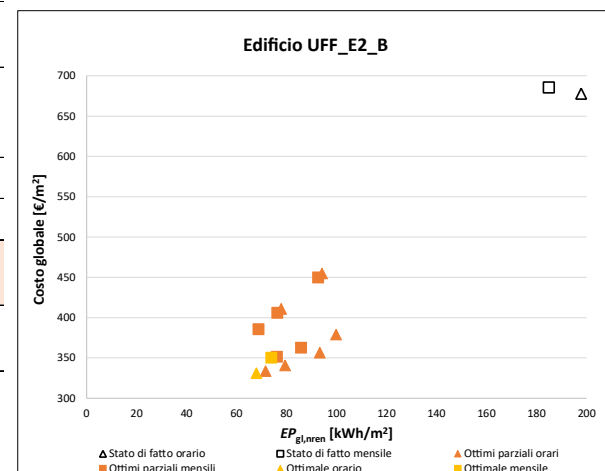


Tabella 6.173 Edificio esistente ad uso uffici, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica B (Palermo).

OTTIMIZZAZIONE MENSILE – Soluzione *cost-optimal*

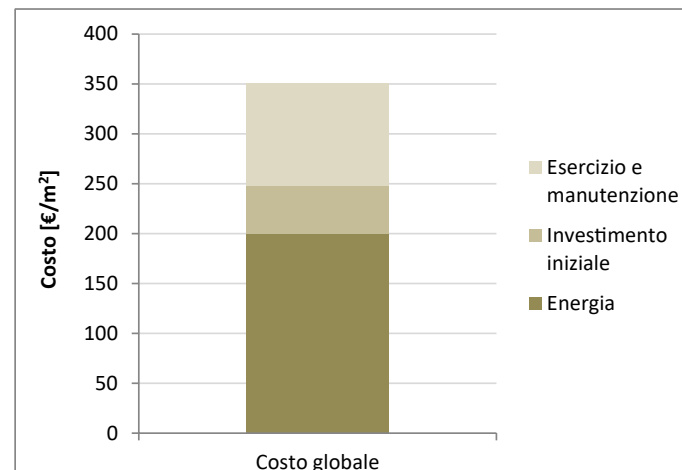
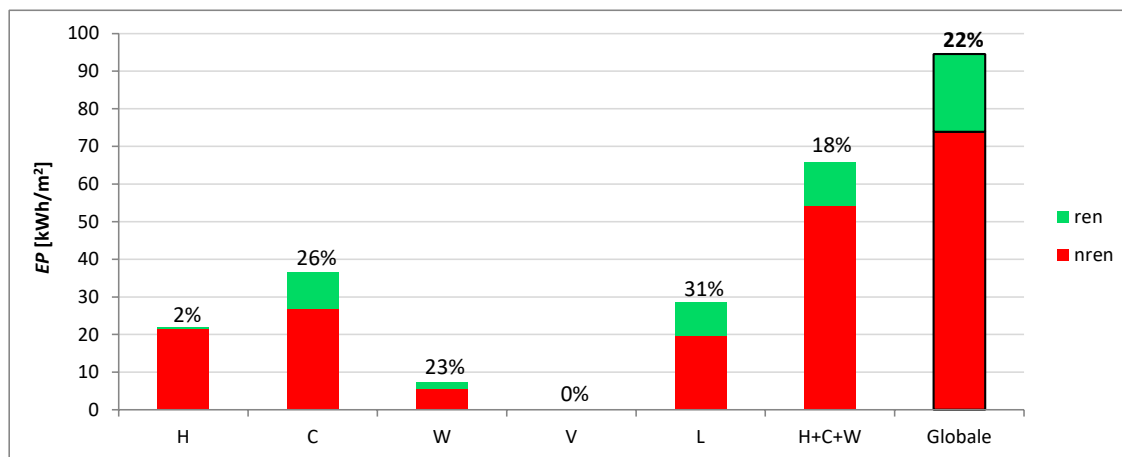
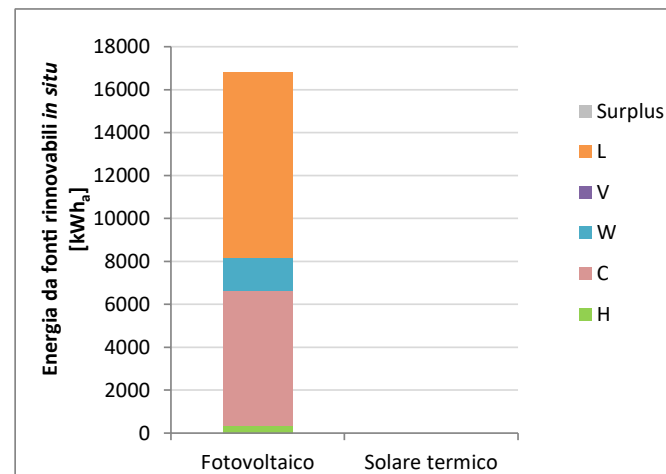
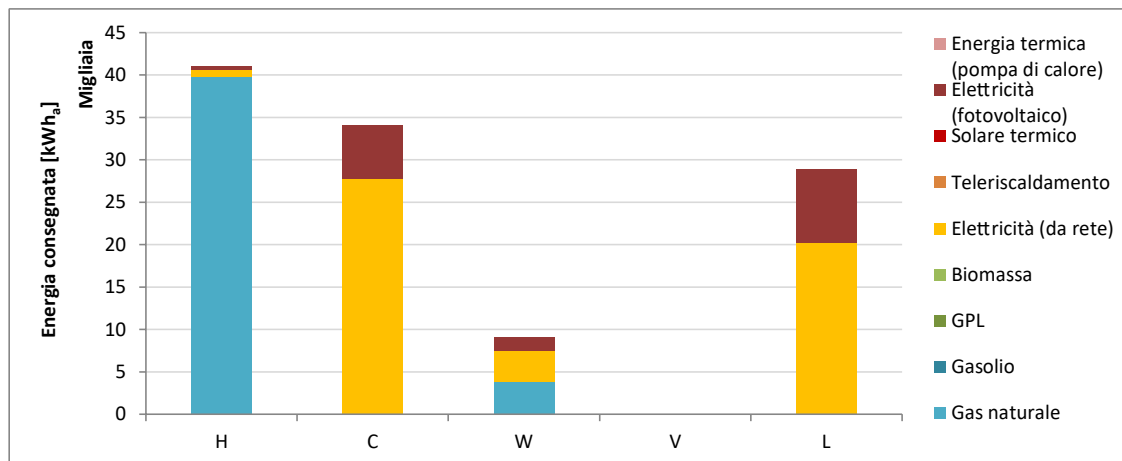


Tabella 6.174 Edificio esistente ad uso uffici, epoca di costruzione 1977-90 – zona climatica B (Palermo).

OTTIMIZZAZIONE ORARIA – Soluzione *cost-optimal*

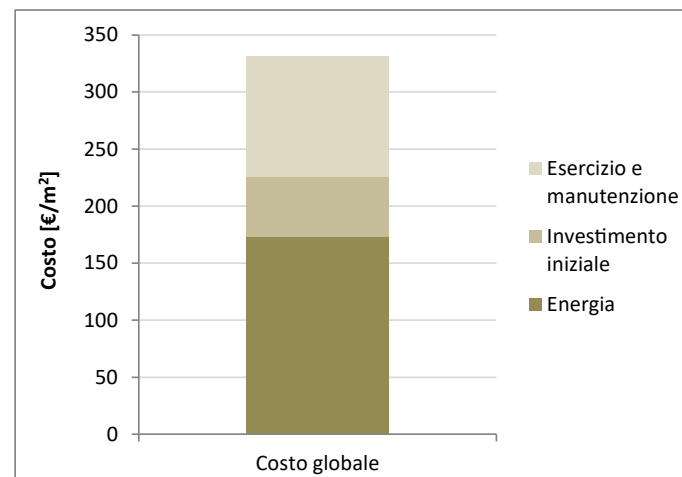
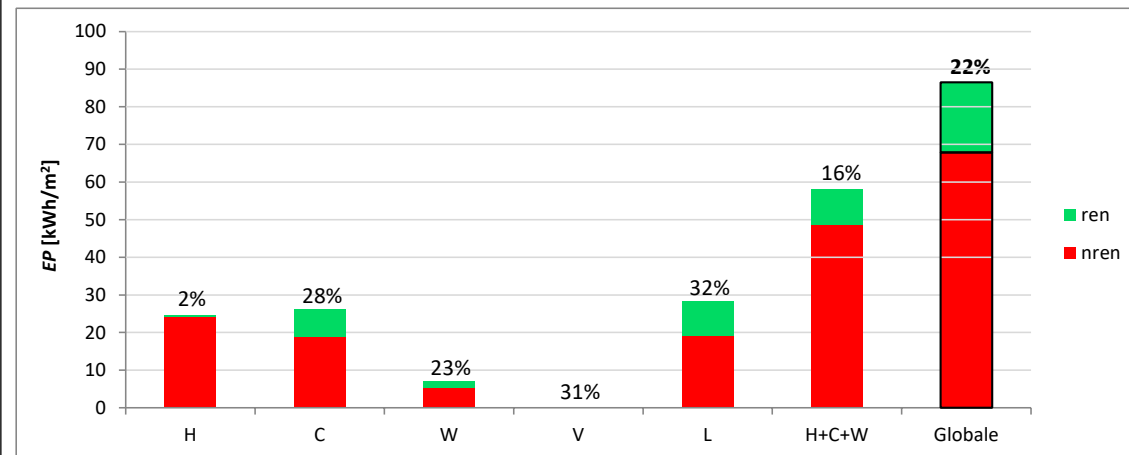
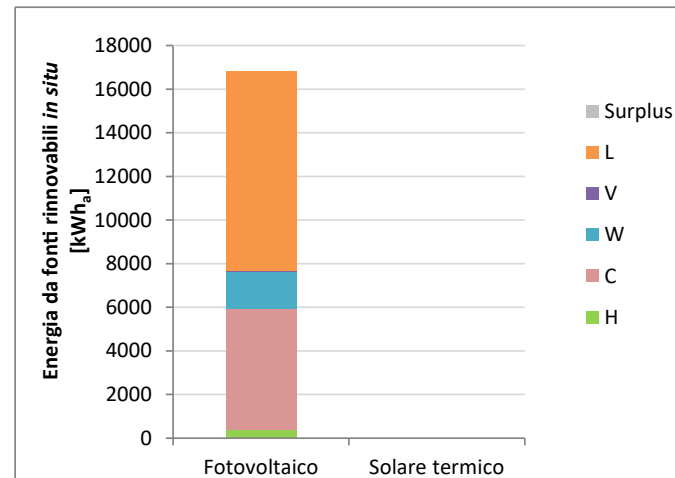
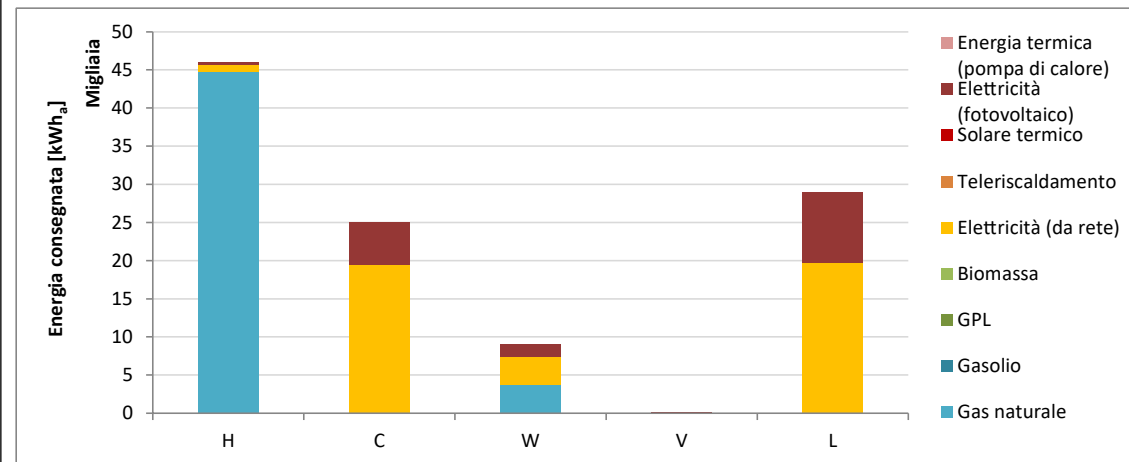


Tabella 6.175 Edificio esistente ad uso scolastico, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica E (Milano).

EDIFICIO AD USO SCOLASTICO – ESISTENTE 1946-76 – zona E (SCU_E1_E)								
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Ottimale mensile		Ottimale orario	
					Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p	-	-	-	-	-
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p	1,41	0,12	2	0,12	2
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)] [equivalente, solaio verso sottotetto (b=0,70)]	U_r	1,49	0,20	5	0,20	5
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)] [equivalente, solaio su ambiente non climatizzato (b=0,80)]	U_r	0,68	0,31	3	0,29	4
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_w	4,25	4,25	1	4,25	1
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	assenti	assenti	1	assenti	1
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER					
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	0,77	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pa,W}$	0,75	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	-	0,93	1	0,93	1
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP					
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER					
12	Impianto solare termico	Superficie dei collettori solari [m ²]	A_{coll}	assente	assente	1	assente	1
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata [kW]	P_p	assente	79,20	4	79,20	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r	assente	0,90	4	0,90	4
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	C	ZC	4	ZC	4
16	Riqualficazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata [W.m ⁻²]	P_N	9,00	6,00	2	6,00	2
		Fattore del profilo di occupazione	F_O	1,00	1,00		1,00	
		Fattore di illuminamento costante	F_C	1,00	1,00		1,00	
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D	1,00	1,00		1,00	

Dati tipologici



Superficie netta, A_f	[m ²]	8935
Volume lordo, V_l	[m ³]	47223
Fattore di forma, A_{env}/V_l	[m ⁻¹]	0,24
Sup. disperd. trasp., A_w/A_{env}	[-]	0,12
n. piani climatizzati		4
n. unità immobiliari		-

Edificio SCU_E1_E

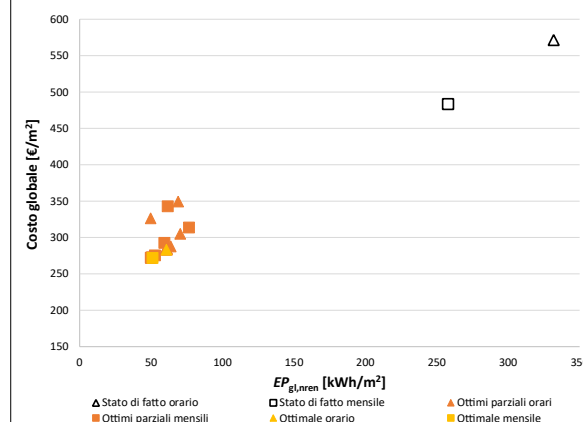


Tabella 6.176 Edificio esistente ad uso scolastico, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica E (Milano).

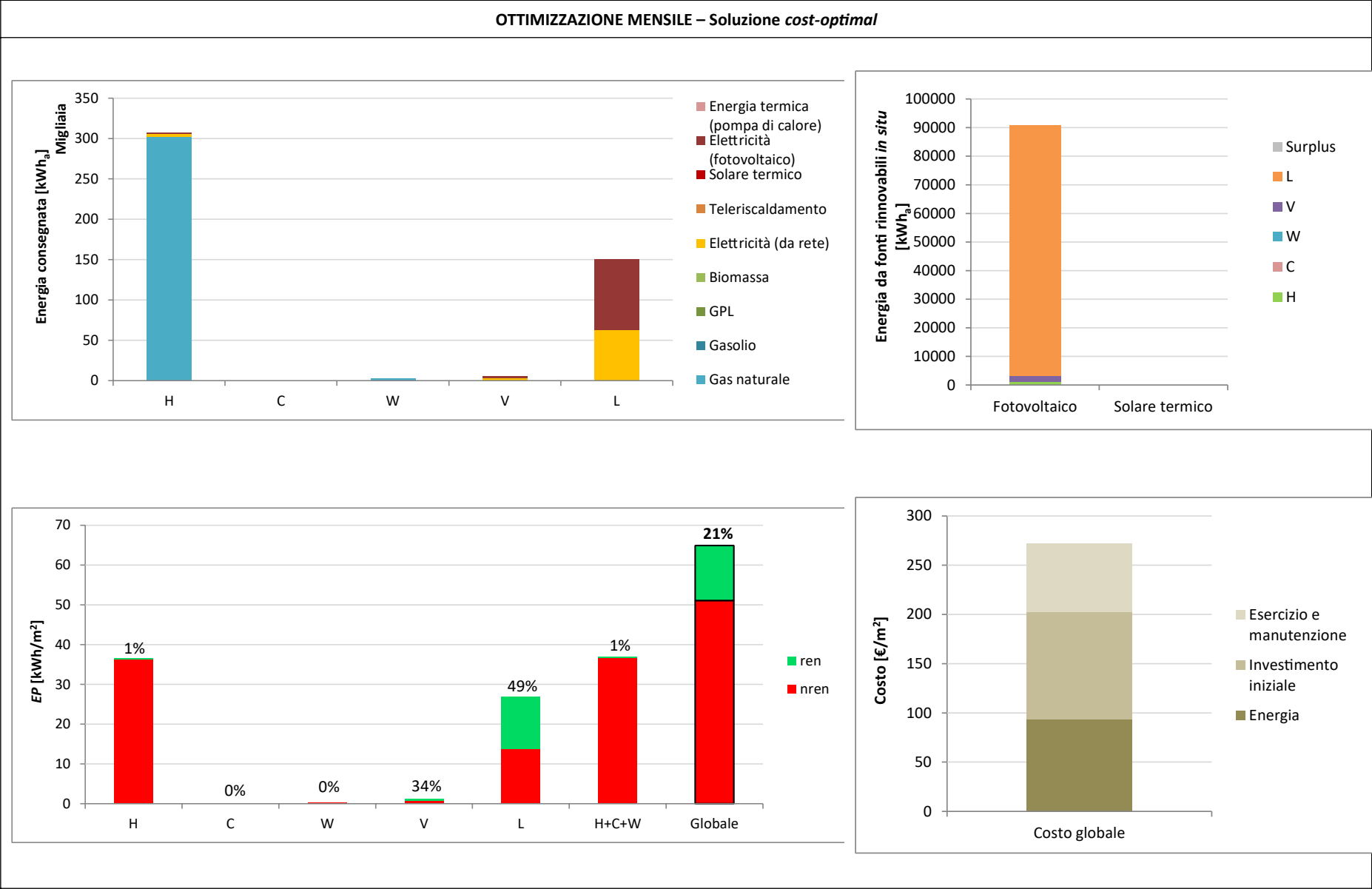


Tabella 6.177 Edificio esistente ad uso scolastico, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica E (Milano).

OTTIMIZZAZIONE ORARIA – Soluzione *cost-optimal*

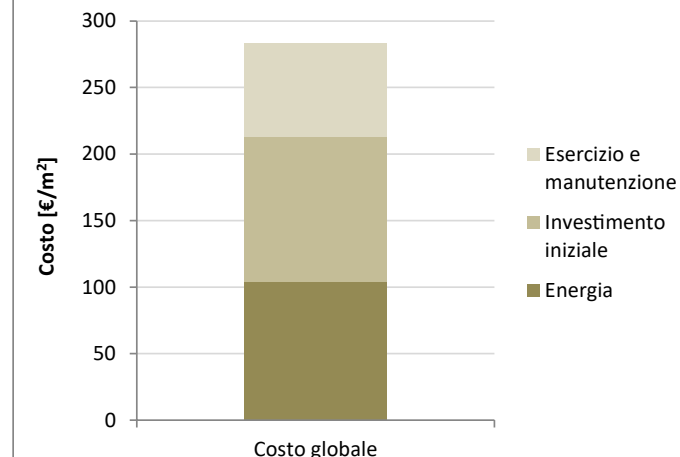
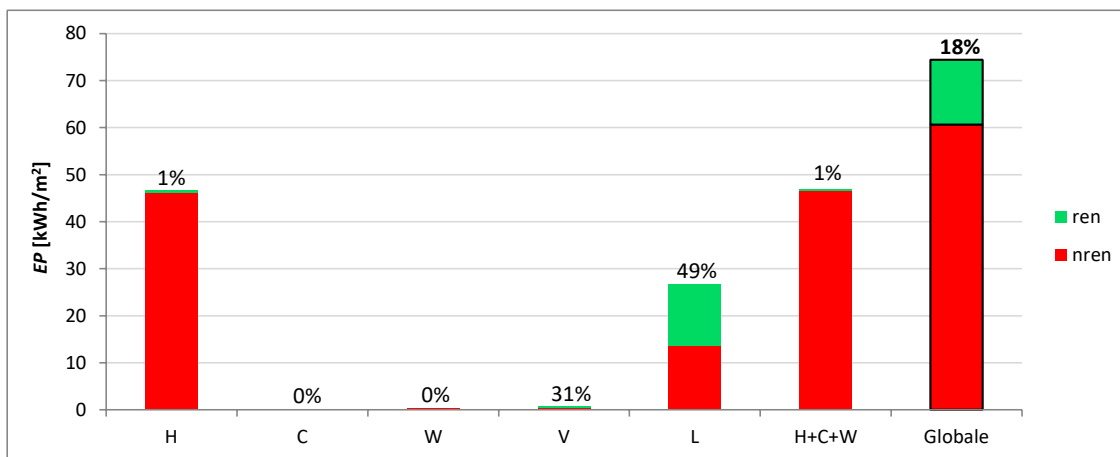
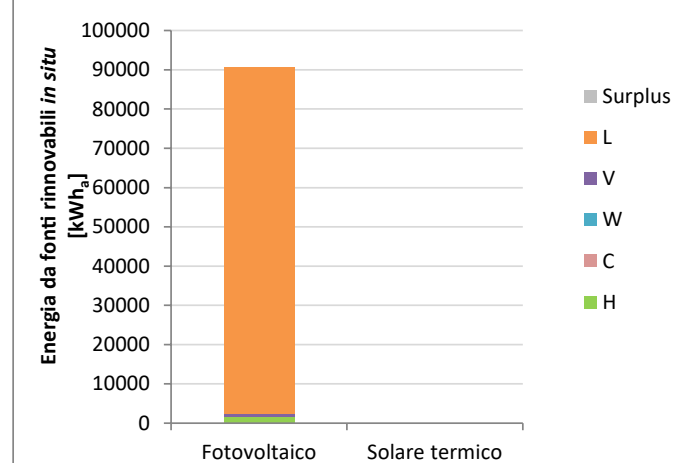
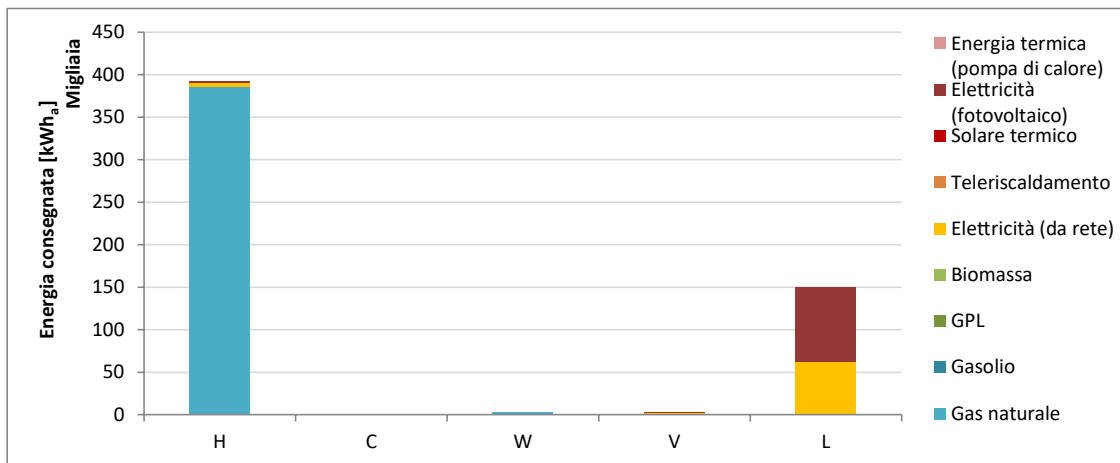


Tabella 6.178 Edificio esistente ad uso scolastico, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica B (Palermo).

EDIFICIO AD USO SCOLASTICO – ESISTENTE 1946-76 – zona B (SCU_E1_B)								
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Ottimale mensile		Ottimale orario	
					Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p	-	-	-	-	-
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_p	1,41	1,41	1	1,41	1
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)] [equivalente, solaio verso sottotetto (b=0,70)]	U_r	1,49	0,32	4	0,26	5
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)] [equivalente, solaio su ambiente non climatizzato (b=0,80)]	U_r	0,68	0,68	1	0,42	4
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica [W.(m ² K ⁻¹)]	U_w	4,25	4,25	1	4,25	1
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	assenti	assenti	1	assenti	1
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER					
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	0,77	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	0,75	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	-	1,00	2	1,00	2
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP					
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER					
12	Impianto solare termico	Superficie dei collettori solari [m ²]	A_{coll}	assente	assente	1	assente	1
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata [kW]	P_p	assente	79,20	4	79,20	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r	assente	assente	1	assente	1
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	C	ZC	4	ZC	4
16	Riqualficazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata [W.m ⁻²]	P_N	9,00	6,00	2	6,00	2
		Fattore del profilo di occupazione	F_O	1,00	1,00		1,00	
		Fattore di illuminamento costante	F_C	1,00	1,00		1,00	
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D	1,00	1,00		1,00	

Dati tipologici



Superficie netta, A_f	[m ²]	8935
Volume lordo, V_l	[m ³]	47223
Fattore di forma, A_{env}/V_l	[m ⁻¹]	0,24
Sup. disperd. trasp., A_w/A_{env}	[-]	0,12
n. piani climatizzati		4
n. unità immobiliari		-

Edificio SCU_E1_B

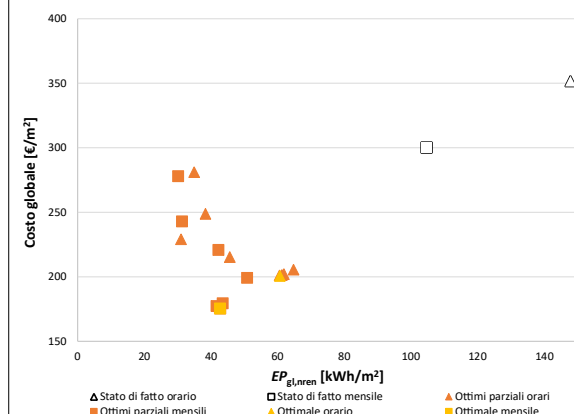


Tabella 6.179 Edificio esistente ad uso scolastico, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica B (Palermo).

OTTIMIZZAZIONE MENSILE – Soluzione *cost-optimal*

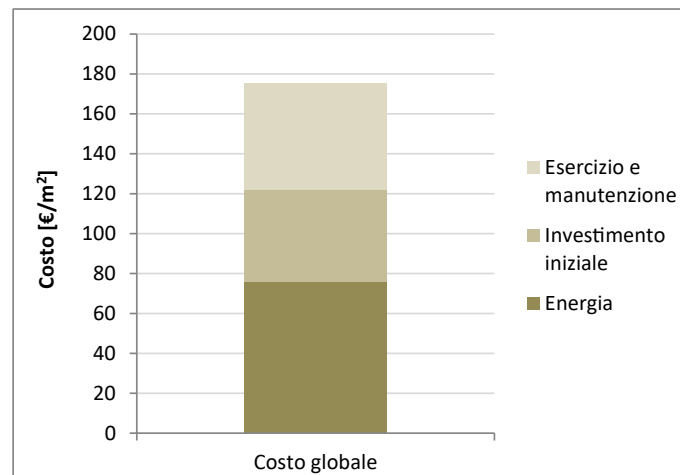
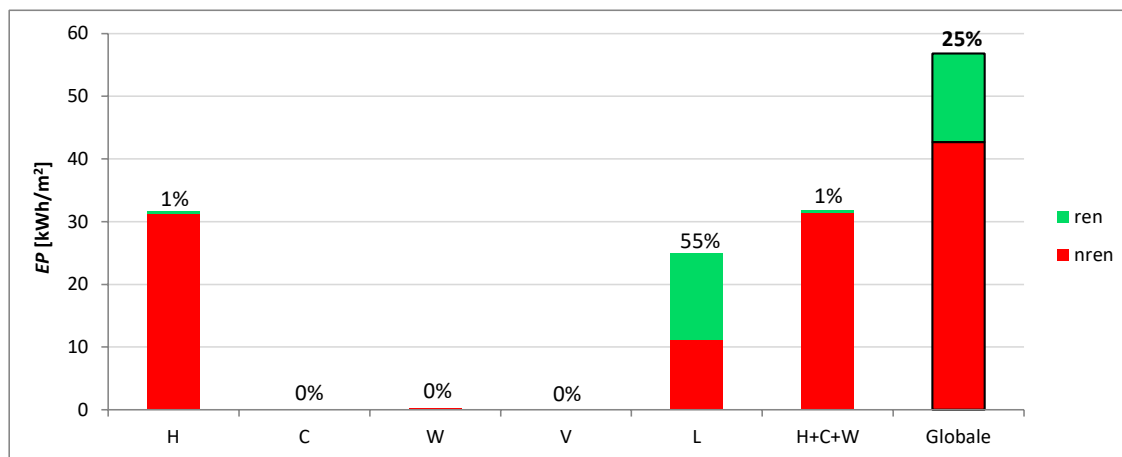
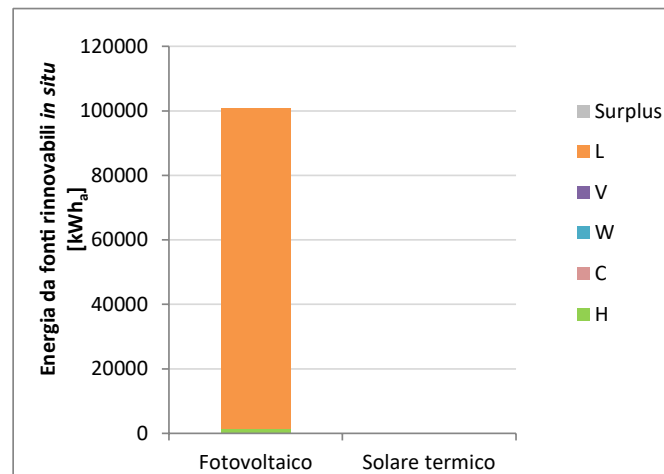
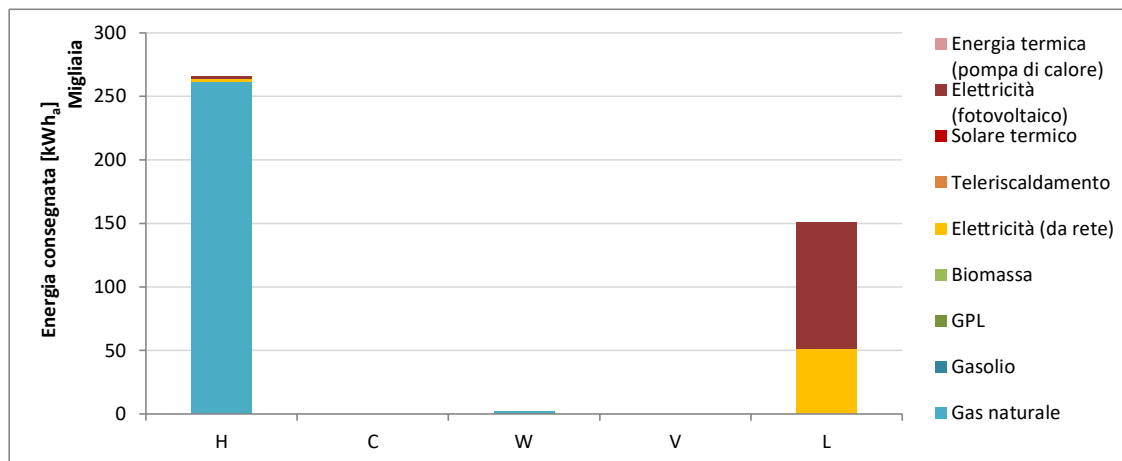


Tabella 6.180 Edificio esistente ad uso scolastico, epoca di costruzione 1946-76 – zona climatica B (Palermo).

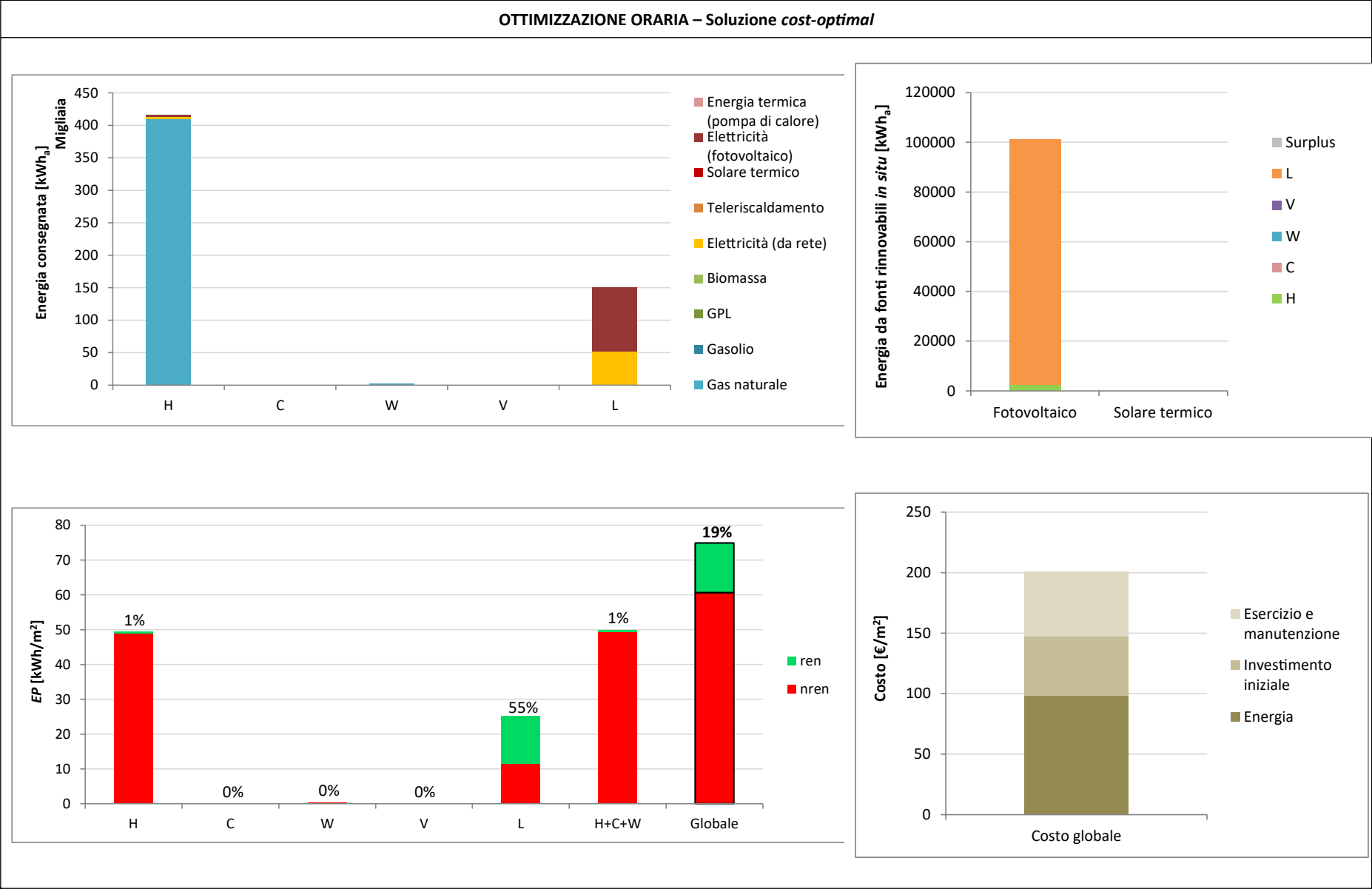


Tabella 6.181 Caratteristiche delle soluzioni *cost-optimal* mensili per gli edifici residenziali monofamiliari.

Tecnologia / intervento	Simbolo	Unità di misura	RESIDENZIALE MONOFAMILIARE					
			Nuovi		1946-1976		1977-1990	
			Milano	Palermo	Milano	Palermo	Milano	Palermo
			RMF_NO_E	RMF_NO_B	RMF_E1_E	RMF_E1_B	RMF_E2_E	RMF_E2_B
Pareti perimetrali - isolamento a cappotto	$U_{p,ext}$	W/(m²K)	0,30	1,50	0,30	1,18	-	-
Pareti perimetrali - insufflaggio	$U_{p,ins}$	W/(m²K)					0,27	1,10
Solaio superiore	$U_{r,equiv.}$	W/(m²K)	0,18	0,28	0,32	0,41	0,32	0,41
Solaio inferiore	$U_{i,equiv.}$	W/(m²K)	0,17	0,29	0,19	0,90	0,29	0,28
Finestre	U_w	W/(m²K)	3,80	3,20	2,30	3,20	2,80	4,90
Schermature solari	-	-	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	assenti	presenti (lamelle fisse)	assenti	presenti (lamelle fisse)
Tipo di impianto di riscaldamento	-	-	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori
Generazione termica	-	-	prod. separata pompa di calore H + caldaia a tre stelle W + multisplit	prod. separata pompa di calore H + caldaia a tre stelle W + multisplit	prod. combinata H+W caldaia condens. + multisplit	prod. combinata H+W caldaia condens. + multisplit	prod. combinata H+W caldaia condens. + multisplit	prod. combinata H+W caldaia condens. + multisplit
Tipo di regolazione del riscaldamento	-	-	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica
Solare termico	$(A_{coll}/A_{fp}) \cdot 10^3$	-	8	8	0	0	0	0
Solare fotovoltaico	P_{peak}/A_{fp}	W/m²	17	25	24	16	18	12
Recuperatore di calore	η_{rec}	-	0,70	0,70				
Tipologia di sorgenti luminose e controllo	-	-						
Indicatore di prestazione	Simbolo	Unità di misura						
Costo globale (30 anni)	GC	€/m²	560,0	455,4	491,0	291,9	321,3	254,1
Energia primaria globale totale	$EP_{gl,tot}$	kWh/m²	118,8	102,7	90,7	89,7	92,6	80,1
Energia primaria globale non rinnovabile	$EP_{gl,nren}$	kWh/m²	43,9	27,7	79,1	83,8	82,5	75,9
Copertura fabbisogno energetico H+C+W da fonti rinnovabili	RER_{H+C+W}	%	63,6%	73,4%	12,8%	6,5%	10,9%	5,2%
Riduzione degli indici di prestazione rispetto allo stato di fatto	Simbolo	Unità di misura						
Energia primaria globale non rinnovabile	$\Delta EP_{gl,nren}$	%			84,1%	61,5%	71,0%	62,5%

Tabella 6.182 Caratteristiche delle soluzioni *cost-optimal* orarie per gli edifici residenziali monofamiliari.

Tecnologia / intervento	Simbolo	Unità di	RESIDENZIALE MONOFAMILIARE					
-------------------------	---------	----------	----------------------------	--	--	--	--	--

		misura	Nuovi		1946-1976		1977-1990	
			Milano	Palermo	Milano	Palermo	Milano	Palermo
			RMF_NO_E	RMF_NO_B	RMF_E1_E	RMF_E1_B	RMF_E2_E	RMF_E2_B
Pareti perimetrali - isolamento a cappotto	$U_{p,ext}$	W/(m²K)	0,30	1,50	0,30	1,18	-	-
Pareti perimetrali - insufflaggio	$U_{p,ins}$	W/(m²K)					0,27	1,10
Solaio superiore	$U_{r,equiv.}$	W/(m²K)	0,18	0,28	0,32	0,41	0,32	0,41
Solaio inferiore	$U_{f,equiv.}$	W/(m²K)	0,17	0,29	0,90	0,90	0,29	0,78
Finestre	U_w	W/(m²K)	3,80	3,20	2,30	3,20	2,80	4,90
Schermature solari	-	-	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	assenti	presenti (lamelle mobili)	assenti	presenti (lamelle mobili)
Tipo di impianto di riscaldamento	-	-	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori
Generazione termica	-	-	prod. separata pompa di calore H + caldaia a tre stelle W + multisplit	prod. separata pompa di calore H + caldaia a tre stelle W + multisplit	prod. combinata H+W caldaia condens. + multisplit	prod. combinata H+W caldaia condens. + multisplit	prod. combinata H+W caldaia condens. + multisplit	prod. combinata H+W caldaia condens. + multisplit
Tipo di regolazione del riscaldamento	-	-	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica
Solare termico	$(A_{coil}/A_{fp}) \cdot 10^3$	-	8	8	0	0	0	0
Solare fotovoltaico	P_{peak}/A_{fp}	W/m²	17	25	24	20	18	18
Recuperatore di calore	η_{rec}	-	0,90	0,70				
Tipologia di sorgenti luminose e controllo	-	-						
Indicatore di prestazione	Simbolo	Unità di misura						
Costo globale (30 anni)	GC	€/m²	560,8	452,2	462,4	277,9	326,2	254,6
Energia primaria globale totale	$EP_{gl,tot}$	kWh/m²	110,6	100,5	93,5	89,0	96,7	94,1
Energia primaria globale non rinnovabile	$EP_{gl,nren}$	kWh/m²	40,3	26,6	84,2	78,2	86,9	84,3
Copertura fabbisogno energetico H+C+W da fonti rinnovabili	RER_{H+C+W}	%	63,9%	74,0%	10,0%	12,1%	10,2%	10,5%
Riduzione degli indici di prestazione rispetto allo stato di fatto	Simbolo	Unità di misura						
Energia primaria globale non rinnovabile	$\Delta EP_{gl,nren}$	%			83,0%	63,1%	71,5%	61,2%

Tabella 6.183 Caratteristiche delle soluzioni *cost-optimal* mensili per i condomini residenziali di piccole dimensioni.

Tecnologia / intervento	Simbolo	Unità di misura	RESIDENZIALE - PICCOLO CONDOMINIO		
			Nuovi	1946-1976	1977-1990

			Milano	Palermo	Milano	Palermo	Milano	Palermo
			RPC_NO_E	RPC_NO_B	RPC_E1_E	RPC_E1_B	RPC_E2_E	RPC_E2_B
Pareti perimetrali - isolamento a cappotto	$U_{p,ext}$	W/(m ² K)	0,30	1,50	-	0,90	0,81	-
Pareti perimetrali - insufflaggio	$U_{p,ins}$	W/(m ² K)			0,37			0,35
Solaio superiore	$U_{r,equiv.}$	W/(m ² K)	0,18	0,28	0,20	0,26	0,20	0,26
Solaio inferiore	$U_{f,equiv.}$	W/(m ² K)	0,17	0,29	0,19	0,28	0,29	0,42
Finestre	U_w	W/(m ² K)	3,80	3,20	4,90	4,90	3,70	3,80
Schermature solari	-	-	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	assenti	presenti (lamelle mobili)
Tipo di impianto di riscaldamento	-	-	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - radiatori
Generazione termica	-	-	prod. separata pompa di calore H + caldaia tre stelle W + multisplit	prod. separata pompa di calore H + caldaia tre stelle W + multisplit	prod. separata caldaia condens. H + caldaia tre stelle W + multisplit	prod. separata caldaia condens. H + caldaia tre stelle W + multisplit	prod. separata caldaia condens. H + caldaia tre stelle W + multisplit	prod. separata H e W caldaie due stelle + multisplit
Tipo di regolazione del riscaldamento	-	-	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica
Solare termico	$(A_{coll}/A_{fp}) \cdot 10^3$	-	35	35	0	37	30	30
Solare fotovoltaico	P_{peak}/A_{fp}	W/m ²	24	24	26	26	24	24
Recuperatore di calore	η_{rec}	-	0,60	0,60				
Tipologia di sorgenti luminose e controllo	-	-						
Indicatore di prestazione	Simbolo	Unità di misura						
Costo globale (30 anni)	GC	€/m ²	411,3	343,8	318,8	224,3	234,2	176,4
Energia primaria globale totale	$EP_{gl,tot}$	kWh/m ²	101,1	95,9	123,6	74,4	102,5	52,6
Energia primaria globale non rinnovabile	$EP_{gl,nren}$	kWh/m ²	41,3	39,8	114,2	51,2	85,9	35,2
Copertura fabbisogno energetico H+C+W da fonti rinnovabili	RER_{H+C+W}	%	59,7%	59,0%	7,6%	31,1%	16,2%	33,1%
Riduzione degli indici di prestazione rispetto allo stato di fatto	Simbolo	Unità di misura						
Energia primaria globale non rinnovabile	$\Delta EP_{gl,nren}$	%			63,4%	67,0%	55,8%	69,5%

Tabella 6.184 Caratteristiche delle soluzioni *cost-optimal* orarie per i condomini residenziali di piccole dimensioni.

Tecnologia / intervento	Simbolo	Unità di misura	RESIDENZIALE - PICCOLO CONDOMINIO		
			Nuovi	1946-1976	1977-1990

			Milano	Palermo	Milano	Palermo	Milano	Palermo
			RPC_NO_E	RPC_NO_B	RPC_E1_E	RPC_E1_B	RPC_E2_E	RPC_E2_B
Pareti perimetrali - isolamento a cappotto	$U_{p,ext}$	W/(m ² K)	0,30	1,50	-	0,90	0,81	-
Pareti perimetrali - insufflaggio	$U_{p,ins}$	W/(m ² K)			0,37			0,98
Solaio superiore	$U_{r,equiv.}$	W/(m ² K)	0,18	0,28	0,20	0,26	0,20	0,26
Solaio inferiore	$U_{f,equiv.}$	W/(m ² K)	0,26	0,44	0,29	0,78	0,29	0,42
Finestre	U_w	W/(m ² K)	3,80	3,20	4,90	4,90	3,70	3,80
Schermature solari	-	-	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	assenti	presenti (lamelle mobili)
Tipo di impianto di riscaldamento	-	-	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori
Generazione termica	-	-	prod. separata pompa di calore H + caldaia tre stelle W + multisplit	prod. separata pompa di calore H + caldaia tre stelle W + multisplit	prod. separata caldaia condens. H + caldaia tre stelle W + multisplit	prod. separata caldaia condens. H + caldaia tre stelle W + multisplit	prod. separata caldaia condens. H + caldaia tre stelle W + multisplit	prod. separata caldaia condens. H + caldaia una stella W + multisplit
Tipo di regolazione del riscaldamento	-	-	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica
Solare termico	$(A_{coll}/A_{fp}) \cdot 10^3$	-	35	35	0	37	30	30
Solare fotovoltaico	P_{peak}/A_{fp}	W/m ²	24	24	26	26	24	24
Recuperatore di calore	η_{rec}	-	0,60	0,60				
Tipologia di sorgenti luminose e controllo	-	-						
Indicatore di prestazione	Simbolo	Unità di misura						
Costo globale (30 anni)	GC	€/m ²	407,2	340,9	319,7	214,4	241,3	175,2
Energia primaria globale totale	$EP_{gl,tot}$	kWh/m ²	102,0	96,4	128,0	74,4	108,0	62,7
Energia primaria globale non rinnovabile	$EP_{gl,nren}$	kWh/m ²	40,8	39,3	119,2	52,5	91,2	44,8
Copertura fabbisogno energetico H+C+W da fonti rinnovabili	RER_{H+C+W}	%	60,6%	59,6%	6,8%	29,4%	15,5%	28,5%
Riduzione degli indici di prestazione rispetto allo stato di fatto	Simbolo	Unità di misura						
Energia primaria globale non rinnovabile	$\Delta EP_{gl,nren}$	%			66,0%	67,7%	55,9%	64,5%

Tabella 6.185 Caratteristiche delle soluzioni *cost-optimal* mensili per i condomini residenziali di grandi dimensioni.

Tecnologia / intervento	Simbolo	Unità di misura	RESIDENZIALE - GRANDE CONDOMINIO					
			Nuovi		1946-1976		1977-1990	
			Milano	Palermo	Milano	Palermo	Milano	Palermo
			RGC_NO_E	RGC_NO_B	RGC_E1_E	RGC_E1_B	RGC_E2_E	RGC_E2_B

Pareti perimetrali - isolamento a cappotto	$U_{p,ext}$	W/(m ² K)	0,26	1,50	-	0,90	-	-
Pareti perimetrali - insufflaggio	$U_{p,ins}$	W/(m ² K)			0,37		0,27	0,98
Solaio superiore	$U_{r,equiv.}$	W/(m ² K)	0,18	0,28	0,20	0,26	0,20	0,26
Solaio inferiore	$U_{f,equiv.}$	W/(m ² K)	0,17	0,29	0,19	0,28	0,29	0,28
Finestre	U_w	W/(m ² K)	3,80	3,20	2,30	3,20	3,70	4,90
Schermature solari	-	-	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)
Tipo di impianto di riscaldamento	-	-	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - radiatori	centralizzato - ventilconvettori	autonomo - ventilconvettori	autonomo - ventilconvettori
Generazione termica	-	-	prod. separata pompa di calore H + caldaia due stelle W + multisplit	prod. separata pompa di calore H + caldaia due stelle W + multisplit	prod. separata H caldaia a tre stelle e W caldaia a due stelle + multisplit	prod. separata caldaia condens. H + caldaia una stella W + multisplit	prod. combinata H+W caldaia condens. + multisplit	prod. combinata H+W caldaia condens. + multisplit
Tipo di regolazione del riscaldamento	-	-	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	ambiente	zona + climatica	zona + climatica
Solare termico	$(A_{coll}/A_{fp}) \cdot 10^3$	-	67	67	45	45	29	44
Solare fotovoltaico	P_{peak}/A_{fp}	W/m ²	24	24	25	25	24	24
Recuperatore di calore	η_{rec}	-	0,90	0,60				
Tipologia di sorgenti luminose e controllo	-	-						
Indicatore di prestazione	Simbolo	Unità di misura						
Costo globale (30 anni)	GC	€/m ²	356,6	304,8	337,4	237,8	204,7	179,2
Energia primaria globale totale	$EP_{gl,tot}$	kWh/m ²	74,9	81,3	108,8	78,8	73,1	66,6
Energia primaria globale non rinnovabile	$EP_{gl,nren}$	kWh/m ²	38,8	41,2	92,2	58,2	61,3	50,9
Copertura fabbisogno energetico H+C+W da fonti rinnovabili	RER_{H+C+W}	%	48,3%	49,9%	15,3%	26,1%	16,1%	23,6%
Riduzione degli indici di prestazione rispetto allo stato di fatto	Simbolo	Unità di misura						
Energia primaria globale non rinnovabile	$\Delta EP_{gl,nren}$	%			69,2%	50,1%	56,3%	50,0%

Tabella 6.186 Caratteristiche delle soluzioni *cost-optimal* orarie per i condomini residenziali di grandi dimensioni.

Tecnologia / intervento	Simbolo	Unità di misura	RESIDENZIALE - GRANDE CONDOMINIO					
			Nuovi		1946-1976		1977-1990	
			Milano	Palermo	Milano	Palermo	Milano	Palermo
			RGC_NO_E	RGC_NO_B	RGC_E1_E	RGC_E1_B	RGC_E2_E	RGC_E2_B
Pareti perimetrali - isolamento a cappotto	$U_{p,ext}$	W/(m ² K)	0,30	1,50	-	0,90	-	-

Pareti perimetrali - insufflaggio	$U_{p,ins}$	W/(m²K)			0,37		0,27	0,98
Solaio superiore	$U_{r,equiv.}$	W/(m²K)	0,18	0,28	0,20	0,26	0,20	0,26
Solaio inferiore	$U_{f,equiv.}$	W/(m²K)	0,26	0,29	0,29	0,78	0,29	0,78
Finestre	U_w	W/(m²K)	3,80	3,20	2,30	3,20	3,70	4,90
Schermature solari	-	-	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)
Tipo di impianto di riscaldamento	-	-	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	autonomo - ventilconvettori	autonomo - ventilconvettori
Generazione termica	-	-	prod. separata pompa di calore H + caldaia due stelle W + multisplit	prod. separata pompa di calore H + caldaia due stelle W + multisplit	prod. separata caldaia condens. H + caldaia due stelle W + multisplit	prod. separata caldaia condens. H + caldaia una stella W + multisplit	prod. combinata H+W caldaia condens. + multisplit	prod. combinata H+W caldaia condens. + multisplit
Tipo di regolazione del riscaldamento	-	-	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	ambiente	zona + climatica	zona + climatica
Solare termico	$(A_{coll}/A_{fp}) \cdot 10^3$	-	67	67	45	45	44	44
Solare fotovoltaico	P_{peak}/A_{fp}	W/m²	24	24	25	25	24	24
Recuperatore di calore	η_{rec}	-	0,90	0,60				
Tipologia di sorgenti luminose e controllo	-	-						
Indicatore di prestazione	Simbolo	Unità di misura						
Costo globale (30 anni)	GC	€/m²	353,3	303,7	349,1	233,0	205,5	174,0
Energia primaria globale totale	$EP_{gl,tot}$	kWh/m²	77,1	81,2	119,7	81,5	74,3	68,0
Energia primaria globale non rinnovabile	$EP_{gl,nren}$	kWh/m²	38,8	40,8	102,6	62,2	60,9	53,4
Copertura fabbisogno energetico H+C+W da fonti rinnovabili	RER_{H+C+W}	%	49,9%	50,1%	14,2%	23,7%	31,0%	21,4%
Riduzione degli indici di prestazione rispetto allo stato di fatto	Simbolo	Unità di misura						
Energia primaria globale non rinnovabile	$\Delta EP_{gl,nren}$	%			69,7%	49,6%	60,1%	52,1%

Tabella 6.187 Caratteristiche delle soluzioni *cost-optimal* mensili per gli edifici ad uso ufficio.

Tecnologia / intervento	Simbolo	Unità di misura	EDIFICI AD USO UFFICIO					
			Nuovi		1946-1976		1977-1990	
			Milano	Palermo	Milano	Palermo	Milano	Palermo
			UFF_N0_E	UFF_N0_B	UFF_E1_E	UFF_E1_B	UFF_E2_E	UFF_E2_B
Pareti perimetrali - isolamento a cappotto	$U_{p,ext}$	W/(m²K)	0,36	1,50	-	-	-	-

Pareti perimetrali - insufflaggio	$U_{p,ins}$	W/(m ² K)			0,15	1,53	0,18	0,50
Solaio superiore	$U_{r,equiv.}$	W/(m ² K)	0,30	0,46	0,32	1,20	0,32	0,85
Solaio inferiore	$U_{f,equiv.}$	W/(m ² K)	0,30	0,56	0,39	0,59	0,39	0,59
Finestre	U_w	W/(m ² K)	1,10	5,00	2,60	4,00	3,20	4,90
Schermature solari	-	-	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)
Tipo di impianto di riscaldamento	-	-	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - radiatori	centralizzato - ventilconvettori
Generazione termica	-	-	pompa di calore invertibile + pompa di calore W	pompa di calore invertibile + pompa di calore W	prod. combinata pompa di calore H+W + multisplit	prod. combinata pompa di calore H+W + multisplit	prod. combinata H+W caldaia due stelle + multisplit	prod. combinata pompa di calore H+W + multisplit
Tipo di regolazione del riscaldamento	-	-	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica
Solare termico	$(A_{coll}/A_{fp}) \cdot 10^3$	-	4	4	0	0	0	0
Solare fotovoltaico	P_{peak}/A_{fp}	W/m ²	28	28	27	27	28	28
Recuperatore di calore	η_{rec}	-	0,60	0,60	assente	assente	0,60	assente
Tipologia di sorgenti luminose e controllo	-	-	led con controllo	led con controllo	led con controllo	led con controllo	led con controllo	led con controllo
Indicatore di prestazione	Simbolo	Unità di misura						
Costo globale (30 anni)	GC	€/m ²	504,9	445,8	440,2	368,4	372,6	350,4
Energia primaria globale totale	$EP_{gl,tot}$	kWh/m ²	87,0	106,2	119,2	111,4	94,1	94,6
Energia primaria globale non rinnovabile	$EP_{gl,nren}$	kWh/m ²	52,8	64,0	92,6	82,2	76,0	73,9
Copertura fabbisogno energetico H+C+W da fonti rinnovabili	RER_{H+C+W}	%	43,4%	42,6%	16,5%	19,9%	14,1%	17,7%
Riduzione degli indici di prestazione rispetto allo stato di fatto	Simbolo	Unità di misura						
Energia primaria globale non rinnovabile	$\Delta EP_{gl,nren}$	%			71,7%	62,8%	66,8%	60,0%

Tabella 6.188 Caratteristiche delle soluzioni *cost-optimal* orarie per gli edifici ad uso ufficio.

Tecnologia / intervento	Simbolo	Unità di misura	EDIFICI AD USO UFFICIO					
			Nuovi		1946-1976		1977-1990	
			Milano	Palermo	Milano	Palermo	Milano	Palermo
			UFF_NO_E	UFF_NO_B	UFF_E1_E	UFF_E1_B	UFF_E2_E	UFF_E2_B
Pareti perimetrali - isolamento a cappotto	$U_{p,ext}$	W/(m ² K)	0,36	1,50	-	-	-	-
Pareti perimetrali - insufflaggio	$U_{p,ins}$	W/(m ² K)			0,15	1,53	0,18	0,50

Solaio superiore	$U_{r,equiv.}$	W/(m²K)	0,30	0,38	0,32	1,20	0,32	0,85
Solaio inferiore	$U_{f,equiv.}$	W/(m²K)	0,36	1,50	0,39	0,59	0,39	0,59
Finestre	U_w	W/(m²K)	1,10	5,00	2,60	4,00	3,20	4,90
Schermature solari	-	-	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)	presenti (lamelle mobili)
Tipo di impianto di riscaldamento	-	-	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori	centralizzato - ventilconvettori
Generazione termica	-	-	pompa di calore invertibile + pompa di calore W	pompa di calore invertibile + pompa di calore W	prod. combinata pompa di calore H+W + multisplit	prod. combinata pompa di calore H+W + multisplit	prod. combinata H+W caldaia due stelle + multisplit	prod. combinata pompa di calore H+W + multisplit
Tipo di regolazione del riscaldamento	-	-	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica	zona + climatica
Solare termico	$(A_{coll}/A_{fp}) \cdot 10^3$	-	4	4	0	0	0	0
Solare fotovoltaico	P_{peak}/A_{fp}	W/m²	28	28	27	27	28	28
Recuperatore di calore	η_{rec}	-	0,60	0,60	0,60	assente	0,60	0,60
Tipologia di sorgenti luminose e controllo	-	-	led con controllo	led con controllo	led con controllo	led con controllo	led con controllo	led con controllo
Indicatore di prestazione	Simbolo	Unità di misura						
Costo globale (30 anni)	GC	€/m²	499,1	421,1	412,2	347,7	348,6	331,2
Energia primaria globale totale	$EP_{gl,tot}$	kWh/m²	87,4	108,8	94,2	105,1	85,4	86,5
Energia primaria globale non rinnovabile	$EP_{gl,nren}$	kWh/m²	51,3	57,1	69,3	77,8	69,0	67,9
Copertura fabbisogno energetico H+C+W da fonti rinnovabili	RER_{H+C+W}	%	46,2%	52,5%	19,2%	19,0%	13,0%	16,2%
Riduzione degli indici di prestazione rispetto allo stato di fatto	Simbolo	Unità di misura						
Energia primaria globale non rinnovabile	$\Delta EP_{gl,nren}$	%			79,4%	66,7%	72,1%	65,7%

Tabella 6.189 Caratteristiche delle soluzioni cost-optimal mensili per gli edifici ad uso scolastico.

Tecnologia / intervento	Simbolo	Unità di misura	EDIFICIO AD USO SCOLASTICO	
			1946-1976	
			Milano	Palermo
			SCU_E1_E	SCU_E1_B
Pareti perimetrali - isolamento a cappotto	$U_{p,ext}$	W/(m²K)	-	-
Pareti perimetrali - insufflaggio	$U_{p,ins}$	W/(m²K)	0,12	1,41
Solaio superiore	$U_{r,equiv.}$	W/(m²K)	0,20	0,32

Solaio inferiore	$U_{i,equiv.}$	W/(m ² K)	0,31	0,68
Finestre	U_w	W/(m ² K)	4,25	4,25
Schermature solari	-	-	assenti	assenti
Tipo di impianto di riscaldamento	-	-	centralizzato - radiatori	centralizzato - ventilconvettori
Generazione termica	-	-	prod. combinata H+W caldaia a due stelle	prod. combinata H+W caldaia condens.
Tipo di regolazione del riscaldamento	-	-	zona + climatica	zona + climatica
Solare termico	$(A_{coll}/A_{fp}) \cdot 10^3$	-	0	0
Solare fotovoltaico	P_{peak}/A_{fp}	W/m ²	32	32
Recuperatore di calore	η_{rec}	-	0,90	assente
Tipologia di sorgenti luminose e controllo	-	-	led senza controllo	led senza controllo
Indicatore di prestazione	Simbolo	Unità di misura		
Costo globale (30 anni)	GC	€/m ²	272,0	175,4
Energia primaria globale totale	$EP_{gl,tot}$	kWh/m ²	64,9	56,8
Energia primaria globale non rinnovabile	$EP_{gl,nren}$	kWh/m ²	51,1	42,7
Copertura fabbisogno energetico H+C+W da fonti rinnovabili	RER_{H+C+W}	%	0,8%	1,0%
Riduzione degli indici di prestazione rispetto allo stato di fatto	Simbolo	Unità di misura		
Energia primaria globale non rinnovabile	$\Delta EP_{gl,nren}$	%	80,2%	59,2%

Tabella 6.190 Caratteristiche delle soluzioni *cost-optimal* orarie per gli edifici ad uso scolastico.

Tecnologia / intervento	Simbolo	Unità di misura	EDIFICIO AD USO SCOLASTICO	
			1946-1976	
			Milano	Palermo
			SCU_E1_E	SCU_E1_B
Pareti perimetrali - isolamento a cappotto	$U_{p,ext}$	W/(m ² K)	-	-
Pareti perimetrali - insufflaggio	$U_{p,ins}$	W/(m ² K)	0,12	1,41
Solaio superiore	$U_{r,equiv.}$	W/(m ² K)	0,20	0,26
Solaio inferiore	$U_{i,equiv.}$	W/(m ² K)	0,29	0,42

Finestre	U_w	W/(m²K)	4,25	4,25
Schermature solari	-	-	assenti	assenti
Tipo di impianto di riscaldamento	-	-	centralizzato - radiatori	centralizzato - ventilconvettori
Generazione termica	-	-	prod. combinata H+W caldaia a due stelle	prod. combinata H+W caldaia condens.
Tipo di regolazione del riscaldamento	-	-	zona + climatica	zona + climatica
Solare termico	$(A_{coll}/A_{fp}) \cdot 10^3$	-	0	0
Solare fotovoltaico	P_{peak}/A_{fp}	W/m²	32	32
Recuperatore di calore	η_{rec}	-	0,90	assente
Tipologia di sorgenti luminose e controllo	-	-	led senza controllo	led senza controllo
Indicatore di prestazione	Simbolo	Unità di misura		
Costo globale (30 anni)	GC	€/m²	283,2	200,7
Energia primaria globale totale	$EP_{gl,tot}$	kWh/m²	74,4	74,9
Energia primaria globale non rinnovabile	$EP_{gl,nren}$	kWh/m²	60,7	60,6
Copertura fabbisogno energetico H+C+W da fonti rinnovabili	RER_{H+C+W}	%	0,9%	1,0%
Riduzione degli indici di prestazione rispetto allo stato di fatto	Simbolo	Unità di misura		
Energia primaria globale non rinnovabile	$\Delta EP_{gl,nren}$	%	81,7%	59,0%

Di seguito si analizzano per classi di dimensione edilizia e per destinazione d'uso i risultati della procedura di ottimizzazione, determinati considerando il calcolo del fabbisogno di energia termica per riscaldamento e raffrescamento secondo un metodo dinamico orario semplificato.

Per gli edifici residenziale monofamiliari (RMF) si possono riassumere le seguenti considerazioni generali:

- Per i fabbricati ubicati a Palermo l'involucro verticale non risulta coibentato in nessun caso, al contrario di Milano in cui si procede sempre all'isolamento delle pareti attraverso la realizzazione di un cappotto esterno oppure mediante l'insufflaggio della camera d'aria della parete. A Palermo per la coibentazione dell'involucro opaco si preferiscono soluzioni più economiche, date dall'isolamento termico del solaio superiore e in un caso anche di quello inferiore (RMF_NO_B). Visto il risparmio energetico contenuto a fronte dell'ingente spesa economica, la sostituzione dei componenti trasparenti non è considerata una soluzione *cost-effective*, né per gli edifici monofamiliari ubicati a Milano né per quelli ubicati a Palermo. L'installazione di sistemi di schermature solari esterne, invece, avviene nel 75% dei casi, ad eccezione degli edifici RMF_E1_E e RMF_E2_E, situati a Milano;
- Per gli edifici di nuova costruzione (RMF_NO_E e RMF_NO_B) la procedura di ottimizzazione suggerisce una produzione separata per il riscaldamento e per la produzione di ACS. Nello specifico, per il primo servizio energetico, la richiesta termica viene soddisfatta da parte di una pompa di calore aria-aria. La produzione di ACS, invece, è demandata ad una caldaia tradizionale. Inoltre, in regime estivo la domanda di raffrescamento verrà soddisfatta da sistemi *multisplit* ad aria. Per gli edifici residenziali monofamiliari esistenti, indipendentemente dalla località analizzata, i sistemi impiantistici risultano i medesimi: produzione combinata di riscaldamento e ACS attraverso l'installazione di una caldaia a condensazione e condizionamento estivo ad aria, dovuto alla presenza di un sistema *multisplit*. Il sistema di regolazione dell'impianto di riscaldamento prevede in tutti i casi una regolazione per zone con sonda climatica esterna. Per quanto riguarda il sottosistema di emissione, invece, in tutti i casi si favorisce la presenza di ventilconvettori come terminali in ambiente;
- Per gli edifici di nuova costruzione (RMF_NO_E e RMF_NO_B) per la produzione di ACS si prevede l'integrazione alla caldaia tradizionale di moduli solari termici. In tutti i casi, invece, si sfrutterà la produzione elettrica derivante da pannelli fotovoltaici installati in copertura. L'adozione dell'energia prodotta da fonti ad energia rinnovabile permette agli edifici di nuova costruzione di soddisfare ampiamente la copertura del 50% per i servizi di riscaldamento, ACS e raffrescamento, prevista dal Decreto Legislativo 3 marzo 2011, n. 28 [27].

Per gli edifici residenziali piccolo condominio (RPC) si possono riassumere le seguenti considerazioni generali:

- A Palermo non si procede in nessun caso all'isolamento dell'involucro verticale opaco, prevedendo soluzioni di coibentazione più economiche: isolamento termico del solaio inferiore e/o superiore. A Milano, invece, l'isolamento dell'involucro verticale si preferisce in tutti i casi ad eccezione dell'edificio RPC_E2_E, in cui però si provvederà alla coibentazione dell'involucro opaco inferiore e superiore. La riqualificazione energetica del solaio di copertura avviene per tutti e sei gli edifici oggetto di analisi. L'isolamento dell'involucro opaco orizzontale inferiore, invece, è previsto sempre ad esclusione del piccolo condominio ubicato a Palermo con periodo di costruzione compreso fra il 1946-76 (RPC_E1_B). L'installazione di sistemi di schermature solari esterne avviene in tutti i casi ad eccezione di RPC_E2_E;
- Per tutti gli edifici, indipendentemente dal periodo di costruzione e dalla località in cui sorgono, il sistema impiantistico prevede una caldaia a condensazione per il riscaldamento ed una caldaia tradizionale per la produzione di ACS. I sottosistemi di emissione e regolazione prevedono rispettivamente l'installazione di ventilconvettori in ambiente accompagnati da una regolazione di zona e da una centralina con compensazione climatica. La domanda di raffrescamento verrà soddisfatta da sistemi *multisplit* ad aria;

- La procedura di ottimizzazione stabilisce per tutti i condomini residenziali di piccole dimensioni la produzione di energia elettrica da moduli fotovoltaici installati in copertura. La produzione di ACS da fonti rinnovabili è ammessa in cinque casi su sei, ad esclusione del fabbricato RPC_E1_E, situato a Milano.

Per gli edifici residenziali grande condominio (RGC) si possono riassumere le seguenti considerazioni generali:

- Per l'isolamento delle pareti a Milano, negli edifici esistenti viene sempre previsto l'insufflaggio, mentre a Palermo sono previste, a seconda del caso, insufflaggio o isolamento a cappotto. Negli edifici di nuova costruzione sono invece previsti pareti isolate a cappotto per ambedue le località. I solai disperdenti superiori ed inferiori risultano essere sempre isolati;
- I componenti trasparenti, nella tipologia costruttiva RGC_E2, non prevedono sostituzioni mentre nelle restanti tipologie sono previsti infissi a vetro doppio non bassoemissivi. Sono sempre previste schermature solari;
- I sistemi di generazione variano a seconda dell'edificio considerato; nei casi di edifici nuovi viene previsto un sistema con tre macchine: due pompe di calore per riscaldamento e raffrescamento ed una caldaia per la produzione di ACS; nell'esistente viene invece previsto per la produzione di energia termica per il raffrescamento l'utilizzo di un multisplit, mentre per il riscaldamento e la produzione di ACS vengono impiegate una, nei casi RGC_E2, o due caldaie, nei casi RGC_E1;
- È prevista in tutti i casi considerati l'installazione di sistemi di solare termico e fotovoltaico.

Per gli edifici adibiti ad uffici (UFF) si possono riassumere le seguenti considerazioni generali:

- L'isolamento delle pareti esterne negli edifici esistenti viene sempre effettuato mediante insufflaggio, fatto salvo per l'edificio UFF_E1_B che risulta non isolato. Negli edifici nuovi il solo caso in cui è previsto isolamento è quello sito a Milano, per il quale viene previsto un cappotto. I solai superiori prevedono isolamento in tutti gli edifici nuovi ed in quelli esistenti siti a Milano; i solai inferiori sono invece isolati in tutti i casi, fatta eccezione per l'edificio nuovo sito a Palermo;
- Non è mai prevista la sostituzione dei componenti finestrati negli edifici esistenti; negli edifici nuovi è prevista l'installazione di finestre ad alta efficienza a Milano, e finestre ad alta trasmittanza a Palermo. Sono sempre previste schermature solari;
- I sistemi di generazione per gli edifici nuovi sono composti da due pompe di calore, una invertibile per i servizi di riscaldamento e raffrescamento, una per il servizio di produzione di ACS. Negli edifici esistenti si prevede invece l'installazione di una pompa di calore combinata per il soddisfacimento contemporaneo dei tre servizi richiesti;
- È prevista l'installazione di solare fotovoltaico in tutti i casi analizzati, mentre il solare termico è previsto solo negli edifici di nuova costruzione.

Per gli edifici adibiti ad uso scolastico si riflettono alcune considerazioni già riscontrate nell'analisi degli altri fabbricati. Per la scuola ubicata nella zona climatica E, l'isolamento termico dell'involucro opaco è totale: verticale, orizzontale superiore ed inferiore. L'edificio che sorge a Palermo, invece, prevede la coibentazione dell'intera superficie disperdente opaca ad eccezione della riqualificazione energetica degli elementi verticali. Anche per gli edifici adibiti ad uso scolastico, la procedura di ottimizzazione non suggerisce la sostituzione dei componenti vetrati, né l'installazione di schermature solari esterne. Dal punto di vista impiantistico, per l'edificio che sorge a Milano, data la completa riqualificazione energetica dell'involucro opaco, è sufficiente la produzione combinata di riscaldamento e ACS generata da una caldaia tradizionale. Per il fabbricato ubicato a Palermo, invece, la domanda combinata dei servizi energetici di riscaldamento e ACS verrà soddisfatta da una caldaia a condensazione. In entrambi i casi, si preferisce l'installazione di pannelli fotovoltaici, atti alla produzione elettrica, rispetto che all'ubicazione di moduli solari termici.

Ad una prima analisi pare evidente come le variazioni, sia in termini di costo che di combinazione ottimale, tra le ottimizzazioni relative al metodo di calcolo mensile UNI/TS 11300-1 [5] e quelle relative al metodo orario UNI EN ISO 52016-1 [10] risultino minime. Nella Figura 6.38 è rappresentato il numero di casi, differenziato per misura di efficienza, in cui sono presenti variazioni di livello ottimale tra le ottimizzazioni confrontate. Appare subito evidente come la maggior parte delle variazioni sia concentrata sulla misura EEM4, ossia la misura riferita all'incremento di efficienza energetica dovuta alla riduzione della trasmissione di calore attraverso il pavimento. Le variazioni, in particolare, risultano in una riduzione del livello di efficienza tra il caso mensile e quello orario. Le motivazioni di ciò sono duplici; in primo luogo, alcuni degli edifici interessati da tale misura sono confinanti con il terreno, e gli scambi con esso sono considerati diversamente nelle due procedure. Infatti, nel caso mensile sono applicati dei coefficienti correttivi, mentre nel metodo orario è applicata la procedura descritta nella UNI EN ISO 13370 [32]. In secondo luogo, gli interventi sull'estradosso del solaio inferiore risultano essere estremamente economici, pertanto con variazioni anche minime nei risultati di fabbisogno, dovuti alle differenti metodologie di calcolo, e con le conseguenti riduzioni dei costi dell'energia, questa misura risulta essere estremamente *cost-effective*. Le variazioni risultano essere più marcate, in alcuni casi variando dal livello massimo a quello minimo, nei casi confinanti con il terreno ed in alcuni dei casi situati a Palermo, in quanto, dati i fabbisogni energetici più ridotti, variazioni anche piccole risultano essere percentualmente più significative.

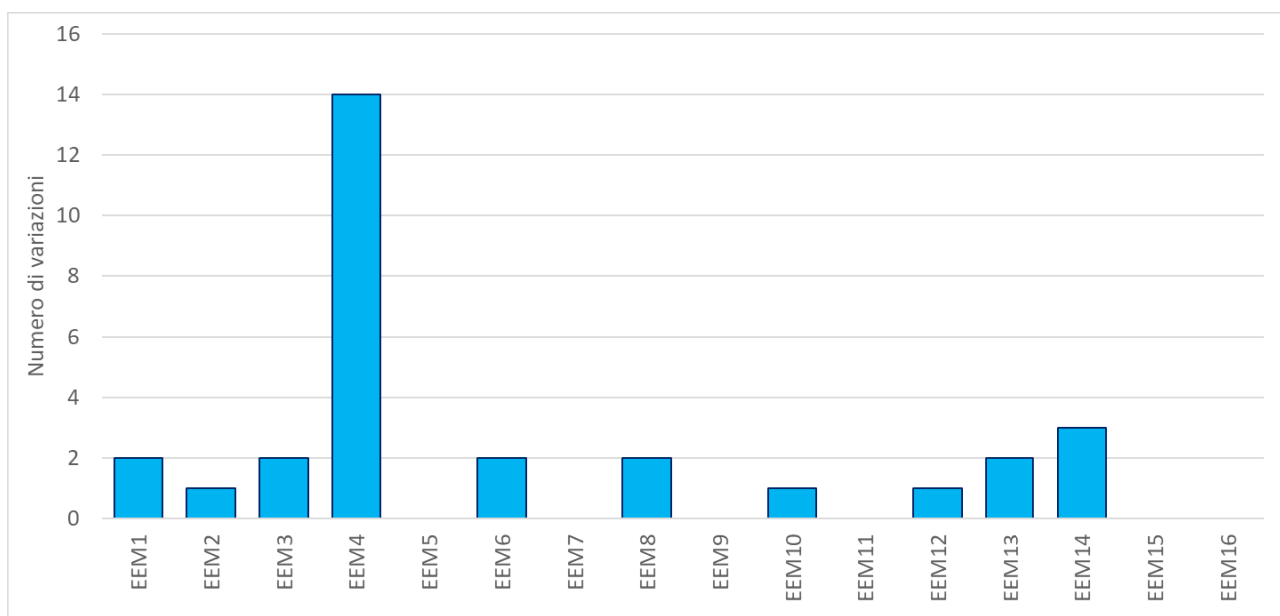


Figura 6.38 - Numero di casi in cui è presente una variazione tra le combinazioni ottimali, per misura di efficienza.

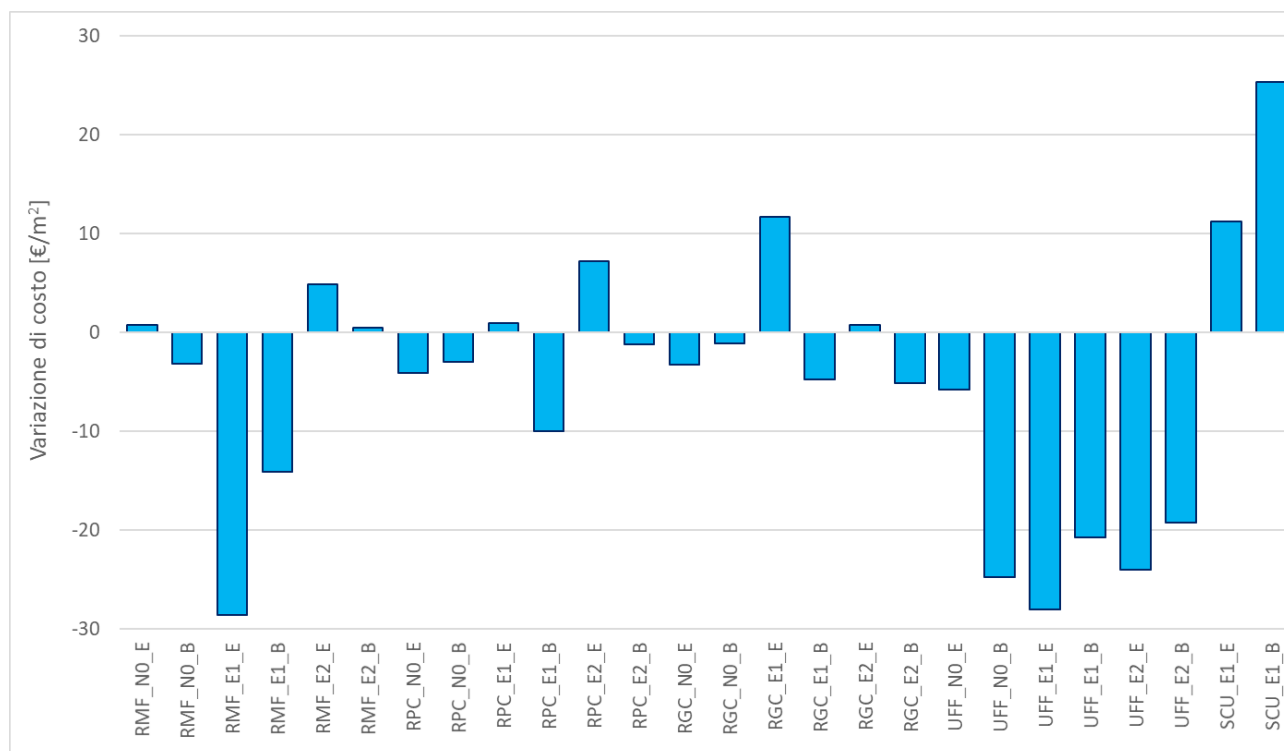


Figura 6.39 - Variazioni di costo globale tra il caso orario e il caso mensile, per edificio di riferimento.

Per quanto concerne invece le variazioni di costo globale, rappresentate in Figura 6.39 come differenza tra i costi globali orari e quelli mensili, è possibile notare come le variazioni siano minime in quasi tutti i casi, con valori quasi sempre compresi tra il $\pm 6\%$. Ciò è da imputare alla modesta variazione delle combinazioni ottimali, nonché al fatto che le differenti metodologie di calcolo del fabbisogno risultano costituire solo una parte dell'intero insieme di fattori che influenzano il costo globale, ed inoltre non presentano variazioni significative di fabbisogno annuo, come infatti mostrato in Figura 6.40.

L'analisi delle variazioni dei fabbisogni termici utili, riportata in Figura 6.40, è stata condotta considerando tutti gli edifici esistenti nel loro stato di fatto. L'andamento tendenziale mostra un leggero incremento del fabbisogno termico per climatizzazione invernale e una riduzione del fabbisogno termico per climatizzazione estiva passando dal metodo mensile al metodo orario. Questa deviazione, anche alla luce di quanto emerso nelle analisi svolte nelle precedenti annualità [11] e [18], è riconducibile al fattore di esposizione e al calcolo della temperatura della volta celeste. Come mostrato infatti nella Sezione 2.3, è possibile notare per ambedue le località una riduzione media del fattore F_w ed un aumento della differenza di temperatura tra ambiente esterno e volta celeste. Tali modifiche corrispondono rispettivamente ad una riduzione degli apporti solari gratuiti e un incremento dello scambio termico radiativo con la volta celeste, variazioni pertanto compatibili con le differenze di fabbisogno riscontrate.

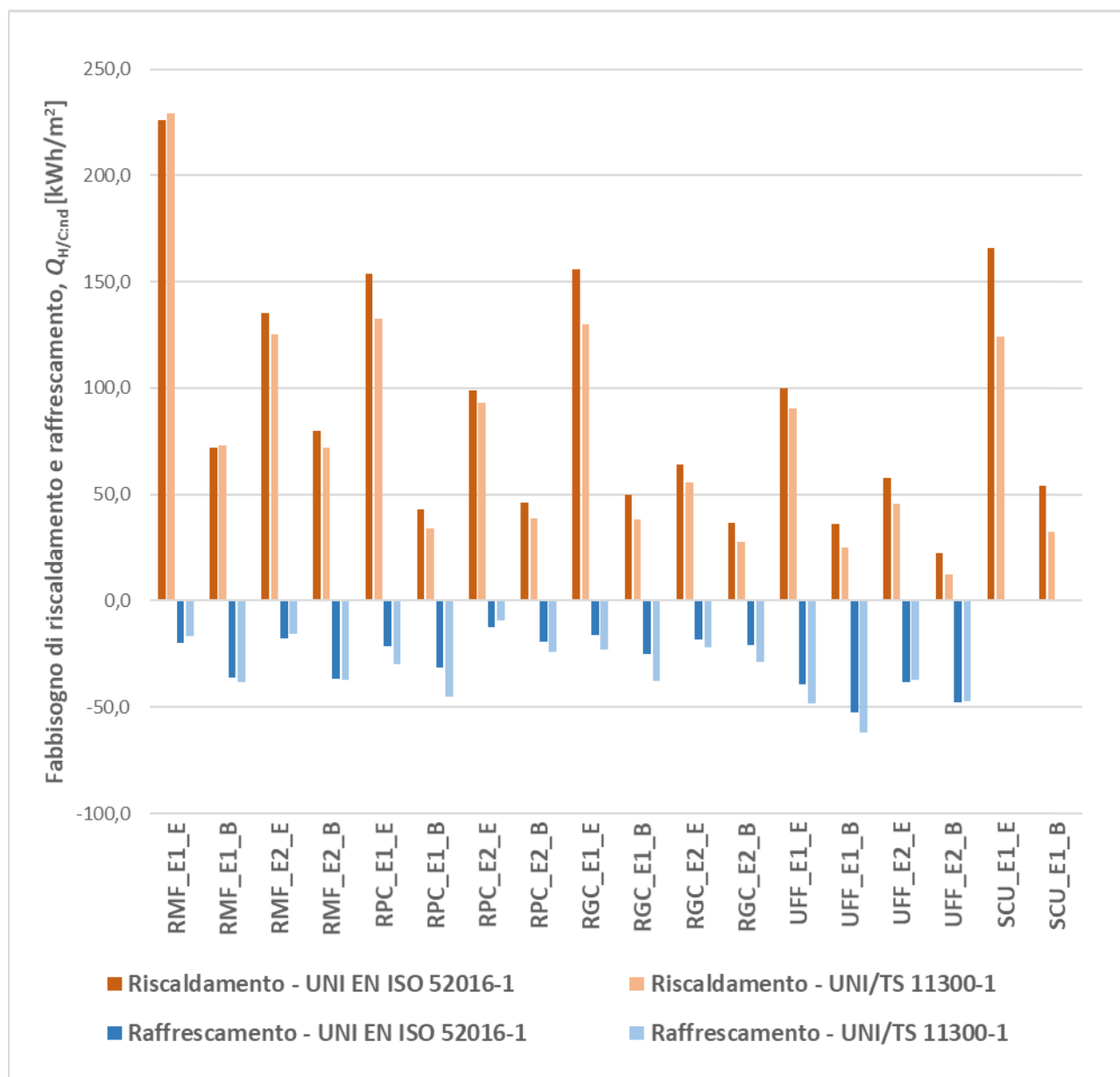


Figura 6.40 - Confronto tra i fabbisogni termici calcolati su base oraria e mensile, $Q_{H/C,nd}$.

6.4 Confronto modelli di discretizzazione in nodi dei componenti opachi

Per gli edifici di riferimento RPC_E2_E e UFF_NO_B (si vedano rispettivamente Tabella 6.192 e Tabella 6.193) sono state effettuate due ottimizzazioni orarie considerando la discretizzazione in nodi dei componenti opachi secondo l'Appendice Nazionale (AN) della norma UNI EN ISO 52016-1 [13]. I predetti casi studio sono stati scelti per differente destinazione d'uso, epoca di costruzione e zona climatica. I risultati così ottenuti vengono confrontati con quelli presentati nella precedente Sezione 6.3.

Dai due casi proposti (Tabella 6.191) si evince che i costi globali rimangono pressoché invariati, in quanto i diversi approcci di discretizzazione in nodi dei componenti opachi non influenzano sensibilmente il calcolo del fabbisogno di energia termica di riscaldamento e raffrescamento. Tale considerazione è maggiormente evidente nel caso RPC_E2_E, in cui non avviene una mutazione della combinazione cost-optimal. Solo per l'edificio adibito ad uso uffici ubicato a Palermo (UFF_NO_B) si assiste ad una diversità nel pacchetto di misure di efficienza energetica. La variazione fra i due ottimali si registra unicamente per il livello di isolamento termico del solaio di copertura considerato: EEM3.3 per il modello in cui si è adottata una discretizzazione in nodi dei componenti opachi concordemente con l'approccio originale contenuto nella

UNI EN ISO 52016-1 [10], e un livello EEM3.2 per l'approccio presentato nell'Appendice Nazionale della predetta norma [13]. Le due trasmittanze termiche associate ai suddetti interventi risultano di poco differenti: pari a $0,46 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \text{K}^{-1})$ per EEM3.2 e $0,38 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \text{K}^{-1})$ per EEM3.3; ciò determina all'interno della stratigrafia del solaio una variazione di spessore dello strato coibente prossima a 2 cm. L'involucro opaco superiore di UFF_N0_B si presenta come una copertura piana confinante con l'ambiente esterno. L'isolamento di tale superficie, paragonata con la riqualificazione energetica di quelle opache e trasparenti verticali, risulta uno degli interventi più economici. Pertanto, sebbene per l'edificio adibito ad uso uffici si assiste ad una variazione nella combinazione cost-optimal, tale modifica si ritiene contenuta ed accettabile.

Tabella 6.191 Confronto degli indicatori energetici ed economici tra soluzioni *cost-optimal* risultanti utilizzando modelli diversi di discretizzazione in nodi dei componenti di involucro opachi (approccio originale e Appendice Nazionale alla norma) per RPC_E2_E e UFF_N0_B.

			RPC_E2_E		UFF_N0_B	
			Approccio originale	Approccio Appendice Nazionale	Approccio originale	Approccio Appendice Nazionale
Costo globale	Costo globale	[€]	€ 262.584	€ 262.820	€ 639.576	€ 643.052
	Costo globale	[€ · m ⁻²]	€ 241	€ 242	€ 421	€ 423
Valori annuali	Energia primaria	[kWh]	99235	99374	86687	88170
	Costo dell'energia	[€ · a ⁻¹]	€ 7.045	€ 7.055	€ 10.714	€ 10.897
Costi attualizzati	Costo dell'energia	[€]	€ 152.771	€ 153.007	€ 293.139	€ 298.154
	Costo dell'investimento	[€]	€ 46.535	€ 46.535	€ 229.905	€ 228.366
	Costi di esercizio e di manutenzione	[€]	€ 63.278	€ 63.278	€ 116.532	€ 116.532

Tabella 6.192 Edificio RPC_E2_E – confronto delle soluzioni *cost-optimal* derivanti da approcci diversi di discretizzazione in nodi dei componenti opachi.

EDIFICIO PICCOLO CONDOMINIO – ESISTENTE 1977-90 – zona E (RPC_E2_E)								
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Soluzione cost-optimal - discretizzazione in nodi secondo UNI EN ISO 52016		Soluzione cost-optimal - discretizzazione in nodi secondo l'Appendice Nazionale	
					Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K^{-1})]$	U_p	0,81	0,81	1	0,81	1
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K^{-1})]$	U_p					
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K^{-1})]$ [equivalente, solaio sottotetto (b=0,70)]	U_r	0,68	0,20	5	0,20	5
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K^{-1})]$	U_r	1,14	0,29	4	0,29	4
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K^{-1})]$	U_w	3,70	3,70	1	3,70	1
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	assenti	assenti	1	assenti	1
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2,35	2,35	1	2,35	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	0,85	1,00	3	1,00	3
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	0,77	0,93	2	0,93	2
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore 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	Superficie dei collettori solari $[m^2]$	A_{coll}	assente	12,00	3	12,00	3
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata $[kW]$	P_p	assente	9,60	4	9,60	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r					
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	C	ZC	4	ZC	4
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata $[W \cdot m^{-2}]$	P_N					
		Fattore del profilo di occupazione	F_O					
		Fattore di illuminamento costante	F_C					
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D					

Tabella 6.193 Edificio adibito ad uso uffici UFF_NO_B – confronto approcci di discretizzazione in nodi dei componenti opachi.

EDIFICIO AD USO UFFICI – NUOVO – zona B (UFF_NO_B)							
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Soluzione cost-optimal - discretizzazione in nodi secondo UNI EN ISO 52016		Soluzione cost-optimal - discretizzazione in nodi secondo l'Appendice Nazionale	
				Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K^{-1})]$	U_p	1,50	1	1,50	1
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K^{-1})]$	U_p				
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K^{-1})]$	U_r	0,38	3	0,46	2
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K^{-1})]$ [equivalente, solaio su cantina (b=0,80)]	U_r	1,50	1	1,50	1
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica $[W \cdot (m^2 K^{-1})]$	U_w	5,00	1	5,00	1
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	mobile	2	mobile	2
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}				
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$				
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore 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	3,50	2	3,50	2
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3,20		3,20	
12	Impianto solare termico	Superficie dei collettori solari $[m^2]$	A_{coll}	2,00	1	2,00	1
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata $[kW]$	P_p	13,20	3	13,20	3
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r	0,60	1	0,60	1
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	ZC	3	ZC	3
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata $[W \cdot m^{-2}]$	P_N	6,00	2	6,00	2
		Fattore del profilo di occupazione	F_O	0,80		0,80	
		Fattore di illuminamento costante	F_C	0,90		0,90	
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D	0,90		0,90	

6.5 Analisi di sensibilità ai parametri economici

All'interno dello strumento di calcolo è stata sviluppata un'interfaccia grafica per la variazione percentuale delle voci di costo. Dello stesso edificio di riferimento (RMF_E2_E) sono state eseguite otto ottimizzazioni con metodo di calcolo orario conseguenti alla modifica di ciascuna delle seguenti voci di costo relative a: misure di efficienza energetica (EEM) sull'involucro, EEM sull'impianto, vettori energetici (gas naturale ed elettricità) e tasso di interesse reale. Per ognuna delle categorie sopracitate è stato considerato un incremento ed un decremento percentuale. Tale variazione per i primi tre insiemi di costo è stata posta pari a $\pm 10\%$, invece per il tasso di interesse reale si è adottata una variazione assoluta, ottenendo in un caso l'indice pari al 3% e nell'altro uguale al 5% (si veda Tabella 6.194). Le ottimizzazioni sono state effettuate considerando il fabbisogno di energia termica per il riscaldamento e raffrescamento calcolato con la UNI EN ISO 52016-1 (metodo orario) [10], con la discretizzazione in nodi dei componenti di involucro opachi secondo l'approccio originale contenuto nella predetta norma e adottando una prospettiva finanziaria.

I risultati ottenuti dall'analisi parametrica consentono di quantificare la variazione percentuale del costo globale della soluzione *cost-optimal* (Tabella 6.195) e di visualizzare come variano i pacchetti ottimali delle misure di efficienza energetica (da Tabella 6.196 a Tabella 6.203).

Tabella 6.194 Categorie di costo considerate nell'analisi parametrica e relative variazioni.

Categoria di costo	Variazione
Involucro (EEM1 ÷ EEM6)	-10%
	+10%
Impianto (EEM7 ÷ EEM16)	-10%
	+10%
Vettori energetici (gas naturale, elettricità)	-10%
	+10%
Tasso di interesse (*)	-1%
	+1%
(*) variazione percentuale assoluta	

La modifica della soluzione *cost-optimal* avviene solamente per tre ottimizzazioni e riguarda le medesime misure di efficienza energetica: l'isolamento dell'involucro orizzontale superiore (EEM3) ed inferiore (EEM4). La variazione si palesa nei seguenti scenari: il decremento percentuale del -10% sui costi delle misure di efficienza energetica relative all'involucro (EEM1 ÷ EEM6); l'incremento del +10% sul costo dei vettori energetici (gas naturale ed elettricità); il decremento del tasso di interesse reale per attualizzare i flussi di cassa pari al 3%. In tutti e tre i casi la variazione è minima, in quanto si passa ad un livello di efficienza energetica superiore, rispettivamente da EEM3.2 a EEM3.3 e da EEM4.4 a EEM4.5. In termini energetici tale incremento di classe implica il passaggio da una trasmittanza termica di $0,32 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ a $0,26 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ per l'intervento di coibentazione della copertura, e da $0,48 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ a $0,32 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ per l'isolamento dell'involucro orizzontale inferiore (al netto del fattore di correzione dello scambio di energia termica fra ambienti climatizzato e non climatizzato, b_{tru}).

L'edificio monofamiliare RMF_E2_E ubicato a Milano con destinazione d'uso residenziale, presenta un solaio inferiore confinante con un ambiente non climatizzato (cantine) ed una copertura inclinata confinante con l'ambiente esterno. Dal punto di vista economico le predette misure di efficienza energetica (EEM3 e EEM4) risultano le più economiche rispetto alle altre soluzioni di riqualificazione riguardanti l'involucro. Inoltre, la

somma della superficie disperdente del solaio di copertura e del solaio verso le cantine sul valore totale dell'involucro edilizio è prossima al 50%.

Pertanto, definito il contesto, nel caso in cui si verifichi un decremento del -10% sugli importi unitari relativi all'involucro, risulta più conveniente investire su livelli di isolamento termico maggiori che garantiscono anche maggiori benefici (misure EEM3 e EEM4). Tale considerazione è attuabile anche agli altri due scenari che modificano la soluzione *cost-optimal*. In un caso si ha un incremento del costo dell'energia, pertanto la logica impone di contenere i consumi isolando maggiormente. Nel secondo caso si registra la medesima tendenza diminuendo il tasso di interesse reale dal 4% al 3%.

Ragionando sul costo globale, la tendenza complessiva è in linea con quanto auspicato: un decremento del costo globale al diminuire dell'importo economico delle singole voci e un aumento della medesima voce di costo all'aumentare degli importi unitari. Ciò che determina, in valore assoluto, la variazione maggiore riguarda giustamente lo scenario in cui si è mutato il tasso di interesse reale, in quanto questo indice attualizzerà i flussi di cassa di tutte le categorie di costo: costi di investimento, costi di manutenzione, costi di sostituzione e costo dei vettori energetici. Al contrario, invece, ciò che determina in valore assoluto una variazione percentuale inferiore risulta la mutazione dei prezzi unitari relativi all'impianto.

Tabella 6.195 Variazione del costo globale della soluzione *cost-optimal* per ciascuno scenario dell'analisi parametrica.

Scenario dell'analisi parametrica (categoria di costo)	Costo globale [€/m ²]	$(Costo_{gl} - Costo_{gl,ref})/Costo_{gl,ref}$ [%]
Involucro (EEM1 ÷ EEM6) -10%	€ 316	-3,1%
Involucro (EEM1 ÷ EEM6) +10%	€ 335	2,6%
Impianto (EEM7 ÷ EEM16) -10%	€ 321	-1,5%
Impianto (EEM7 ÷ EEM16) +10%	€ 331	1,5%
Vettori energetici -10%	€ 313	-4,1%
Vettori energetici +10%	€ 338	3,7%
Tasso di interesse -1%	€ 353	8,3%
Tasso di interesse +1%	€ 302	-7,4%

*Con " $Costo_{gl,ref}$ " si intende il costo determinato con la procedura di ottimizzazione descritta nella sezione 6.3.

Tabella 6.196 Edificio RMF_E2_E – Confronto tra le soluzioni *cost-optimal* dell'analisi parametrica – Scenario: *Involucro -10%*.

EDIFICIO MONOFAMILIARE – ESISTENTE 1977-90 – zona E (RMF_E2_E)								
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Ottimale di riferimento		Ottimale scenario <i>Involucro -10%</i>	
					Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica [$W \cdot m^{-2} K^{-1}$]	U_p	-	-	-	-	-
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica [$W \cdot m^{-2} K^{-1}$]	U_p	0,76	0,27	2	0,27	2
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica [$W \cdot m^{-2} K^{-1}$]	U_r	1,14	0,32	2	0,26	3
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica [$W \cdot m^{-2} K^{-1}$] [equivalente, solaio su cantina (b=0,60)]	U_r	0,49	0,29	4	0,19	5
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica [$W \cdot m^{-2} K^{-1}$]	U_w	2,80	2,80	1	2,80	1
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	assenti	assenti	1	assenti	1
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2,35	2,35	1	2,35	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	-	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	-	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	0,73	1,00	3	1,00	3
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-		-	
12	Impianto solare termico	Superficie dei collettori solari [m^2]	A_{coll}	assente	assente	1	assente	1
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata [kW]	P_p	assente	2,04	4	2,04	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r					
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	C	ZC	4	ZC	4
16	Riqualficazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata [$W \cdot m^{-2}$]	P_N					
		Fattore del profilo di occupazione	F_O					
		Fattore di illuminamento costante	F_C					
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D					

Tabella 6.197 Edificio RMF_E2_E – Confronto tra le soluzioni *cost-optimal* dell'analisi parametrica – Scenario: *Involucro +10%*.

EDIFICIO MONOFAMILIARE – ESISTENTE 1977-90 – zona E (RMF_E2_E)								
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Ottimale di riferimento		Ottimale scenario <i>Involucro +10%</i>	
					Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica [$W \cdot m^{-2} K^{-1}$]	U_p	-	-	-	-	-
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica [$W \cdot m^{-2} K^{-1}$]	U_p	0,76	0,27	2	0,27	2
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica [$W \cdot m^{-2} K^{-1}$]	U_r	1,14	0,32	2	0,32	2
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica [$W \cdot m^{-2} K^{-1}$] [equivalente, solaio su cantina (b=0,60)]	U_r	0,49	0,29	4	0,29	4
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica [$W \cdot m^{-2} K^{-1}$]	U_w	2,80	2,80	1	2,80	1
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	assenti	assenti	1	assenti	1
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2,35	2,35	1	2,35	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	-	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,pn,w}$	-	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	0,73	1,00	3	1,00	3
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-		-	
12	Impianto solare termico	Superficie dei collettori solari [m^2]	A_{coll}	assente	assente	1	assente	1
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata [kW]	P_p	assente	2,04	4	2,04	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r					
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	C	ZC	4	ZC	4
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata [$W \cdot m^{-2}$]	P_N					
		Fattore del profilo di occupazione	F_O					
		Fattore di illuminamento costante	F_C					
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D					

Tabella 6.198 Edificio RMF_E2_E – Confronto tra le soluzioni *cost-optimal* dell'analisi parametrica – Scenario impianto -10%.

EDIFICIO MONOFAMILIARE – ESISTENTE 1977-90 – zona E (RMF_E2_E)								
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Ottimale di riferimento		Ottimale scenario Impianto -10%	
					Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica [$W \cdot m^{-2} K^{-1}$]	U_p	-	-	-	-	-
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica [$W \cdot m^{-2} K^{-1}$]	U_p	0,76	0,27	2	0,27	2
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica [$W \cdot m^{-2} K^{-1}$]	U_r	1,14	0,32	2	0,32	2
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica [$W \cdot m^{-2} K^{-1}$] [equivalente, solaio su cantina (b=0,60)]	U_r	0,49	0,29	4	0,29	4
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica [$W \cdot m^{-2} K^{-1}$]	U_w	2,80	2,80	1	2,80	1
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	assenti	assenti	1	assenti	1
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2,35	2,35	1	2,35	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	-	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	-	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	0,73	1,00	3	1,00	3
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-		-	
12	Impianto solare termico	Superficie dei collettori solari [m^2]	A_{coll}	assente	assente	1	assente	1
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata [kW]	P_p	assente	2,04	4	2,04	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r					
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	C	ZC	4	ZC	4
16	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata [$W \cdot m^{-2}$]	P_N					
		Fattore del profilo di occupazione	F_O					
		Fattore di illuminamento costante	F_C					
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D					

Tabella 6.199 Edificio RMF_E2_E – Confronto tra le soluzioni *cost-optimal* dell'analisi parametrica – Scenario impianto +10%.

EDIFICIO MONOFAMILIARE – ESISTENTE 1977-90 – zona E (RMF_E2_E)								
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Ottimale di riferimento		Ottimale scenario Impianto +10%	
					Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica [$W \cdot m^{-2}K^{-1}$]	U_p	-	-	-	-	-
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica [$W \cdot m^{-2}K^{-1}$]	U_p	0,76	0,27	2	0,27	2
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica [$W \cdot m^{-2}K^{-1}$]	U_r	1,14	0,32	2	0,32	2
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica [$W \cdot m^{-2}K^{-1}$] [equivalente, solaio su cantina (b=0,60)]	U_r	0,49	0,29	4	0,29	4
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica [$W \cdot m^{-2}K^{-1}$]	U_w	2,80	2,80	1	2,80	1
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	assenti	assenti	1	assenti	1
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2,35	2,35	1	2,35	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	-	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	-	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	0,73	1,00	3	1,00	3
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-		-	
12	Impianto solare termico	Superficie dei collettori solari [m^2]	A_{coll}	assente	assente	1	assente	1
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata [kW]	P_p	assente	2,04	4	2,04	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r					
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	C	ZC	4	ZC	4
16	Riquilificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata [$W \cdot m^{-2}$]	P_N					
		Fattore del profilo di occupazione	F_O					
		Fattore di illuminamento costante	F_C					
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D					

Tabella 6.200 Edificio RMF_E2_E – Confronto tra le soluzioni *cost-optimal* dell'analisi parametrica – Scenario vettori energetici -10%.

EDIFICIO MONOFAMILIARE – ESISTENTE 1977-90 – zona E (RMF_E2_E)								
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Ottimale di riferimento		Ottimale scenario Vettori energetici -10%	
					Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\text{K}^{-1}$]	U_p	-	-	-	-	-
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\text{K}^{-1}$]	U_p	0,76	0,27	2	0,27	2
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\text{K}^{-1}$]	U_r	1,14	0,32	2	0,32	2
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\text{K}^{-1}$] [equivalente, solaio su cantina (b=0,60)]	U_r	0,49	0,29	4	0,29	4
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\text{K}^{-1}$]	U_w	2,80	2,80	1	2,80	1
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	assenti	assenti	1	assenti	1
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2,35	-	-	-	-
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	-	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	-	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	0,73	1,00	3	1,00	3
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-		-	
12	Impianto solare termico	Superficie dei collettori solari [m^2]	A_{coll}	assente	assente	1	assente	1
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata [kW]	P_p	assente	2,04	4	2,04	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r					
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	C	ZC	4	ZC	4
16	Riqualficazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]	P_N					
		Fattore del profilo di occupazione	F_o					
		Fattore di illuminamento costante	F_c					
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D					

Tabella 6.201 Edificio RMF_E2_E – Confronto tra le soluzioni *cost-optimal* dell'analisi parametrica – Scenario vettori energetici +10%.

EDIFICIO MONOFAMILIARE – ESISTENTE 1977-90 – zona E (RMF_E2_E)								
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Ottimale di riferimento		Ottimale scenario Vettori energetici +10%	
					Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica [W·(m ² K ⁻¹)]	U_p	-	-	-	-	-
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica [W·(m ² K ⁻¹)]	U_p	0,76	0,27	2	0,27	2
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica [W·(m ² K ⁻¹)]	U_r	1,14	0,32	2	0,26	3
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica [W·(m ² K ⁻¹)] [equivalente, solaio su cantina (b=0,60)]	U_r	0,49	0,29	4	0,19	5
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica [W·(m ² K ⁻¹)]	U_w	2,80	2,80	1	2,80	1
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	assenti	assenti	1	assenti	1
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2,35	2,35	1	2,35	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	-	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	-	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	0,73	1,00	3	1,00	3
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-		-	
12	Impianto solare termico	Superficie dei collettori solari [m ²]	A_{coll}	assente	assente	1	assente	1
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata [kW]	P_p	assente	2,04	4	2,04	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r					
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	C	ZC	4	ZC	4
16	Riquilibrificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata [W·m ⁻²]	P_N					
		Fattore del profilo di occupazione	F_o					
		Fattore di illuminamento costante	F_c					
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D					

Tabella 6.202 Edificio RMF_E2_E – Confronto tra le soluzioni *cost-optimal* dell'analisi parametrica – Scenario tasso di interesse -1%.

EDIFICIO MONOFAMILIARE – ESISTENTE 1977-90 – zona E (RMF_E2_E)								
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Ottimale di riferimento		Ottimale scenario Tasso di interesse -1%	
					Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica [W·(m ² K ⁻¹)]	U_p	-	-	-	-	-
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica [W·(m ² K ⁻¹)]	U_p	0,76	0,27	2	0,27	2
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica [W·(m ² K ⁻¹)]	U_r	1,14	0,32	2	0,26	3
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica [W·(m ² K ⁻¹)] [equivalente, solaio su cantina (b=0,60)]	U_r	0,49	0,29	4	0,19	5
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica [W·(m ² K ⁻¹)]	U_w	2,80	2,80	1	2,80	1
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	assenti	assenti	1	assenti	1
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2,35	2,35	1	2,35	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	-	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	-	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	0,73	1,00	3	1,00	3
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-		-	
12	Impianto solare termico	Superficie dei collettori solari [m ²]	A_{coll}	assente	assente	1	assente	1
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata [kW]	P_p	assente	2,04	4	2,04	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r					
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	C	ZC	4	ZC	4
16	Riqualficazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata [W·m ⁻²]	P_N					
		Fattore del profilo di occupazione	F_O					
		Fattore di illuminamento costante	F_C					
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D					

Tabella 6.203 Edificio RMF_E2_E – Confronto tra le soluzioni *cost-optimal* dell'analisi parametrica – Scenario tasso di interesse +1%.

EDIFICIO MONOFAMILIARE – ESISTENTE 1977-90 – zona E (RMF_E2_E)								
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore stato di fatto	Ottimale di riferimento		Ottimale scenario <i>Tasso di interesse +1%</i>	
					Valore ottimale	N. EEO	Valore ottimale	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna: sistema a cappotto	Trasmittanza termica [W·(m ² K ⁻¹)]	U_p	-	-	-	-	-
2	Isolamento termico della parete esterna: isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica [W·(m ² K ⁻¹)]	U_p	0,76	0,27	2	0,27	2
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica [W·(m ² K ⁻¹)]	U_r	1,14	0,32	2	0,32	2
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica [W·(m ² K ⁻¹)] [equivalente, solaio su cantina (b=0,60)]	U_r	0,49	0,29	4	0,29	4
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica [W·(m ² K ⁻¹)]	U_w	2,80	2,80	1	2,80	1
6	Sistemi di schermatura solare	Schermatura fissa (1) o mobile (2)	-	assenti	assenti	1	assenti	1
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2,35	2,35	1	2,35	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	-	-	-	-	-
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	-	-	-	-	-
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	0,73	1,00	3	1,00	3
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	-	-	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-		-	
12	Impianto solare termico	Superficie dei collettori solari [m ²]	A_{coll}	assente	assente	1	assente	1
13	Sistema fotovoltaico	Potenza di picco installata [kW]	P_p	assente	2,04	4	2,04	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore	η_r					
15	Sistema di regolazione avanzato	Climatica (C), zona (Z), ambiente (A), zona + climatica (ZC)	-	C	ZC	4	ZC	4
16	Riquilibrificazione dell'impianto di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione installata [W·m ⁻²]	P_N					
		Fattore del profilo di occupazione	F_o					
		Fattore di illuminamento costante	F_c					
		Fattore della disponibilità di luce naturale	F_D					

6.6 Edifici NZEB

Il pacchetto di misure di efficienza energetica ottimale dal punto di vista dei costi non corrisponde necessariamente alla configurazione energeticamente più efficiente né ad una configurazione conforme ai requisiti prescritti dal D.M. 26/06/2015 [1] per l'edificio a energia quasi zero (NZEB).

I requisiti minimi dell'NZEB non vengono stabiliti mediante parametri prefissati, ma sono definiti con l'approccio dell'edificio di riferimento; sono possibili, perciò, diverse combinazioni delle misure di efficienza energetica in grado di determinare il rispetto dei requisiti minimi.

Di seguito nelle Sezioni 6.6.1 e 6.6.2, una volta definiti i requisiti richiesti per l'NZEB in funzione dell'edificio di riferimento, verrà descritta la procedura impiegata per costruire la soluzione NZEB a partire dalla soluzione *cost-optimal* risultante dalla procedura di ottimizzazione (con metodo di calcolo orario) di cui alla Sezione 6.3. Tale metodologia è stata applicata a due casi scelti tra i precedentemente descritti ed analizzati (RPC_E2_E e UFF_NO_B), differenti per destinazione d'uso, periodo di costruzione e zona climatica, analizzando le differenze in termini di costo globale e di combinazione di EEM; i risultati sono proposti nella Sezione 6.6.3.

6.6.1 Requisiti minimi

Vengono definiti, seguendo quanto indicato dal D.M. 26/06/2015 [1], come "edifici a energia quasi zero" tutti gli edifici di nuova costruzione o esistenti che rispettano i parametri indicati in Tabella 6.204 e di seguito descritti:

- H'_T – Coefficiente medio globale di scambio termico per unità di superficie disperdente, come definito nel paragrafo 2.1 dell'Allegato A del D.M. 26/06/2015 [1];
- $A_{sol,est} \cdot A_f^{-1}$ – Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile, come definita nel paragrafo 2.2 dell'Allegato A del D.M. 26/06/2015 [1];
- $EP_{H,nd}$ – indice di prestazione termica utile per riscaldamento;
- $EP_{C,nd}$ – indice di prestazione termica utile per raffrescamento;
- $EP_{gl,tot}$ – indice di prestazione energetica globale dell'edificio riferito in funzione dell'energia primaria totale;
- $\eta_{H,tot}$ – efficienza media stagionale dell'impianto di climatizzazione invernale;
- $\eta_{C,tot}$ – efficienza media stagionale dell'impianto di climatizzazione estiva;
- $\eta_{W,tot}$ – efficienza media stagionale dell'impianto di produzione dell'acqua calda sanitaria;
- RER_W – percentuale di energia prodotta da fonti rinnovabili per la copertura dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria;
- RER_{H+C+W} – percentuale di energia prodotta da fonti rinnovabili per la copertura dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffrescamento.

Tenendo conto delle procedure di calcolo di tali parametri, è possibile distinguere due differenti categorie. La prima, indicata in Tabella 6.204 con la colorazione blu, in cui la determinazione dei parametri è dipendente unicamente dalle caratteristiche geografiche, dell'involucro e della categoria di edificio; la seconda, indicata in Tabella 6.204 con la colorazione arancione, in cui la determinazione dei parametri è invece dipendente dalle caratteristiche geografiche e dell'intero edificio, tenendo quindi anche conto dell'influenza dei sistemi impiantistici.

Tabella 6.204 – Requisiti minimi dell'edificio a energia quasi zero (D.M. 26/06/2015) [1].

Parametro	Unità di misura	Riferimento legislativo	Limite
H'_T	$[W \cdot m^{-2} K^{-1}]$	D.M. 26/06/2015 [1]	Definito in funzione del fattore di forma e della zona climatica
$A_{sol,est} \cdot A_f^{-1}$	[-]	D.M. 26/06/2015 [1]	Definito in funzione della categoria di edificio
$EP_{H,nd}$	$[kWh \cdot m^{-2} a^{-1}]$	D.M. 26/06/2015 [1]	Definito con l'edificio di riferimento (Limite 2019/2021)
$EP_{C,nd}$	$[kWh \cdot m^{-2} a^{-1}]$	D.M. 26/06/2015 [1]	Definito con l'edificio di riferimento (Limite 2019/2021)
$EP_{gl,tot}$	$[kWh \cdot m^{-2} a^{-1}]$	D.M. 26/06/2015 [1]	Definito con l'edificio di riferimento (Limite 2019/2021)
$\eta_{H,tot}$	[-]	D.M. 26/06/2015 [1]	Definito con l'edificio di riferimento (Limite 2019/2021)
$\eta_{C,tot}$	[-]	D.M. 26/06/2015 [1]	Definito con l'edificio di riferimento (Limite 2019/2021)
$\eta_{W,tot}$	[-]	D.M. 26/06/2015 [1]	Definito con l'edificio di riferimento (Limite 2019/2021)
RER_W	[%]	Decreto Legislativo 3 marzo 2011, n. 28 [27]	50%
RER_{H+C+W}	[%]	Decreto Legislativo 3 marzo 2011, n. 28 [27]	50%

6.6.2 Determinazione della soluzione NZEB

Al fine di determinare la combinazione delle EEM che verifica il target NZEB si è proceduto utilizzando un algoritmo, esemplificato nella Figura 6.1 e di seguito descritto.

Il primo passo consiste nella verifica del rispetto dei requisiti NZEB da parte della soluzione *cost-optimal*; tale verifica, in ottemperanza al decreto ministeriale, viene eseguita utilizzando il metodo di calcolo in condizioni quasi-stazionarie (serie UNI/TS 11300 [5]-[9]). Nel caso l'esito sia positivo, la procedura termina in quanto la soluzione analizzata risulta essere contemporaneamente *cost-optimal* e ad energia quasi-zero. Nel caso in cui sia negativo, si procede modificando i livelli (EEO) riferiti alle misure relative all'involucro, ossia le misure EEM1 ÷ EEM6, incrementando gli EEO fino a raggiungere valori equivalenti o migliorativi rispetto ai requisiti minimi dell'edificio di riferimento. Poiché alcuni parametri non sono direttamente dipendenti dall'edificio di riferimento e, in aggiunta, le trasmittanze dell'edificio di riferimento sono già comprensive dei ponti termici, l'utilizzo di valori equivalenti ai requisiti minimi potrebbe portare a verifiche non soddisfatte.

Si procede quindi alla verifica dei requisiti minimi di cui alla prima categoria (celle blu) della Tabella 6.204. Nel caso in cui la verifica non sia soddisfatta, vengono selezionati i livelli via via più efficienti, dando priorità alle misure relative all'involucro aventi il più basso costo di investimento (isolamento termico dei componenti orizzontali, EEM3 e EEM4). Successivamente, per i componenti impiantistici (di cui ai requisiti nelle celle arancioni della Tabella 6.204), si procede sostituendo il generatore di calore a combustione, se presente per il servizio di riscaldamento, con una pompa di calore. Al fine di non attuare modifiche sostanziali rispetto alla soluzione *cost-optimal*, si è ritenuto opportuno non modificare la combinazione dei generatori utilizzati per i vari servizi; esemplificando, se nella combinazione ottimale sono presenti un generatore impiegato per i servizi di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria ed un secondo generatore a servizio del raffrescamento, vengono incrementati gli EEO delle misure EEM7 ed EEM10, senza selezionare le misure EEM8, EEM9 ed EEM11.

Soddisfatti tutti i requisiti NZEB con la nuova configurazione di EEM e EEO, la procedura si conclude con il ricalcolo degli indicatori energetici ed economici, utilizzando il metodo di calcolo orario dei fabbisogni di energia termica secondo UNI EN ISO 52016-1.

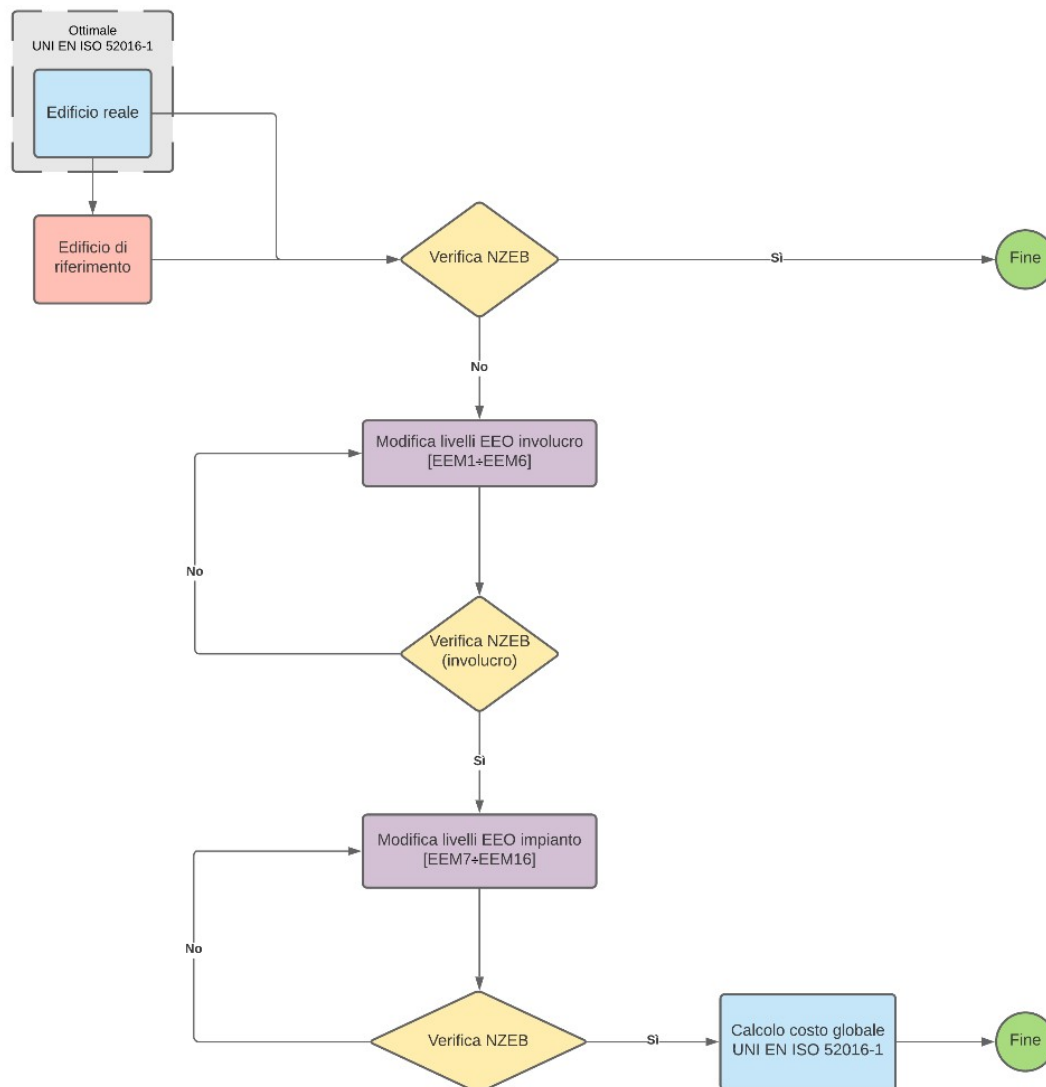


Figura 6.41 - Procedura di determinazione della combinazione NZEB.

6.6.3 Risultati

Si riportano di seguito i risultati ottenuti per gli edifici RPC_E2_E e UFF_NO_B.

Caso studio	RPC_E2_E
Combinazione	Ottimale UNI EN ISO 52016-1
Costo Globale [€]	262.584 €
Costo Globale [€/m ²]	241 €

$EP_{gl,ren}$	[kWh·m ⁻² ·a ⁻¹]	85,9
CLASSE ENERGETICA		B

	Test	Parameter value
Opt - EEM1 Cappotto	1	SDF
Opt - EEM2 Insufflaggio	0	-
Opt - EEM3 Tetto	5	0,29 W·(m ² K ⁻¹)
Opt - EEM4 Pavimento	4	0,29 W·(m ² K ⁻¹)
Opt - EEM5 Serramenti	1	SDF
Opt - EEM6 Tende esterne	1	SDF
Opt - EEM7 Chiller	1	SDF
Opt - EEM8 Heating (H)	3	$\eta_{gn} = 1$
Opt - EEM9 DHW	2	$\eta_{gn,pn,W} = 0,93$
Opt - EEM10 H + DHW	0	-
Opt - EEM11 HP	0	-
Opt - EEM12 Solare	3	12 m ²
Opt - EEM13 PV	4	9,6 kW _p
Opt - EEM14 Recuperatore	0	-
Opt - EEM15 Regolazione	4	$\eta_{ctr} = 3$
Opt - EEM16 Illuminazione	0	-
Opt - EEM17 Illuminazione	0	-

		Edificio	Edificio rif.	Requisito	Verifica edificio
$S \cdot V^{-1}$	[m ³]	0,48	0,48	-	-
H'_T	[W·(m ² K ⁻¹)]	0,78	0,34	0,55	FALSO
$A_{sol,est} \cdot A_T^{-1}$	[-]	0,040	0,018	0,03	FALSO

		Edificio	Edificio rif.	Requisito	Verifica edificio
$EP_{H,nd}$	[kWh·(m ² a ⁻¹)]	63,0	22,0	-	FALSO
$EP_{C,nd}$	[kWh·(m ² a ⁻¹)]	15,0	13,9	-	FALSO
$EP_{gl,tot}$	[kWh·(m ² a ⁻¹)]	108,0	72,3	-	FALSO
$\eta_{H,tot}$	[-]	0,81	0,65	-	VERO
$\eta_{C,tot}$	[-]	1,41	1,28	-	VERO
$\eta_{W,tot}$	[-]	0,84	0,59	-	VERO
RER_W	[%]	46%	-	50%	FALSO
RER_{H+C+W}	[%]	16%	-	50%	FALSO

Figura 6.42 – Edificio RPC_E2_E - Verifica della soluzione *cost-optimal* rispetto ai requisiti minimi di un NZEB e classe energetica.

La configurazione *cost-optimal* del caso RPC_E2_E, come rappresentato in Figura 6.42, risulta essere conforme ai requisiti NZEB solo rispetto alle efficienze medie stagionali degli impianti. Non essendo rispettati né i parametri riferiti all'involucro, né i limiti sugli indici di prestazione sono state necessarie modifiche sostanziali dei livelli di efficienza delle misure previste, come esplicitato in Figura 6.43. In particolare, le limitate percentuali di copertura da fonti rinnovabili (*RER*) hanno imposto incrementi di efficienza alle opzioni riferite alla produzione di energia solare termica e fotovoltaica. In particolare, è stato aggiunto il livello EEO5 per la misura EEM13, non considerato nelle procedure di ottimizzazione, in quanto necessario per il soddisfacimento dei requisiti minimi.

Caso studio	RPC_E2_E
Combinazione	NZEB
Costo Globale [€]	425.159 €
Costo Globale [€/m ²]	391 €

$EP_{gl,ren}$	[kWh·m ⁻² ·a ⁻¹]	18,8
CLASSE ENERGETICA		A4

	Test	Parameter value
Opt - EEM1 <i>Cappotto</i>	5	0,19 W·(m ² ·K ⁻¹)
Opt - EEM2 <i>Insufflaggio</i>	0	-
Opt - EEM3 <i>Tetto</i>	5	0,29 W·(m ² ·K ⁻¹)
Opt - EEM4 <i>Pavimento</i>	5	0,19 W·(m ² ·K ⁻¹)
Opt - EEM5 <i>Serramenti</i>	4	1,40 W·(m ² ·K ⁻¹)
Opt - EEM6 <i>Tende esterne</i>	3	movable
Opt - EEM7 <i>Chiller</i>	3	EER = 3
Opt - EEM8 <i>Heating (H)</i>	5	$\eta_{gn} = 4,1$
Opt - EEM9 <i>DHW</i>	3	$\eta_{gn,pn,w} = 1$
Opt - EEM10 <i>H + DHW</i>	0	-
Opt - EEM11 <i>HP</i>	0	-
Opt - EEM12 <i>Solare</i>	4	17 m ²
Opt - EEM13 <i>PV</i>	5	11,5 kW _p
Opt - EEM14 <i>Recuperatore</i>	0	-
Opt - EEM15 <i>Regolazione</i>	4	$\eta_{ctr} = 3$
Opt - EEM16 <i>Illuminazione</i>	0	-
Opt - EEM17 <i>Illuminazione</i>	0	-

		Edificio	Edificio rif.	Requisito	Verifica edificio
$S \cdot V^{-1}$	[m ⁻¹]	0,48	0,48	-	-
H'_t	[W·(m ² ·K ⁻¹)]	0,32	0,34	0,55	VERO
$A_{sol,est} \cdot A_f^{-1}$	[-]	0,010	0,018	0,03	VERO

		Edificio	Edificio rif.	Requisito	Verifica edificio
$EP_{H,nd}$	[kWh·(m ² ·a ⁻¹)]	21,8	22,0	-	VERO
$EP_{C,nd}$	[kWh·(m ² ·a ⁻¹)]	12,0	13,9	-	VERO
$EP_{gl,tot}$	[kWh·(m ² ·a ⁻¹)]	59,7	76,5	-	VERO
$\eta_{H,tot}$	[-]	0,68	0,58	-	VERO
$\eta_{C,tot}$	[-]	1,35	1,28	-	VERO
$\eta_{W,tot}$	[-]	0,85	0,59	-	VERO
RER_W	[%]	61%	-	50%	VERO
RER_{H+C+W}	[%]	69%	-	50%	VERO

Figura 6.43 – Edificio RPC_E2_E - Soluzione NZEB con verifica dei requisiti minimi e classe energetica.

Caso studio	UFF_N0_B
Combinazione	Ottimale UNI EN ISO 52016-1
Costo Globale [€]	639.576 €
Costo Globale [€/m ²]	421 €

$EP_{gl,nren}$	[kWh.m ⁻² a ⁻¹]	64,9
CLASSE ENERGETICA		A1

	Test	Parameter value
Opt - EEM1 Cappotto	1	1,50 W.(m ² K ⁻¹)
Opt - EEM2 Insufflaggio	0	-
Opt - EEM3 Tetto	3	0,38 W.(m ² K ⁻¹)
Opt - EEM4 Pavimento	1	1,88 W.(m ² K ⁻¹)
Opt - EEM5 Serramenti	1	5,00 W.(m ² K ⁻¹)
Opt - EEM6 Tende esterne	2	movable
Opt - EEM7 Chiller	0	-
Opt - EEM8 Heating (H)	0	-
Opt - EEM9 DHW	0	-
Opt - EEM10 H + DHW	0	-
Opt - EEM11 HP	2	COP = 3,5 EER = 3,2
Opt - EEM12 Solare	1	2 m ²
Opt - EEM13 PV	3	13,2 kW _p
Opt - EEM14 Recuperatore	1	$\eta_r = 0,6$
Opt - EEM15 Regolazione	3	$\eta_{ctr} = 3$
Opt - EEM16 Illuminazione	2	$P_N = 6 \text{ W.m}^{-2}$
Opt - EEM17 Illuminazione	0	-

		Edificio	Edificio rif.	Requisito	Verifica edificio
S, V^{-1}	[m ⁻¹]	0,35	0,35	-	-
H'_T	[W.(m ² K ⁻¹)]	1,99	0,94	0,80	FALSO
$A_{sol,est} \cdot A_f^{-1}$	[-]	0,050	0,061	0,04	FALSO

		Edificio	Edificio rif.	Requisito	Verifica edificio
$EP_{H,nd}$	[kWh.(m ² a ⁻¹)]	32,0	5,5	-	FALSO
$EP_{C,nd}$	[kWh.(m ² a ⁻¹)]	30,0	49,7	-	VERO
$EP_{gl,tot}$	[kWh.(m ² a ⁻¹)]	108,8	104,3	-	FALSO
$\eta_{H,tot}$	[-]	0,67	0,54	-	VERO
$\eta_{C,tot}$	[-]	1,25	0,88	-	VERO
$\eta_{W,tot}$	[-]	0,19	0,17	-	VERO
RER_W	[%]	47%	-	50%	FALSO
RER_{H+C+W}	[%]	53%	-	50%	VERO

Figura 6.44 - Edificio UFF_N0_B - Verifica della soluzione *cost-optimal* rispetto ai requisiti minimi di un NZEB e classe energetica.

L'edificio analizzato, nella configurazione *cost-optimal*, come rappresentato in Figura 6.44, risulta avere delle parziali conformità rispetto ai requisiti minimi di un NZEB. I parametri riferiti all'involucro e gli indici di prestazione energetica risultano essere verificati o comunque vicini ai minimi prescritti. Per tale motivo sono state attuate variazioni principalmente alle misure inerenti all'involucro, con modifiche minime al sistema di generazione, come esplicitato in Figura 6.45. Si è reso necessario un incremento minimo dell'opzione riferita alla produzione di energia solare termica, in quanto la percentuale di copertura da fonti rinnovabili (*RER*) è già vicina al requisito minimo nella soluzione *cost-optimal*. Come nel precedente caso, al fine di rispettare i limiti, è stato necessario implementare alcuni livelli aggiuntivi di prestazione, in particolare i livelli EEO3 e EEO4 rispettivamente delle misure EEM11 ed EEM13, non precedentemente considerati nella procedura di ottimizzazione.

Caso studio	RPC_E2_E
Combinazione	NZEB
Costo Globale [€]	644.572 €
Costo Globale [€/m ²]	424 €

$EP_{g,ren}$	[kWh·m ⁻² ·a ⁻¹]	27,3
CLASSE ENERGETICA		A3

	Test	Parameter value
Opt - EEM1 Cappotto	4	0,43 W·(m ² ·K ⁻¹)
Opt - EEM2 Insufflaggio	0	-
Opt - EEM3 Tetto	4	0,35 W·(m ² ·K ⁻¹)
Opt - EEM4 Pavimento	4	0,55 W·(m ² ·K ⁻¹)
Opt - EEM5 Serramenti	5	1,60 W·(m ² ·K ⁻¹)
Opt - EEM6 Tende esterne	2	movable
Opt - EEM7 Chiller	0	-
Opt - EEM8 Heating (H)	0	-
Opt - EEM9 DHW	0	-
Opt - EEM10 H + DHW	0	-
Opt - EEM11 HP	3	COP = 4,0 EER = 3,7
Opt - EEM12 Solare	1	2 m ²
Opt - EEM13 PV	4	25 kW _p
Opt - EEM14 Recuperatore	1	$\eta_r = 0,6$
Opt - EEM15 Regolazione	3	$\eta_{cr} = 3$
Opt - EEM16 Illuminazione	2	$P_N = 6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
Opt - EEM17 Illuminazione	0	-

		Edificio	Edificio rif.	Requisito	Verifica edificio
$S \cdot V^{-1}$	[m ⁻¹]	0,35	0,35	-	-
H'_t	[W·(m ² ·K ⁻¹)]	0,68	0,94	0,80	VERO
$A_{sol,est} \cdot A_t^{-1}$	[-]	0,031	0,061	0,04	VERO

		Edificio	Edificio rif.	Requisito	Verifica edificio
$EP_{H,nd}$	[kWh·(m ² ·a ⁻¹)]	2,0	5,5	-	VERO
$EP_{C,nd}$	[kWh·(m ² ·a ⁻¹)]	36,0	49,7	-	VERO
$EP_{g,tot}$	[kWh·(m ² ·a ⁻¹)]	58,0	104,3	-	VERO
$\eta_{H,tot}$	[-]	0,77	0,54	-	VERO
$\eta_{C,tot}$	[-]	1,38	0,88	-	VERO
$\eta_{W,tot}$	[-]	0,23	0,17	-	VERO
RER_W	[%]	67%	-	50%	VERO
RER_{H+C+W}	[%]	52%	-	50%	VERO

Figura 6.45 - Edificio UFF_NO_B - Soluzione NZEB con verifica dei requisiti minimi e classe energetica.

Analizzando i risultati in termini di costo globale appare evidente la differenza tra i due edifici considerati: si verifica un incremento di costo rispetto alla soluzione *cost-optimal* del 62% per il caso RPC_E2_E e dell'1% per il caso UFF_NO_B. Tale variazione risulta compatibile con le classi energetiche risultanti dalle combinazioni ottimali, infatti il primo caso risulta avere una classe B contro la classe A1 del secondo.

Analizzando poi le modifiche agli EEM interessanti l'involucro pare evidente un notevole incremento di tutti gli EEO, ciò è determinato dal fatto che il livello 4 dei vari EEO corrisponde ai valori dei parametri caratteristici del fabbricato dell'edificio di riferimento per la verifica dei requisiti NZEB. Risulta pertanto necessario ai fini del rispetto dei requisiti minimi avere livelli pari o superiori a tali valori.

Per quanto concerne gli interventi riguardanti le misure di efficienza riferite ai sistemi impiantistici, è possibile notare modifiche più marginali.

L'analisi dei casi studio evidenzia la profonda differenza tra ciò che è *cost-optimal* e cosa è invece energeticamente più efficiente, sottolineando come non sempre il risparmio economico sia la scelta che conduce al maggiore risparmio energetico. È però da notare come, a seconda dei casi, le differenze in termini di costo globale tra le due soluzioni (*cost-optimal* e NZEB) possano essere esigue; futuri sviluppi potrebbero prevedere procedure di ottimizzazione che tengano conto anche della prestazione energetica valutando quindi dei minimi di accettabilità in termini di energia primaria o classe energetica.

7 Conclusioni

Dai risultati presentati emergono le seguenti considerazioni:

- Le differenze esistenti tra le soluzioni ottimali derivanti dall'applicazione del metodo orario semplificato della norma UNI EN ISO 52016-1 [10] e quelle derivanti dal metodo mensile quasi-stazionario, seppur non rilevanti, sono principalmente da imputare al diverso modello di trasmissione del calore attraverso i componenti edilizi. Inoltre, adottando un metodo di calcolo dinamico, l'effetto dell'inerzia termica è considerato al pari del reale comportamento dell'edificio, laddove nel metodo di calcolo in condizioni quasi-stazionarie si utilizzano invece parametri semplificati come i fattori di utilizzazione. La determinazione del fabbisogno di energia termica, oggetto della variazione di procedura di calcolo analizzata, costituisce solo una parte all'interno del calcolo della prestazione energetica complessiva dell'edificio. Dato che i metodi sono stati confrontati su base mensile, normalizzando pertanto le variazioni orarie estrapolate dalla procedura oraria, e data la notevole influenza in termini energetici dei sistemi impiantistici, le cui procedure di calcolo non hanno invece subito modifiche, non si registrano differenze rilevanti nel calcolo del costo globale e nella combinazione delle misure di efficienza energetica;
- la discretizzazione in nodi dei componenti dell'involucro opaco secondo la formulazione fornita dall'Appendice Nazionale della norma UNI EN ISO 52016-1 [13] risulta essere poco agevole come soluzione da associare alla procedura di ottimizzazione a causa dei lunghi tempi di calcolo. L'aumento di precisione di calcolo derivato da tale implementazione risulta non essere particolarmente rilevante per gli scopi del lavoro, avendo come obiettivo la determinazione dei fabbisogni energetici (e non dei carichi termici) dell'edificio, e comunque utilizzando modelli di calcolo su base mensile per la stima delle perdite di energia termica dei sottosistemi impiantistici;
- l'analisi di sensibilità ai parametri economici ha messo in evidenza principalmente due aspetti. Il primo è che la combinazione cost-optimal può subire variazioni al variare del costo di componenti e vettori energetici. La seconda considerazione è che il parametro economico che determina la maggior influenza sul costo globale è il tasso di sconto, poiché applicato nell'attualizzazione di tutte le categorie di costo considerate;
- gli edifici nella loro configurazione cost-optimal non presentano necessariamente soluzioni energeticamente efficienti. Per rendere gli edifici NZEB, partendo dai livelli di efficienza energetica cost-optimal, è necessario aumentare il grado di isolamento termico dell'involucro edilizio, nonché migliorare l'efficienza degli impianti e sfruttare maggiormente le fonti ad energia rinnovabile affinché si soddisfino i requisiti minimi del D.M. 26/06/2015 [1] e del Decreto Legislativo 3 marzo 2011, n. 28 [27].

8 Riferimenti bibliografici

- [1] Repubblica Italiana, “Decreto Ministeriale 26 giugno 2015. Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici”, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 162 del 15 luglio 2015, Supplemento Ordinario n. 39, luglio 2015.
- [2] Typology Approach for Building Stock Energy Assessment (TABULA), www.building-typology.eu/building-typology/country/it.
- [3] BEEPS Building Energy Environment Performance System: programma del Ministero dell'Ambiente e del Dipartimento di Fisica Tecnica dell'Università "La Sapienza" di Roma sulla certificazione energetica degli edifici esistenti.
- [4] E. Baldazzi, E. Beltrone, P. D'Alessandris, A. Mostacci, A. Mura, D. Napoleoni, F. Pasquino, A. Santangelo, A. Stemperini, F. Toso, “Rapporto sulla raccolta dati per la determinazione e caratterizzazione delle tipologie di impianto per il condizionamento invernale ed estivo negli edifici destinati a scuole ed uffici”, Report RdS/2013/141, Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA), settembre 2013.
- [5] Ente Italiano di Normazione, “UNI/TS 11300-1. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale”, ottobre 2014.
- [6] Ente Italiano di Normazione, “UNI/TS 11300-2. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali”, febbraio 2019.
- [7] Ente Italiano di Normazione, “UNI/TS 11300-3. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva”, marzo 2010.
- [8] Ente Italiano di Normazione, “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”, marzo 2016.
- [9] Ente Italiano di Normazione, “UNI/TS 11300-5. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 5: Calcolo dell'energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili”, marzo 2016.
- [10] Ente Italiano di Normazione, “UNI EN ISO 52016-1. Prestazione energetica degli edifici - Fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne e carichi termici sensibili e latenti - Parte 1: Procedure di calcolo”, marzo 2018.
- [11] V. Corrado, I. Ballarini, I. Ottati, S. Paduos, “Aggiornamento della metodologia comparativa cost-optimal secondo Direttiva 2010/31/UE”, Report RdS/2014/107, Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA), settembre 2014.
- [12] Ente Italiano di Normazione, “UNI EN 15459-1. Prestazione energetica degli edifici – Sistemi di riscaldamento e sistemi di raffrescamento idronici negli edifici – Parte 1: Procedura di valutazione economica per i sistemi energetici negli edifici, Modulo M1-14”, marzo 2018.
- [13] Comitato Termotecnico Italiano (CTI), “Documento n. 020200134, Bozza di Appendice Nazionale UNI EN ISO 52016-1”, gennaio 2022.
- [14] Commissione Europea, “Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico nell'edilizia”, dicembre 2002.
- [15] Commissione Europea, “Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia (EPBD recast)”, maggio 2010.

- [16] Commissione Europea, “Direttiva (UE) 2018/844 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 maggio 2018 che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell’edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull’efficienza energetica”, maggio 2018.
- [17] 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”, gennaio 2012.
- [18] V. Corrado, I. Ballarini I., G. De Luca, E. Primo, “Aggiornamento della metodologia comparativa per la determinazione dei livelli ottimali di prestazione energetica negli edifici”, Report RdS/PAR2017/141, Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l’Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA), settembre 2018.
- [19] Ente Italiano di Normazione, “UNI EN 15193. Prestazione energetica degli edifici – Requisiti energetici per l’illuminazione”, maggio 2008.
- [20] Ente Italiano di Normazione, “UNI 10349-1. Riscaldamento e raffrescamento degli edifici -Dati climatici - Parte 1: Medie mensili per la valutazione della prestazione termo-energetica dell'edificio e metodi per ripartire l'irradianza solare nella frazione diretta e diffusa e per calcolare l'irradianza solare su di una superficie inclinata”, marzo 2016.
- [21] Ente Italiano di Normazione, “UNI EN ISO 52003-1. Prestazione energetica degli edifici - Metodi per esprimere la prestazione energetica e per la certificazione energetica degli edifici”, marzo 2018.
- [22] Ente Italiano di Normazione, “UNI EN ISO 13790. Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento”, giugno 2008.
- [23] Assessment and improvement of the EPBD Impact (for new buildings and building renovation) – ASIEPI, www.asiepi.eu.
- [24] V. Corrado, I. Ballarini, S. P. Corgnati, “Building Typology Brochure – Italy. Fascicolo sulla Tipologia Edilizia Italiana. Nuova edizione”, Politecnico di Torino –Dipartimento Energia, luglio 2014.
- [25] Repubblica Italiana, “D.P.R. 26 agosto 1993, n. 412. Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n. 10”, agosto 1993.
- [26] M. Margiotta, G. Puglisi, “Caratterizzazione del parco edilizio nazionale – Determinazione dell’edificio tipo per uso ufficio”, Report RdS/2009/164, Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l’Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA), marzo 2009.
- [27] Repubblica Italiana, “Decreto Legislativo 3 marzo 2011, n. 28, Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE”, marzo 2011.
- [28] Ente Italiano di Normazione, “UNI EN 12237. Ventilazione degli edifici - Reti delle condotte -Resistenza e tenuta delle condotte circolari di lamiera metallica”, giugno 2004.
- [29] Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA), “Determinazione delle tariffe di riferimento provvisorie per i servizi di distribuzione e misura del gas, per l’anno 2018”, marzo 2018.
- [30] Repubblica Italiana, “Strategia Energetica Nazionale (SEN, 2017)”, novembre 2017.
- [31] Comitato Termotecnico Italiano (CTI), Anno tipo climatico, Milano, 2015.
- [32] Ente Italiano di Normazione, “UNI EN ISO 13370. Prestazione termica degli edifici - Trasferimento di calore attraverso il terreno - Metodi di calcolo”, marzo 2018.

9 Ringraziamenti

Si ringrazia l'EPB Center di Rotterdam (NL) per avere messo a disposizione i fogli di calcolo Excel per l'applicazione ufficiale della EN ISO 52016-1, sviluppati nell'ambito dell'attività di normazione internazionale dell'ISO TC 163 e del CEN TC 89.

10 Abbreviazioni ed acronimi

Simbolo	Grandezza	Unità di misura
A	area	m^2
C	capacità termica	$J \cdot K^{-1}$
F	fattore	-
g	coefficiente di trasmissione solare totale	-
H	coefficiente di scambio termico	$W \cdot K^{-1}$
h	conduttanza termica	$W \cdot m^{-2} K^{-1}$
I	irradianza solare	$W \cdot m^{-2}$
M	massa	kg
$\dot{m}$	portata in massa	$kg \cdot s^{-1}$
P	potenza	W
Q	energia termica	$W \cdot h$
$q, \dot{V}$	portata volumetrica	$m^3 \cdot s^{-1}$
R	resistenza termica	$m^2 K \cdot W^{-1}$
s	spessore	m
U	trasmittanza termica	$W \cdot m^{-2} K^{-1}$
V	volume	m^3
Y	trasmittanza termica periodica	$W \cdot m^{-2} K^{-1}$
Φ	potenza termica	W
β	angolo di inclinazione	°
λ	conducibilità termica	$W \cdot m^{-1} K^{-1}$
η	rendimento	-
θ	temperatura	°C
κ	capacità termica areica	$J \cdot m^{-2} K^{-1}$
τ	coefficiente di trasmissione	-
ψ	trasmittanza termica lineica	$W \cdot m^{-1} K^{-1}$

Pedici

a	aria
C	raffrescamento (servizio energetico)
c	convettivo
ce	convettivo esterno
ci	convettivo interno
coll	collettore
D	luce diurna
dif	diffusa
dir	diretta
e, est	esterno
eli	elemento i-esimo
elk	elemento k-esimo
eln	elemento n-esimo

env	involucro
F	telaio
f	pavimento
f, equiv	solaio inferiore, equivalente
fp	impronta
g	lordo
gl	vetro
gn	generazione
H	riscaldamento (servizio energetico)
h	orizzontale
h,interp	altezza interpiano
hru	recupero di calore
i, int	interno
L	illuminazione (servizio energetico)
l	lordo
lf	solaio inferiore
ld	carico termico
N	nominale
n	normale, perpendicolare
nd	utile (fabbisogno termico)
o	occupazione
obs	ostacolo
op	operativa (temperatura)
p, peak	di picco
p, ext	pareti perimetrali isolate con cappotto
p, ins	pareti perimetrali insufflate
pli	nodo i-esimo
pln	nodo n-esimo
r, equiv	solaio superiore, equivalente
re	radiativo esterno
ref	di riferimento
rg	regolazione
ri	radiativo interno
roof/uf	soffitto/solaio superiore
s	superficiale
set	regolazione
sh	schermatura solare
shut	chiusura oscurante
sky	cielo
sol	solare
sup	superficiale
tb	ponte termico
tot	totale
tr	trasmissione
V	ventilazione (servizio energetico)
ve	ventilazione
W	acqua calda sanitaria (servizio energetico)
w	finestra
wall	parete
ztc	zona termica climatizzata

Acronimi

ACS	Acqua calda sanitaria
CEN	European Committee for Standardisation
COP	Coefficient di prestazione
CTI	Comitato Termotecnico Italiano
EEM	Misure di riqualificazione energetica
EEO	Livello di riqualificazione energetica
EER	Rapporto di efficienza energetica
F.T.	Fuori Terra
IAQ	Indoor Air Quality
ISO	International Organisation for Standardisation
NZEB	Edificio a energia quasi zero
ZT	Zona Termica

Curriculum scientifico dei componenti del gruppo di lavoro

prof. Vincenzo Corrado

Ingegnere civile, professore ordinario di *fisica tecnica ambientale* presso il Dipartimento Energia del Politecnico di Torino, dove è responsabile dell'unità di ricerca BEPM (*Building Energy Performance Modelling*) del gruppo di ricerca TEBE (*Technology Energy Building Environment*). Svolge attività di ricerca nell'ambito della termofisica dell'edificio, della modellazione termo-energetica degli edifici, delle procedure di diagnosi e certificazione energetica degli edifici, della qualità dell'ambiente interno, della legislazione e normativa tecnica. Già presidente di IBPSA-Italia (sezione italiana dell'*International Building Performance Simulation Association*), è referente italiano del CEN/TC 89 (*Thermal performance of buildings and building components*) e dell'ISO/TC 163 (*Thermal performance and energy use in the built environment*).

prof. Ilaria Ballarini

Laureata in Architettura e dottore di ricerca in *Innovazione Tecnologica per l'Ambiente costruito* presso il Politecnico di Torino. È professore associato di *fisica tecnica ambientale* presso il Dipartimento Energia del Politecnico di Torino, gruppo di ricerca TEBE (*Technology Energy Building Environment*). Svolge attività di ricerca nel campo della fisica dell'edificio, con particolare riferimento alla modellazione termo-energetica degli edifici e dei parchi edilizi, alle procedure di diagnosi e certificazione energetica e di valutazione economica degli edifici. Ha partecipato a progetti di ricerca europei e nazionali, contratti di ricerca e accordi di partnership.

ing. Franz Bianco Mauthe Degerfeld

Ingegnere, Laurea Magistrale in Ingegneria dei sistemi edilizi presso il Politecnico di Torino. Attualmente frequenta il corso di dottorato in Energetica presso Dipartimento Energia del Politecnico di Torino. L'attività di ricerca si sviluppa nell'ambito del programma di ricerca "Ambiente interno e energia degli edifici (acronimo IIEB)", in particolare è focalizzata sulle attività di simulazione energetica dinamica degli edifici, validazione di modelli e ottimizzazione energetica ed economica di progetti di nuovi edifici e di riqualificazione.

ing. Matteo Piro

Ingegnere edile, attualmente è borsista di ricerca presso il Dipartimento Energia del Politecnico di Torino. Svolge attività di ricerca riguardante la modellazione energetica di parchi edilizi e l'aggiornamento della metodologia di calcolo dei livelli ottimali di prestazione energetica in funzione dei costi.

Appendice A – Manuale utente tool

Indice

APPENDICE A – MANUALE UTENTE TOOL.....	A.1
A1. INTRODUZIONE.....	A.2
A1.1 VALUTAZIONE ENERGETICA.....	A.2
A1.2 VALUTAZIONE ECONOMICA.....	A.3
A1.3 PROCEDURA DI OTTIMIZZAZIONE.....	A.3
A2. MISURE DI EFFICIENZA ENERGETICA.....	A.4
A3. GUIDA AL TOOL.....	A.6
A3.1 PROCEDURE DI CALCOLO.....	A.8
A3.2 DATI CLIMATICI.....	A.8
A3.3 ZONA TERMICA.....	A.9
A3.3.1 <i>Caratteristiche geometriche</i>	A.9
A3.3.2 <i>Apporti termici interni</i>	A.12
A3.3.3 <i>Regime di funzionamento dell'impianto</i>	A.12
A3.3.4 <i>Ventilazione</i>	A.13
A3.4 INVOLUCRO EDILIZIO.....	A.14
A3.4.1 <i>Involucro trasparente</i>	A.14
A3.4.2 <i>Involucro opaco</i>	A.16
A3.4.3 <i>Ponti termici</i>	A.20
A3.4.4 <i>Chiusure oscuranti e schermature solari</i>	A.22
A3.5 SOTTOSISTEMA DI EMISSIONE E REGOLAZIONE.....	A.22
A3.5.1 <i>Riscaldamento</i>	A.22
A3.5.2 <i>Acqua calda sanitaria</i>	A.23
A3.5.3 <i>Raffrescamento</i>	A.23
A3.6 SOTTOSISTEMA DI DISTRIBUZIONE.....	A.24
A3.6.1 <i>Riscaldamento</i>	A.24
A3.6.2 <i>Acqua calda sanitaria</i>	A.24
A3.6.3 <i>Raffrescamento</i>	A.25
A3.7 SOTTOSISTEMA DI GENERAZIONE.....	A.25
A3.7.1 <i>Riscaldamento</i>	A.26
A3.7.2 <i>Acqua calda sanitaria</i>	A.27
A3.7.3 <i>Raffrescamento</i>	A.28
A3.7.4 <i>Fonti rinnovabili</i>	A.28
A3.7.5 <i>Altri generatori</i>	A.30
A3.8 DATI AGGIUNTIVI DELL'IMPIANTO DI RAFFRESCAMENTO.....	A.30
A3.8.1 <i>Fattore di correzione per macchine frigorifere aria-aria</i>	A.30
A3.8.2 <i>Fattore di correzione per macchine frigorifere aria-acqua</i>	A.31
A3.9 DATI PER L'IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE.....	A.31
A3.10 DATI ECONOMICI.....	A.32
A3.11 PROCEDURA DI OTTIMIZZAZIONE.....	A.33
A3.12 MODULI DI CALCOLO.....	A.39
A3.13 ELABORAZIONE DEI DATI.....	A.41
A3.14 RISULTATI.....	A.41
A3.15 TEMPI DI CALCOLO.....	A.44
A4. BIBLIOGRAFIA.....	A.45

A1. Introduzione

Il *tool* di calcolo è stato sviluppato dal Dipartimento Energia (DENERG) del Politecnico di Torino a partire dal 2013 e poi aggiornato in fasi successive. L'ultimo aggiornamento significativo, che include anche opzioni di calcolo aggiuntive, è stato effettuato nel 2021 nell'ambito dell'accordo di collaborazione tra l'ENEA e il Politecnico di Torino per una attività di ricerca dal titolo "Applicazioni del modello di calcolo orario semplificato (UNI EN ISO 52016-1:2018) e aggiornamento della metodologia di calcolo dei livelli ottimali di prestazione energetica in funzione dei costi", parte del Piano Triennale di Realizzazione (2019-2021) e del relativo Accordo di Programma 2019-2021 del 4 giugno 2020 tra il Ministero dello Sviluppo Economico e l'ENEA.

La Direttiva 2010/31/UE [A1] ha stabilito che gli Stati membri definiscano i requisiti minimi di prestazione energetica, differenziati per edifici esistenti sottoposti a ristrutturazione ed edifici di nuova costruzione, in modo tale da conseguire il livello ottimale in funzione dei costi, cioè il livello di prestazione energetica che comporta il costo più basso durante il ciclo di vita economico dell'edificio. Per perseguire tale scopo, di concerto con il Regolamento Delegato (UE) n. 244/2012 [A2], il quadro metodologico comparativo stabilisce che, per non disincentivare l'installazione di determinate tecnologie edilizie o impiantistiche a favore di altre, sia simulata un'ampia casistica di misure di efficienza energetica per determinare le soluzioni *cost-optimal* in funzione della categoria di edificio. Pertanto, dato un edificio di riferimento, il *tool* permette di:

- determinare il fabbisogno energetico dell'edificio nello stato di fatto e con l'applicazione delle misure di efficienza energetica;
- valutare la prestazione energetico-economica di diverse opzioni o livelli di efficienza energetica;
- individuare, attraverso una procedura di ottimizzazione, la combinazione di interventi che garantisce il minor costo globale.

Il presente manuale ha l'obiettivo di guidare l'utente nell'utilizzo del *tool*, il quale è costituito da un pacchetto integrato di fogli di calcolo in formato MS Excel *User Friendly*, in grado di determinare la migliore soluzione tecnologica in termini di costi-benefici.

A1.1 Valutazione energetica

L'obiettivo della procedura di calcolo è determinare il fabbisogno di energia primaria per i servizi considerati: riscaldamento, produzione di acqua calda sanitaria, raffrescamento, ventilazione e illuminazione – quest'ultimo servizio solo per gli edifici non residenziali. Al momento il *tool* non permette di valutare il fabbisogno energetico per il trasporto di persone o cose.

Il calcolo del fabbisogno termico utile per il riscaldamento e il raffrescamento, $Q_{H/C,nd}$, può essere determinato in maniera quasi-stazionaria su base mensile, di concerto con la UNI/TS 11300-1 [A3], oppure attraverso il metodo dinamico orario semplificato, concordemente con la norma UNI EN ISO 52016-1 [A4]. Il calcolo eseguito dal *tool* recepisce le seguenti norme tecniche:

UNI/TS 11300-1 [A3]	Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale. 2014
UNI/TS 11300-2 [A5]	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. 2019
UNI/TS 11300-3 [A6]	Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva. 2010
UNI/TS 11300-4 [A7]	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. 2016

UNI/TS 11300-5 [A8] Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 5: Calcolo dell'energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili. 2016

UNI EN 15193-1 [A9] Prestazione energetica degli edifici – Requisiti energetici per l'illuminazione. Maggio 2008.

UNI EN ISO 52016-1 [A4] Prestazione energetica degli edifici - Fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne e carichi termici sensibili e latenti -Parte 1: Procedure di calcolo. 2018

A1.2 Valutazione economica

Il Regolamento Delegato (UE) n. 244/2012 [A2] sancisce che gli Stati membri definiscano se il riferimento nazionale del calcolo dei costi ottimali debba avvenire considerando una prospettiva finanziaria oppure una prospettiva macroeconomica. La prima è incentrata principalmente sulla mera valutazione dell'investimento, la seconda, invece, determina i riflessi sociali derivanti dall'adozione di misure di efficienza energetica. Il calcolo del costo globale associato ad entrambe le prospettive è definito come la somma attualizzata dei costi dell'investimento iniziale, dei costi di gestione, dei costi di sostituzione e smaltimento. La differenza è che, considerando la prospettiva macroeconomica, dovrà essere tenuto in considerazione anche il costo delle emissioni di gas a effetto serra, cioè le tonnellate equivalenti di CO₂ prodotte nell'arco del periodo di calcolo. Per raggiungere l'ottimalità dei costi e del minor impatto energetico è necessario simulare su un edificio di riferimento un insieme di misure di efficienza energetica. Tale pacchetto, a differenza dei singoli interventi, può decretare il raggiungimento di risultati migliori per quanto concerne la prestazione energetica degli edifici.

La *cost optimality*, essendo una metodologia comparativa per la determinazione del *Global Cost* (GC) trascura le medesime categorie di costo riproposte per più misure (costi della sicurezza, oneri accessori, etc.) e le voci di spesa su materie edilizie la cui installazione non prevede dei riflessi sulla prestazione energetica dell'edificio.

Nel presente *tool* è possibile considerare sia la prospettiva finanziaria sia la prospettiva macroeconomica; il *Global Cost* è quantificato, di concerto con la UNI EN 15459-1 [A10], attualizzando all'anno zero i costi dell'investimento iniziale, i costi annuali (dell'energia e di manutenzione), i costi periodici di sostituzione e il valore residuo finale.

A1.3 Procedura di ottimizzazione

La procedura di ottimizzazione dei costi è in grado di individuare, tra le diverse misure o pacchetti di misure di efficienza energetica, la soluzione che determina il minimo costo globale nel ciclo di vita dell'edificio. La metodologia di ottimizzazione considera opzioni discrete di efficienza energetica (per esempio, differenti livelli di isolamento termico), applicate una alla 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 base. 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.

A tal fine è stata sviluppata una macro di ottimizzazione che si interfaccia con i fogli per il calcolo del fabbisogno di energia e del costo globale. Un foglio ausiliario permette di associare ad ogni pacchetto di interventi testato dalla procedura di ottimizzazione tutti i dati di input necessari a descrivere l'edificio e a condurre i calcoli energetici.

A2. Misure di efficienza energetica

Le diverse *Energy Efficiency Measures* (EEMs, in Tabella A 2.205) tengono in considerazione sia la riqualificazione dell'involucro edilizio sia il miglioramento dei sistemi tecnologici associati ai servizi energetici analizzati. Ciascuna EEM prevede fino a cinque opzioni o livelli di intervento (EEO), ognuna delle quali a prestazione energetica crescente.

Tabella A2.205 Elenco delle *Energy Efficiency Measures* (EEMs).

n.	EEM	Parametro
1	Isolamento termico delle pareti dall'esterno	Trasmittanza termica, U_p
2	Isolamento termico dell'intercapedine delle pareti	Trasmittanza termica, U_p
3	Isolamento termico della copertura	Trasmittanza termica, U_r
4	Isolamento termico del pavimento	Trasmittanza termica, U_f
5	Isolamento termico serramenti	Trasmittanza termica, U_w
6	Sistemi di schermatura solari	Trasmittanza totale di energia solare, g_{gl+sh}
7	Chiller	<i>Energy Efficiency Ratio, EER</i>
8	Generatore per riscaldamento con appositi sistemi di emissione	Rendimento del generatore, η_{gn}
9	Generatore per produzione ACS	Rendimento del generatore, $\eta_{gn,Pn,W}$
10	Generatore combinato per riscaldamento e ACS con appositi sistemi di emissione	Rendimento del generatore, η_{gn}
11	Pompa di calore per riscaldamento, ACS, raffrescamento con relativi sistemi di emissione	<i>Coefficient of Performance, COP</i>
		<i>Energy Efficiency Ratio, EER</i>
12	Solare termico	Superficie dei collettori solari, A_{coll}
13	Fotovoltaico	Potenza di picco installata, P_p
14	Unità di recupero su ventilazione	Efficienza del recuperatore di calore, η_r
15	Sistema di regolazione riscaldamento	Rendimento di regolazione, η_{ctr}
16	Sistema di illuminazione	Densità di potenza elettrica installata, P_N

Tuttavia, la contemporaneità di più EEM deve avvenire concordemente a quanto previsto dalla matrice di compatibilità. Questa garantisce che gli interventi proposti non siano incompatibili tra loro, eliminando la coesistenza di più EEM che assolvono alla medesima funzione. Ad esempio, per la riqualificazione energetica di una muratura a cassavuota, l'algoritmo di calcolo procede, in funzione dei diversi livelli

N.	EEM
1	EXTERNAL WALL THERMAL INSULATION
2	CAVITY WALL THERMAL INSULATION
3	ROOF THERMAL INSULATION
4	FLOOR THERMAL INSULATION
5	WINDOW THERMAL INSULATION
6	SOLAR SHADING SYSTEM
7	CHILLER
8	GENERATOR FOR SPACE HEATING AND APPROPRIATE EMISSION SYSTEM
9	GENERATOR FOR DHW
10	COMBINED GENERATOR FOR SPACE HEATING AND DHW, AND APPROPRIATE EMISSION SYSTEM
11	HEAT PUMP FOR SPACE HEATING, DHW AND COOLING, AND APPROPRIATE EMISSION SYSTEM
12	THERMAL SOLAR SYSTEM
13	PV SYSTEM
14	HEAT RECOVERY VENTILATION SYSTEM
15	HEATING SYSTEM CONTROL
16	LIGHTING SYSTEM
17	LIGHTING SYSTEM

Figura A2.46 Matrice di compatibilità.

A3. Guida al tool

Per utilizzare il *tool* occorre estrarre e salvare il contenuto della cartella .zip. L'applicativo è formato da 18 cartelle di calcolo tra loro collegate e così denominate:

- *Building_Zone 1;*
- *Cooling;*
- *Data processing;*
- *DHW;*
- *Distribution;*
- *Energy_need_52016;*
- *Generation;*
- *Generator_HP_EEM3;*
- *Generator_PV;*
- *Generator_Solar;*
- *Global cost;*
- *Input data_Zone 1;*
- *Input_Distribution;*
- *Input_General;*
- *Input_Generator;*
- *Interscambio 52016.11;*
- *Optimization procedure;*
- *Results.*

I fogli elettronici possono essere suddivisi principalmente in tre categorie: fogli di input, fogli di output e fogli di collegamento (o ausiliari). L'utente deve inserire il maggior numero di parametri di input nei seguenti moduli: *Interscambio 52016.11*, *Input data_Zone 1*, *Input_Distribution*, *Input_General*, *Input_Generator*. Ciascun modulo è suddiviso in una serie di sotto-moduli che verranno analizzati di seguito.

La versione 11 del *tool* (di ultima realizzazione) permette di creare un modello energetico caratterizzato da un'unica zona termica. La versione precedente del *software*, nella quale non è implementato il modello di calcolo orario da norma UNI EN ISO 52016-1 [A4], prevede la creazione di un massimo di cinque zone termiche.

Prima di procedere con le fasi successive è necessario aprire tutti i file. Si consiglia di attivare la macro *File Opening* (si veda Figura A 3.47) contenuta in *Optimization procedure - EEM*, che procede all'automatica apertura di tutti e 17 i file Excel. Terminata tale operazione si consiglia di impostare il calcolo del programma su "manuale" (FORMULE/Opzioni di calcolo/Manuale), affinché la minima modifica di qualche dato non riaggiorni ogni volta l'intero pacchetto. Si consiglia inoltre di passare al calcolo "automatico" (FORMULE/Opzioni di calcolo/Automatico), quando ritenuto necessario. In tal modo, l'intero pacchetto di fogli sarà più facilmente gestibile. Nel caso in cui fosse saltato qualche collegamento fra i diversi file (errore: #RIF!), si suggerisce di chiudere senza salvare tutti i fogli e procedere nuovamente alla loro apertura.

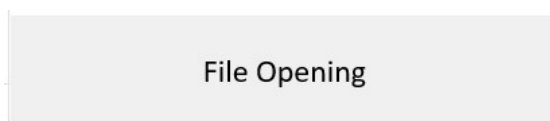


Figura A3.47 Macro per apertura dei file.

Successivamente, è necessario selezionare *Data Processing* e verificare che non vi siano errori nei collegamenti (DATI/Query e connessioni/Modifica collegamenti; si veda Figura A 3 .48).

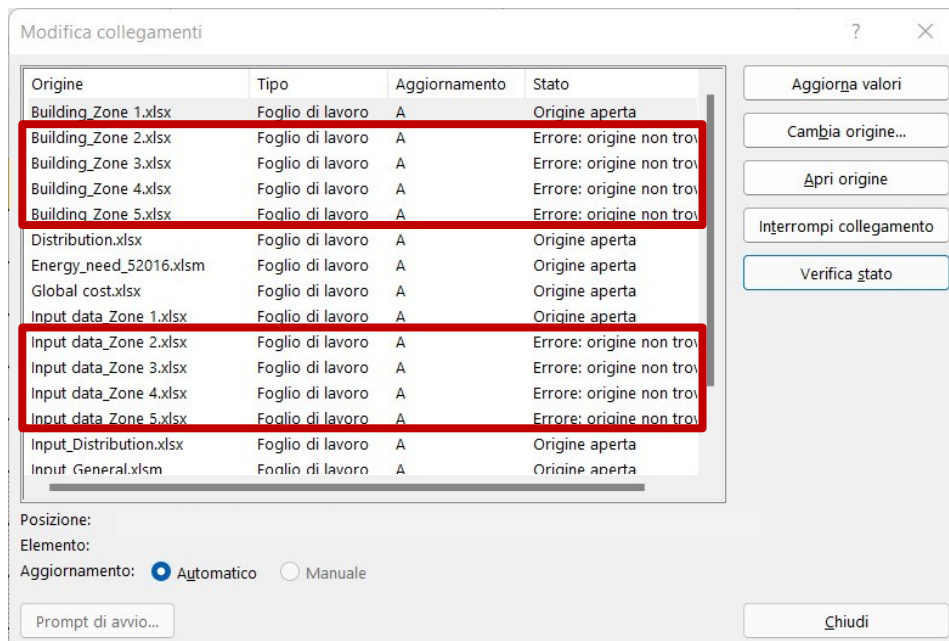


Figura A3.48 Verifica collegamenti tra fogli nel caso di un'unica zona termica.

Nota 1

Per modellare un'unica zona termica è corretto che il collegamento con i fogli *Building_Zone 2*, *Input data_Zone 2*, etc. non sia attivo; si può quindi trascurare il messaggio di errore nei collegamenti.

Per facilitare l'inserimento dei parametri da parte dell'utente, le celle dei fogli presentano una codifica cromatica, così descritta (si veda Figura A 3 .49):

- Le celle verdi rappresentano gli unici parametri editabili e non bloccati che devono essere compilati da parte dell'utente per costruire il modello energetico di partenza e per definire i successivi stati di progetto;
- Le celle gialle contengono al loro interno risultati derivanti da equazioni;
- Le celle bianche sono costituite da collegamenti ad altri fogli di calcolo;
- Le celle rosa contengono parametri desunti da normativa o da letteratura;
- Le celle ciano rappresentano gli output del calcolo.

	CELLS TO BE FILLED IN
	CELLS WITH EQUATIONS
	CELLS WITH LINKS
	CELLS WITH FIXED VALUES
	CELLS WITH OUTPUT VALUES

Figura A3.49 Codifica cromatica celle.

A3.1 Procedure di calcolo

In *Interscambio 52016.11 – Calculation Procedure* vengono riportate cinque coppie di caselle di controllo per orientare la scelta dell'utente nella conduzione del calcolo. Per ogni insieme di *check-boxes* solamente una scelta verrà accettata e riguarda:

- Calculation procedure: Fabbisogno di energia termica per riscaldamento e raffrescamento, $Q_{H/C;nd}$, calcolato secondo la UNI/TS 11300-1 [A3] oppure secondo la UNI EN ISO 52016-1 [A4] (metodo orario);
- Opaque node component approach: Discretizzazione in nodi dei componenti opachi secondo l'Appendice Nazionale della UNI EN ISO 52016-1 [A11] oppure di concerto con l'approccio originale contenuto nella precitata norma [A4]. La validità della presente casella di controllo è condizionata dall'aver scelto il calcolo del $Q_{H/C;nd}$ su base oraria secondo la UNI EN ISO 52016-1 [A4] (si veda Figura A 3.50);
- Surface heat transfer coefficients: Coefficienti di scambio termico liminare calcolati di concerto con la UNI EN ISO 13789 [A12], assunti costanti oppure variabili su base oraria in funzione delle condizioni al contorno per l'ambiente interno ed esterno. La validità della presente casella di controllo è condizionata dall'aver scelto il calcolo del $Q_{H/C;nd}$ su base oraria secondo la UNI EN ISO 52016-1 [A4];
- Difference between external air temperature and sky temperature: La differenza di temperatura fra ambiente esterno e volta celeste, $\Delta\theta_{sky}$, può essere assunta pari a 11 K come previsto dalla UNI EN ISO 52016-1 [A4] oppure su base mensile od oraria, secondo l'Appendice Nazionale della norma [A11]. La validità della presente casella di controllo è condizionata dall'aver scelto il calcolo del $Q_{H/C;nd}$ su base oraria secondo la UNI EN ISO 52016-1 [A4];
- Correction factor for non-scattering glazing: Il fattore di esposizione, F_w , può essere assunto pari a 0,9 come previsto dalla UNI EN ISO 52016-1 [A4] oppure calcolato su base oraria di concerto con l'Appendice Nazionale della norma [A11]. La validità della presente casella di controllo è condizionata dall'aver scelto il calcolo del $Q_{H/C;nd}$ su base oraria secondo la UNI EN ISO 52016-1 [A4].

Definite le cinque scelte si dovrà cliccare sul bottone, presente in *Interscambio 52016.11 – Calculation Procedure*, per l'aggiornamento automatico delle opzioni di calcolo contenute nel foglio *Energy_need_52016* (si veda Figura A 3.51).

H or M	Calculation procedure	☐ Monthly calculation	Monthly calculation of the energy need for sensible heating and cooling $Q_{H/C;nd}$ according to the UNI/TS 11300-1
		☒ Hourly calculation	Hourly calculation of the energy need for sensible heating and cooling $Q_{H/C;nd;ztc}$ according to the UNI EN ISO 52016-1

Figura A3.50 Scelta del metodo di calcolo del fabbisogno di energia termica per il riscaldamento e il raffrescamento.

Update procedure option links (hourly procedure)

Figura A3.51 Aggiornamento automatico delle procedure di calcolo adottate.

A3.2 Dati climatici

Nel foglio *Interscambio 52016.11 – Climatic Data* l'utente dovrà inserire i dati climatici per la località di interesse. Nello specifico, oltre alle informazioni generali relative alla località (gradi giorno, temperatura esterna di progetto e altitudine), dovranno essere inseriti i valori orari relativi a: temperatura dell'aria esterna, $\theta_{e,r}$; velocità del vento, v ; pressione parziale di vapore, $p_{v,e,r}$, nelle unità di misura indicate.

È possibile definire 15 diversi orientamenti attraverso la compilazione delle sezioni presentate in Figura A 3.52. L'inserimento degli orientamenti convenzionali (piano orizzontale, Sud, Ovest, Sud-Est, etc.), prevede di specificare: il codice suggerito (HOR, S, O, SE, etc.), l'angolo azimutale, Φ , e l'inclinazione della superficie sulla quale incide la radiazione solare rispetto al piano orizzontale, Σ . Successivamente a questa operazione, per ognuno di essi, si potranno definire su base oraria: l'angolo di incidenza della radiazione solare diretta, $\gamma_{sol;w,r}$, necessario per calcolare il fattore di esposizione diretto, $F_{w;dir,r}$, di concerto con

l'Appendice Nazionale della norma UNI EN ISO 52016-1 [A11]; l'irradianza solare diretta, $I_{sol,dir;eli}$, e l'irradianza solare diffusa, $I_{sol,dif;eli}$. Il sedicesimo orientamento, invece, riguarda la quota radiativa, diretta e diffusa, incidente su una superficie di riferimento che è orientata a Sud e inclinata di 30° rispetto al piano orizzontale, $eli_{Roof\ 30^\circ S}$.

Building component				eli_1	eli_2	eli_3	eli_4	eli_5
Orientation Code HOR = horizontal; S = South; E = East; O = West; N = North; SE = South-East; NE = North-East; SO = South-West; NO = North-West				HOR	N	NE	E	SE
Azimuth South = 0; East = 90; West = -90; North = 180; Horizontal = 0	ϕ	[°]		0,00	180,00	135,00	90,00	45,00
Tilt angle 0° = flat roof; 90° = vertical wall	Σ	[°]		0,00	90,00	90,00	90,00	90,00

Building component eli_2			
Angle of incidence of direct solar radiation	Direct solar irradiance on the element	Diffuse solar irradiance on the element	Total solar irradiance on the element
$\gamma_{sol,el}=2$	$I_{sol,dir,el}=2$	$I_{sol,dif,el}=2$	$I_{sol,tot,el}=2$
[°]	[W·m ⁻²]	[W·m ⁻²]	[W·m ⁻²]
20,0	0,0	0,0	0,0
48,3	0,0	0,0	0,0
67,4	0,0	0,0	0,0
81,1	0,0	0,0	0,0
92,3	0,0	0,0	0,0

Figura A3.52 Codifica degli orientamenti, a sinistra; inserimento su base oraria dell'angolo di incidenza della radiazione solare diretta e dell'irradianza solare diretta e diffusa per eli_2 , a destra.

Nel caso in cui si fosse scelto di procedere al calcolo del fabbisogno energetico di concerto con la UNI/TS 11300-1 [A3], i dati climatici medi mensili, riportati nel foglio *Interscambio 52016.11 – M - Climatic Data*, verranno calcolati automaticamente a partire da quelli inseriti su base oraria. A tal fine, è indispensabile definire in *Interscambio 52016.11 – Climatic Data* le irradianze solari per i seguenti orientamenti: piano orizzontale, HOR; orientamento Nord, N; orientamento Nord-Est o Nord-Ovest, NE - NO; orientamento Est o Ovest, E - O; orientamento Sud-Est o Sud-Ovest, SE – SO; orientamento Sud, S; orientamento Sud su una superficie inclinata di 30° rispetto al piano orizzontale. Per questi ultimi si raccomanda di rispettare la codifica (HOR, N, NE, SE, etc.) affinché l'algoritmo riconosca correttamente le relative informazioni climatiche.

Nota 2

I valori di irradianza solare su superficie orientata a Sud e inclinata di 30° rispetto al piano orizzontale ($eli_{Roof\ 30^\circ S}$) permettono di valutare la producibilità di collettori solari e moduli fotovoltaici su una superficie di riferimento caratterizzata da condizioni di orientamento e inclinazione prefissate

Nota 3

Nel modello energetico rappresentante lo stato di fatto l'utente non potrà inserire un impianto solare termico o fotovoltaico. Ma tali interventi, rispettivamente EEM12 e EEM13, saranno considerati come successive misure di efficienza energetica

A3.3 Zona termica

A3.3.1 Caratteristiche geometriche

Il foglio *Interscambio 52016.11 – Thermal Zone - General Input* contiene informazioni generali, principalmente di natura geometrica, riguardanti l'edificio. Vanno specificati la categoria del fabbricato, con il codice identificativo, il numero di zone termiche (da porre pari a 1 per la v.11 del tool), la destinazione d'uso (residenziale o non residenziale), l'epoca di costruzione del fabbricato (esistente o nuovo), la tipologia di copertura (piana o inclinata), la percentuale di portefinestre sul totale dei serramenti, la lunghezza totale delle aperture vetrate, e la lunghezza totale dei canali di ventilazione (quest'ultima da indicare solamente se l'edificio è adibito ad uso ufficio o scolastico).

Nota 4

La v.11 del *tool* permette di considerare un'unica zona termica

Zone Identification and General Information		
Building category	Casa monofamiliare	
Building ID	RMF_E2_E	
Number of thermal zones	1	
Building use	Residential	
Zone uses	Casa Popolare	
New or existing building	Existing	
Roof typology	Tilted	
% of door windows on total windows	0%	
Total windows lenght	[cm]	120
Ducts lenght (only for existing offices and school; zero for other cases)	[m]	0

Figura A3.53 Informazioni generali in Interscambio 52016.11 – Thermal Zone - General Input.

Nella sezione *Building Geometric Characteristics* del medesimo foglio si dovranno specificare ulteriori caratteristiche geometriche caratterizzanti la zona termica: il numero di unità abitative appartenenti al fabbricato; la superficie netta di pavimento dell'unità, $A_{use;unit}$; il numero di livelli sopra e sotto il piano campagna; l'altezza netta interpiano, h ; il numero di piani riscaldati, n_f ; la superficie netta climatizzata di pavimento, $A_{use;zt}$; il volume lordo e netto climatizzato, rispettivamente $V_{gross;zt}$ e $V_{int;a;zt}$; la superficie disperdente totale, S ; il perimetro del fabbricato; la capacità termica interna della zona, κ , definibile in maniera semplificata di concerto con la UNI/TS 11300-1 [A3].

Building Geometric Characteristics			
Number of units if relevant	1		
Net floor area for each unit if relevant	$A_{use;unit}$	[m ²]	199,0
Number of floors above the ground	2		
Number of floors under the ground	0		
Medium floor height	h	[m]	2,7
Number of conditioned storeys	n_f	[-]	2
Useful floor area of the thermal zone	$A_{use;zt}$	[m ²]	199,0
Air volume of the thermal zone	$V_{int;a;zt}$	[m ³]	537,0
Gross volume of the thermal zone	$V_{gross;zt}$	[m ³]	725,0
Area of the building facades	S	[m ²]	414,1
Building perimeter	p	[m]	43,0
Areal internal heat capacity per thermally conditioned zone	κ	[kJ·m ⁻² ·K ⁻¹]	165

Figura A3.54 Caratteristiche geometriche zona termica in Interscambio 52016.11 – Thermal Zone - General Input.

Conditions of use and technical building systems			
Temperature set point for heating	$\theta_{int,set,H}$	[°C]	20
Temperature set point for cooling	$\theta_{int,set,C}$	[°C]	26
Available heating power, per thermally conditioned zone, per hour	$\Phi_{H,avail,ztc,t}$	[W]	1E+12
Available cooling power, per thermally conditioned zone, per hour	$\Phi_{C,avail,ztc,t}$	[W]	1E+12
Typology of the heating system per thermally conditioned zone			Radiators (multicolumn)
Convective fraction of the heating system per thermally conditioned zone (if system specific)	$f_{H,c,ztc}$	[-]	0,75
Typology of the cooling system per thermally conditioned zone			Fan coils, vents
Convective fraction of the cooling system per thermally conditioned zone (if system specific)	$f_{C,c,ztc}$	[-]	1,00
Set-point relative humidity for humidification, per thermally conditioned zone, per hour	$\varphi_{int;set,HU;ztc,t}$	[%]	40,0
Set-point relative humidity for dehumidification, per thermally conditioned zone, per hour	$\varphi_{int;set,DHU;ztc,t}$	[%]	75,0

Figura A3.55 Temperature di set-point e dati aggiuntivi per condurre il calcolo secondo la UNI EN ISO 52016-1 [A4] (metodo orario).

Nella sezione *Conditions of use and technical building systems* (si veda Figura A 3 .55) è necessario specificare le temperature di *set-point* valide rispettivamente in regime invernale, $\theta_{int,set,H}$, ed estivo, $\theta_{int,set,C}$.

I dati successivi, invece, sono indispensabili nel caso in cui il calcolo del fabbisogno termico avvenisse di concerto con la norma UNI EN ISO 52016-1 [A4]. A tal fine si dovrà inserire: la massima potenza erogabile dall'impianto di riscaldamento e raffrescamento, rispettivamente $\Phi_{H,avail,ztc,t}$ e $\Phi_{C,avail,ztc,t}$; la tipologia di terminali di emissione del sistema di climatizzazione invernale ed estivo; il *set-point* di (de-)umidificazione, $\varphi_{int;set,HU;ztc,t}$ e $\varphi_{int;set,DHU;ztc,t}$.

Infine, nell'ultima sezione, presentata nella Figura A 3 .56, l'utente deve inserire altri parametri necessari per condurre il calcolo con la UNI EN ISO 52016-1 [A4]. Nello specifico si devono indicare: la frazione convettiva degli apporti termici interni, $f_{int,c}$; la frazione convettiva dovuta alla radiazione solare, $f_{sol,c}$; la portata di vapore acqueo assorbita o rilasciata dai materiali e/o arredamenti contenuti all'interno della zona termica, $G_{abs,ztc,t}$.

Nota 5

Sebbene si possano inserire in input $\varphi_{int;set,HU;ztc,t}$, $\varphi_{int;set,DHU;ztc,t}$ e $G_{abs,ztc,t}$, il *tool* non prevede al momento il calcolo dei fabbisogni energetici per de-umidificazione

Input data from ISO 52016-1:2017, Annex A / Annex B			
Convective fraction of the internal gains into the zone	$f_{int,c}$	[-]	0,40
Convective fraction of the solar radiation into the zone	$f_{sol,c}$	[-]	0,10
Moisture absorption (positive value) or desorption (negative value) in materials in the zone	$G_{abs,ztc,t}$	[kg·s ⁻¹]	0,0

Figura A3.56 Dati aggiuntivi per condurre il calcolo secondo la norma UNI EN ISO 52016-1 [A4].

A3.3.2 Apporti termici interni

L'utente dovrà specificare in *Input data_Zone - Thermal Zone* il valore medio annuale degli apporti termici interni sensibili, $\Phi_{int,mn}$. Tale dato verrà ripreso in *Interscambio 52016.11 - Thermal Zone - Schedule* per costruire il profilo orario del carico dovuto alle sorgenti interne di calore. La generazione automatica dei

profili parte dalla definizione di *diversity factor* orari validi per tre diverse tipologie di giornate: feriali, sabato e festivi, come previsto dalla norma UNI EN 16798-1 [A13], in funzione della diversa natura della sorgente termica (occupanti, dispositivi elettrici ed illuminanti, si veda Figura A 3.57).

Working day				Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su	
Profile A											
Occupants	Appliances	Lighting	Ventilation								
1,00	0,50	0,00	1,00	1	2	3	4	5	6	7	January
1,00	0,50	0,00	1,00	8	9	10	11	12	13	14	
1,00	0,50	0,00	1,00	15	16	17	18	19	20	21	
1,00	0,50	0,00	1,00	22	23	24	25	26	27	28	
1,00	0,50	0,00	1,00	29	30	31					
1,00	0,50	0,00	1,00				1	2	3	4	February
0,50	0,50	0,15	0,50	5	6	7	8	9	10	11	
0,50	0,70	0,15	0,50	12	13	14	15	16	17	18	
0,50	0,70	0,15	0,50	19	20	21	22	23	24	25	
0,10	0,50	0,15	0,10	26	27	28					
0,10	0,50	0,05	0,10				1	2	3	4	March
0,10	0,60	0,05	0,10	5	6	7	8	9	10	11	
0,10	0,60	0,05	0,10	12	13	14	15	16	17	18	
0,20	0,60	0,05	0,20	19	20	21	22	23	24	25	
0,20	0,60	0,05	0,20	26	27	28	29	30	31		
0,20	0,50	0,05	0,20							1	April
0,50	0,50	0,20	0,50	2	3	4	5	6	7	8	
0,50	0,70	0,20	0,50	9	10	11	12	13	14	15	
0,50	0,70	0,20	0,50	16	17	18	19	20	21	22	
0,80	0,80	0,20	0,80	23	24	25	26	27	28	29	
0,80	0,80	0,20	0,80	30							May
1,00	0,60	0,15	1,00		1	2	3	4	5	6	
1,00	0,60	0,15	1,00	7	8	9	10	11	12	13	
				14	15	16	17	18	19	20	
				21	22	23	24	25	26	27	
				28	29	30	31				

Figura A3.57 Diversity factor per giorni lavorativi, a sinistra; calendario per associazione profili, a destra.

Prima attivare la macro per la generazione dei profili bisogna specificare per ogni giorno dell'anno se è considerabile come un giorno lavorativo, un sabato o un giorno festivo, attraverso la colorazione della cella corrispondente: di grigio [RGB grey (242, 242, 242)], di giallo [RGB yellow (255, 230, 153)] o di rosso [RGB red (252, 228, 214)] rispettivamente per un giorno feriale, sabato o festivo. Il calendario riporta le festività nazionali dell'anno 2018. Una volta che tutti i dati sono stati impostati si procede alla generazione dei profili orari cliccando sul pulsante *Start hourly association profiles*.

A3.3.3 Regime di funzionamento dell'impianto

Per quanto concerne il regime di funzionamento dell'impianto, lato UNI/TS 11300-1 [A3], si deve specificare se è continuo o intermittente, e nel secondo caso è necessario indicare: la temperatura di *set-point* in fase di riscaldamento ridotto, $\theta_{int, set, red, H}$; il periodo più breve e il periodo più lungo in fase di riscaldamento, rispettivamente $t_{short red}$ e $t_{long red}$; la frazione di ore con funzionamento normale dell'impianto, $f_{H, hr}$; il fattore mensile di non occupazione della zona termica (si veda Figura A 3.58).

DATA USERS AND OPERATING PARAMETERS - SPACE HEATING MODE			
Continuous/Intermittent	C/I	-	C
Set point temp. in reduced heating	$\theta_{int, set, red, H}$	[°C]	
Shortest reduced heating period	$t_{short red}$	[h]	
Longest reduced heating period	$t_{long red}$	[h]	
Fract. of hours with normal heating	$f_{H, hr}$	[-]	
Unoccupied periods (e.g. holidays)	YES/NOT	-	NOT

Figura A3.58 Regime di funzionamento dell'impianto: continuo o intermittente.

Lato UNI EN ISO 52016-1 [A4], invece, l'operatività dell'impianto all'interno di una certa stagione di riscaldamento o raffrescamento dovrà essere definita specificando la temperatura di *set-point*. Per quanto riguarda il periodo di climatizzazione invernale questo è definito da legge in funzione della zona climatica (D.P.R. 412/1993 [A14]). In Figura A 3.59 è riportata la parziale definizione del periodo di riscaldamento per un comune in zona climatica E, dal 15 ottobre al 15 aprile. Pertanto, dall'immagine proposta si evince che si garantirà una temperatura di *set-point* in regime invernale pari a 20°C per il periodo compreso fra il 1° gennaio e il 15 aprile. Mentre, come previsto da legge, per il periodo compreso fra il 16 aprile e il 14

ottobre non si procede all'accensione dell'impianto di climatizzazione invernale. Quest'ultima considerazione è riconosciuta dall'algoritmo di calcolo attraverso l'inserimento di valori sentinella, pari a -999. Infine, comparirà un terzo periodo di riscaldamento, non riportato in Figura A 3.59, compreso fra il 15 ottobre e il 31 dicembre in cui si richiede all'impianto di riscaldamento di ristabilire le condizioni di comfort interno, pari a 20°C. Una procedura analoga deve essere seguita per definire il periodo di raffrescamento al fine di determinare il corretto fabbisogno di energia termica per la climatizzazione estiva, $Q_{C,nd}$.

Period 1		Period 2	
From	01/01/2018	to	15/04/2018
Initial timestep	0	Final timestep	2519
Heating	Weekly schedules	Used for internal heat and moisture gains	
	Hours of day	Occupancy level	
		Weekday (Mo-Fri)	Weekend (Sat-Sun)
	1	20	20
	2	20	20
	3	20	20
	4	20	20
	5	20	20
	6	20	20
	7	20	20
	8	20	20
	9	20	20
	10	20	20
	11	20	20
	12	20	20
	13	20	20
	14	20	20
	15	20	20
	16	20	20
	17	20	20
	18	20	20
	19	20	20
	20	20	20
	21	20	20
	22	20	20
	23	20	20
	24	20	20
Period 2		Period 3	
From		16/04/2018	
		to	
		14/10/2018	
		2520	
		6887	
	Weekly schedules	Used for internal heat and moisture gains	
	Hours of day	Occupancy level	
		Weekday (Mo-Fri)	Weekend (Sat-Sun)
	1	-999	-999
	2	-999	-999
	3	-999	-999
	4	-999	-999
	5	-999	-999
	6	-999	-999
	7	-999	-999
	8	-999	-999
	9	-999	-999
	10	-999	-999
	11	-999	-999
	12	-999	-999
	13	-999	-999
	14	-999	-999
	15	-999	-999
	16	-999	-999
	17	-999	-999
	18	-999	-999
	19	-999	-999
	20	-999	-999
	21	-999	-999
	22	-999	-999
	23	-999	-999
	24	-999	-999

Figura A3.59 Periodo di riscaldamento (esempio per la zona climatica E).

A3.3.4 Ventilazione

Nel foglio *Input data_Zone - Thermal Zone_Vent* dovranno essere inseriti i dati relativi alla tipologia di sistema di ventilazione (naturale, N o meccanica, M). Nel caso in cui nella condizione di partenza il fabbricato predisponesse solamente della ventilazione naturale, ma si avesse intenzione di simulare la presenza di un sistema di ventilazione meccanica attraverso la misura EEM14, allora l'utente dovrà compilare preventivamente anche i dati relativi alla sezione *Data for mechanical ventilation* (si veda Figura A 3.60).

Successivamente alla scelta della tipologia di ventilazione (N o M), è necessario specificare la destinazione d'uso della zona termica nella scheda *Calculation of the IAQ minimum airflow rate (qve,0)*. Inoltre, nel caso in cui nello stato di fatto, o in eventuali stati di progetto, si registrasse la presenza di un sistema di ventilazione meccanica, l'utente dovrà compilare: la classe di schermatura; la classe di esposizione al vento; il fattore di efficienza della regolazione dell'impianto di ventilazione meccanica, FC_{ve} ; la permeabilità dell'involucro; la descrizione dell'edificio per la determinazione dei ricambi d'aria a 50 Pa, n_{50} . Inoltre, nel caso in cui lo stato di fatto presentasse un'unità di ventilazione meccanica si dovrà specificare in *Input data_Zone - Thermal Zone* l'efficienza del recuperatore di calore, η_{hru} .

La portata di ventilazione naturale o meccanica calcolata attraverso UNI/TS 11300-1 [A3] verrà ripresa dal foglio *Interscambio 52016.11 - Thermal Zone - Schedule* e verrà distribuita su base oraria attraverso i *diversity factor*, inseriti in input dall'utente (si veda Figura A 3.57).

Data for mechanical ventilation	e [-]	0,04	Shielding class	City centre
	f [-]	15	Wind exposure	More of one exposed facade
	FC_{ve} [-]	1,0	Envelope air permeability	Medium
	n_{50} [h ⁻¹]	4	Use for n_{50}	Multifamily or other use
	β_k [-]	1,000	$q_{ve,sup}$ [m ³ /s]	0,344
	$q_{ve,x}$ [m ³ /s]	0,016	$q_{ve,ext}$ [m ³ /s]	0,000
	$q'_{ve,x}$ [m ³ /s]	0,110	$q_{ve,f}$ [m ³ /s]	0,344
	$\eta_{hru,eff}$ [-]	0,00	$q_{ve,des}$ [m ³ /s]	0,344
	$q_{ve,k,min}$ [m ³ /s]	0,361	$b_{ve,k}$ [-]	1,00

Figura A3.60 Dati per il sistema di ventilazione meccanica.

A3.4 Involucro edilizio

A3.4.1 Involucro trasparente

La definizione dell'involucro trasparente nel modello energetico dello stato di fatto avviene specificando: il codice identificativo del serramento; la direzione del flusso termico; il fattore di trasmissione solare totale del vetro (incidenza normale), $g_{gl,n;eli}$; il numero di pannelli vetrati, p , e la tipologia di vetro, q , necessari per il calcolo del fattore di esposizione di radiazione diretta, $F_{w,dir}$; la trasmittanza termica del serramento, $U_{W-value}$; la presenza di una schermatura solare; il fattore di trasmissione solare totale del sistema vetro-schermatura solare, g_{gl+sh} ; la resistenza termica addizionale data da una chiusura oscurante, ΔR ; la trasmittanza termica del sistema serramento-chiusura oscurante, $U_{WS-value}$ (si veda Figura A 3 .61). Se non viene specificato dall'utente il valore del parametro ΔR , è possibile procedere direttamente ad inserire il valore di $U_{WS-value}$. Per la riqualificazione del serramento, si può associare manualmente, la tipologia di vetro per ogni livello della misura di efficienza EEM5 nel foglio *Interscambio 52016.11 - EEOs - Envelope Components*. In caso contrario l'algoritmo terrà in memoria l'informazione riportata nello stato di fatto.

Transparent component			wf_1
Envelope Code			W11
Direction of heat flow			Horizontal
Internal convective surface heat transfer coefficient of the building element eli	$h_{o,eli}$	[W m ⁻² K ⁻¹]	2,50
Internal radiative surface heat transfer coefficient of the building element eli	$h_{r,eli}$	[W m ⁻² K ⁻¹]	5,13
External convective surface heat transfer coefficient of the building element eli	$h_{o,eli}$	[W m ⁻² K ⁻¹]	20,00
External radiative surface heat transfer coefficient of the building element eli	$h_{r,eli}$	[W m ⁻² K ⁻¹]	4,14
Solar energy transmittance for radiation perpendicular to the glazing	$g_{gl,n,eli}$	[-]	0,750
Number of panes (if Italian National Annex approach is set)	p	[-]	1
Glazing coating typology (if Italian National Annex approach is set)			Clear glass
Glazing coating typology factor (if Italian National Annex approach is set)	q	[-]	4
Thermal transmittance of the window	$U_{W-value}$	[W m ⁻² K ⁻¹]	2,900
Thermal resistance of the window	$R_{c,W}$	[m ² K W ⁻¹]	0,187
Typology of solar shading device installed on the window			None
Total solar energy transmittance of the window with solar shading devices	g_{gl+sh}	[-]	0,750
Additional thermal resistance for a window with closed shutters	ΔR	[m ² K W ⁻¹]	
Calculated thermal transmittance of a window with closed shutters	$U_{WS-value}$	[W m ⁻² K ⁻¹]	
Input thermal transmittance of a window with closed shutters	$U_{WS-value}$	[W m ⁻² K ⁻¹]	2,900
Thermal transmittance of a window with closed shutters	$U_{WS-value}$	[W m ⁻² K ⁻¹]	2,900
Thermal resistance of window with closed shutters	$R_{c,WS}$	[m ² K W ⁻¹]	0,187
Conductance between nodes pl1 and node pl2	$h_{pl1,pl2}$	[W m ⁻² K ⁻¹]	5,344

Figura A3.61 Definizione componente di involucro trasparente.

Nota 6

Nel *tool* non possono essere inseriti componenti trasparenti che confinano con ambienti adiacenti non climatizzati

Definite le diverse tipologie di serramento, differenti per caratteristiche termofisiche, nel foglio *Interscambio 52016.11 - Thermal Zone - Components* si dovrà costruire l'involucro edilizio associando e caratterizzando ulteriormente i componenti appena modellati. Nello specifico l'utente dovrà inserire: il codice identificativo del componente, scegliendo fra le finestre precedentemente inserite; l'orientamento del serramento; la superficie del componente trasparente, A_{eli} ; il fattore di assorbimento solare del vetro, $a_{sol;eli}$; la frazione di area relativa al telaio, $F_{fr;wi}$; l'emissività ad alta lunghezza d'onda dell'elemento vetrato, ϵ_{eli} ; il fattore di vista, $F_{sky;eli}$; il fattore di riduzione per ombreggiatura relativo alla sola radiazione diffusa, $F_{sh,ob,dif}$; e il fattore di riduzione per ombreggiatura da ostacoli esterni su base mensile, $F_{sh,ob}$ (si veda Figura A 3.62).

			HEAT TRANSFER SURFACES: WINDOWS									
Parameter	Symbol	Unit	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Envelope Code			W11	W11	W11							
Technical element (W1 = Window; for opaque component to outdoor; Wall = W, Cavity Wall = CW; Roof = R, Bottom floor = GF; for opaque component to adjacent unconditioned space/ground; Wall = W, Upper floor = UF; Bottom floor = GF, Door = D)			W1	W1	W1							
Orientation Code			S	E	O							
Extended Code			W11_W1_S	W11_W1_E	W11_W1_O							
Area of the building element e_{li}	A_{el}	[m ²]	10,0	7,5	7,5							
Solar absorption at the external surface	$a_{sol;el}$	[-]	0,00	0,00	0,00							
Frame area fraction of window w_i	$F_{fr;wi}$	[-]	0,20	0,20	0,20							
Long-wave emissivity of the building element e_{li}	ϵ_{el}	[-]	0,837	0,837	0,837							
View factor to the sky	$F_{sky;el}$	[-]	0,50	0,50	0,50							
Diffuse radiation shading reduction factor for external obstacles	$F_{sh,ob,dif}$	[-]	1,00	1,00	1,00							
Monthly shading reduction factor for external obstacles	$F_{sh,ob}$	[-]	0,80	0,80	0,80							
	$F_{sh,ob}$	[-]	0,80	0,80	0,80							
	$F_{sh,ob}$	[-]	0,80	0,80	0,80							
	$F_{sh,ob}$	[-]	0,80	0,80	0,80							
	$F_{sh,ob}$	[-]	0,80	0,80	0,80							
	$F_{sh,ob}$	[-]	0,80	0,80	0,80							
	$F_{sh,ob}$	[-]	0,80	0,80	0,80							
	$F_{sh,ob}$	[-]	0,80	0,80	0,80							
	$F_{sh,ob}$	[-]	0,80	0,80	0,80							
	$F_{sh,ob}$	[-]	0,80	0,80	0,80							
	$F_{sh,ob}$	[-]	0,80	0,80	0,80							
	$F_{sh,ob}$	[-]	0,80	0,80	0,80							

Figura A3.62 Componenti trasparenti confinanti con l'esterno.

A3.4.2 Involucro opaco

La definizione dei componenti dell'involucro opaco avviene nella scheda *Interscambio 52016.11 - Envelope Components* (si veda Figura A 3.63).

Nella v.11 del *tool* è possibile inserire 10 diverse tipologie di componenti opachi. Innanzitutto, per creare un nuovo componente è necessario specificare un codice univoco affinché sia richiamabile nelle sezioni successive. In seguito, si deve specificare a quali componenti di involucro ci si riferisce: parete, W; parete a cassavuota, CW; chiusura opaca superiore (vs. esterno), R; chiusura opaca inferiore, GF; solaio verso sottotetto, UF. Il terzo dato, riportato nella prima sezione, riguarda la definizione del confine: esterno, E; verso ambienti non climatizzati, U; verso terreno, T. Si specifica che al solaio verso sottotetto (struttura UF) deve essere associato il confine di zona termica non climatizzata, U. Inoltre, l'algoritmo non contempla delle pareti a cassavuota (struttura CW) confinanti con terreno o con ambienti non climatizzati, ma in tal caso si dovrà optare per una parete di tipo W. Inoltre, nel caso in cui si procedesse alla discretizzazione in nodi del componente opaco secondo l'Appendice Nazionale della norma UNI EN ISO 52016-1 [A11], sarà necessario specificare la posizione del materiale isolante nei successivi stati di progetto (EEM1, EEM3 o EEM4). Tale informazione risulta indispensabile, concordemente a questa metodologia, poiché determine uno specifico calcolo delle conduttanze, $h_{pli;eli}$, e delle capacità termiche areiche di ciascun nodo, $K_{pli;eli}$.

Essenzialmente, la definizione del componente di involucro opaco dal punto di vista termo-fisico può avvenire in due modi: specificando solamente la sua trasmittanza termica, riportata nella cella verde al fondo della Figura A 3 .63, oppure inserendo tutti gli strati componenti la stratigrafia. Quest'ultima soluzione è una condizione necessaria nel caso in cui la discretizzazione avvenisse concordemente con l'Appendice Nazionale della norma UNI EN ISO 52016-1 [A11].

Envelope Code	CVO01	Internal convective surface heat transfer coefficient of the building element eli , $h_{ci,eli}$	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	2,5	External convective surface heat transfer coefficient of the building element eli , $h_{ce,eli}$	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	20
Technical building component Wall = W; Cavity Wall = CW; Roof = R; Bottom floor = GF; Upper floor = UF	CW	Internal radiative surface heat transfer coefficient of the building element eli , $h_{ri,eli}$	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	5,13	External radiative surface heat transfer coefficient of the building element eli , $h_{re,eli}$	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	4,14
Direction of heat flow	Horizontal	According to the layer number indicate the position of the insulation for the EEM1, EEM3, or EEM4 (insert an integer from 1 to layer number)					
Boundary E = to outdoor; U = to unconditioned zone; T = to the ground	E	2					

Position	Layer Number	Layer name (from external to internal side)	Thickness s_i [m]	Conductivity λ_i [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Thermal resistance R_i [m ² ·K·W ⁻¹]	Density ρ_i [kg·m ⁻³]	Specific heat c_i [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	Thermal resistance R_i [m ² ·K·W ⁻¹]
External layer	1	Intonaco	0,02	0,900		1800	1000	0,022
Inside layer	2	Laterizio forato	0,12	0,590		1600	1000	0,203
Inside layer	3	Intercapedine d'aria	0,08		0,18	1,3	1008	0,180
Inside layer	4	Isolante in materiale plast.	0,03	0,059		50	1450	0,508
Inside layer	5	Laterizio forato	0,12	0,590		1600	1000	0,203
Internal layer	6	Intonaco	0,02	0,700		1400	1000	0,029
	7							
	8							
	9							
	10							
Thermal resistance of opaque building element eli , $R_{s,eli}$ [m ² ·K·W ⁻¹]								1,146
Class of building element eli (only if EN ISO 52016-1 original approach is set)								D
Class of areal heat capacity of the building element eli (only if EN ISO 52016-1 original approach is set)								Medium
Areal heat capacity of the building element eli , $\kappa_{m,eli}$ [J·m ⁻² ·K ⁻¹]								450279,832
Thermal resistance of the fixed ground layer, $R_{g,eli}$ [m ² ·K·W ⁻¹]								0,000
Areal heat capacity of the fixed ground element, $\kappa_{g,eli}$ [J·m ⁻² ·K ⁻¹]								0
Calculated thermal transmittance of building element eli , U-value [W·m ⁻² ·K ⁻¹]								0,760
Input thermal transmittance of building element eli , U-value (if the layers are not set) [W·m ⁻² ·K ⁻¹]								0,760
Thermal transmittance of building element eli , U-value [W·m ⁻² ·K ⁻¹]								0,760

Thickness [m]	0,39
Total layer	6
Number of nodes (Italian NA, 10-bis)	
Number of nodes (EN ISO 52016-1)	5

Figura A3.63 Definizione componente di involucro opaco.

Procedendo verso il caso più completo, l'utente dovrà inserire per ciascuno strato: il nome del materiale; la conducibilità termica, λ_i , o la resistenza termica, R_i ; la densità, ρ_i , e il calore specifico, c_i . Se la discretizzazione dei nodi avviene di concerto con l'approccio originale contenuto nella norma UNI EN ISO 52016-1 [A4], è necessario specificare la classe del componente di involucro (I, E, IE, D, M) e la classe di capacità termica areica solo nel caso in cui la $\kappa_{m,eli}$ non sia stata definita analiticamente a partire dai dati inseriti per ciascun materiale costituente la stratigrafia. Inoltre, l'utente può scegliere di inserire in ingresso il valore della trasmittanza termica del componente di involucro opaco. Tale dato avrà la precedenza anche nel caso in cui si fosse definita l'intera stratigrafia. Infine, per la discretizzazione in nodi dei componenti opachi secondo l'Appendice Nazionale della UNI EN ISO 52016-1 [A11], si procede all'attivazione della macro cliccando sul bottone: *Italian National Annex opaque nodes calculation*. Nel caso in cui si fosse optato per la procedura originale contenuta nella norma, il calcolo delle conduttanze, $h_{pli,eli}$, e delle capacità termiche areiche di ciascun nodo, $\kappa_{pli,eli}$, avverrà automaticamente.

In *EEOs - Envelope Components* si riporta il prospetto dei componenti di involucro opaco soggetti a riqualificazione energetica riferiti alle cinque *EEOs (Energy Efficiency Options)* per ciascuna misura di efficienza EEM interessata. Per ciascuno di essi si dovrà specificare la classe del componente di involucro e la classe di capacità termica areica, ove necessario. Tali valori dovranno essere indicati a seguito dell'inserimento dei valori di trasmittanza termica delle pareti, dei pavimenti e dei soffitti nel foglio *Optimization procedure*. Dopo tale operazione si dovrà inserire la classe del componente di involucro e la classe di capacità termica areica per i componenti interessati, riconoscibili dal *flag* uguale a "YES" (si veda Figura A 3 .64) ad essi associato. Infine, si potrà procedere all'attivazione della macro *Italian National Annex opaque nodes calculation* contenuta nel medesimo foglio di cui sopra.

Il foglio *Interscambio 52016.11 - EEOs - CW* conterrà invece le informazioni per procedere alla discretizzazione dei nodi in presenza di insufflaggio (EEM2) per le pareti a cassavuota, CW. A tal fine, affinché l'algoritmo riconosca la presenza di una parete a cassavuota (si veda Figura A 3.65), è necessario specificare nello stato di fatto l'intercapedine secondo una delle seguenti denominazioni: "aria", "intercapedine", "intercapedine d'aria", "crawl space", "air", "air space", "cavity". Successivamente si potrà procedere all'attivazione della macro *Italian National Annex opaque nodes calculation* contenuta nel medesimo foglio di cui sopra.

EEO5 - Opaque component eli _i								
Flag YES = Calculation NO = No calculation	YES							
Envelope Code	CVO01							
Technical building component	CW							
Direction of heat flow	Horizontal							
Boundary E = to outdoor; U = to unconditioned zone; T = to the ground	E							
		Internal convective surface heat transfer coefficient of the building element eli, $h_{ce,eli}$	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	2,5	Internal convective surface heat transfer coefficient of the building element eli, $h_{ce,eli}$	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	20	
		Internal radiative surface heat transfer coefficient of the building element eli, $h_{re,eli}$	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	5,13	Internal radiative surface heat transfer coefficient of the building element eli, $h_{re,eli}$	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	4,14	
Position	Layer Number	Layer name (from external to internal side)	Thickness s_i [m]	Conductivity λ_i [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Thermal resistance R_i [m ² ·K·W ⁻¹]	Density ρ_i [kg·m ⁻³]	Specific heat c_i [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	Thermal resistance R_i [m ² ·K·W ⁻¹]
External layer	0	Intonaco	0,02	0,900	0	1800	1000	0,022
Inside layer	1	EPS (W e CW)	0,13	0,034	0	50	1450	3,947
Inside layer	2	Laterizio forato	0,12	0,590	0	1600	1000	0,203
Inside layer	3	Intercapedine d'aria	0,08	0,000	0,18	1,3	1008	0,180
Inside layer	4	Isolante in materiale plastico	0,03	0,059	0	50	1450	0,508
Inside layer	5	Laterizio forato	0,12	0,590	0	1600	1000	0,203
Internal layer	6	Intonaco	0,02	0,700	0	1400	1000	0,029
	7							
	8							
	9							
	10							

Figura A3.64 Flag positivo: riqualificazione CW secondo EEO5 di EEM1 (esempio).

EEO2 - Opaque component eli _i								
Flag YES = Calculation NO = No calculation	YES							
Envelope Code	CVO01							
Technical building component	CW							
Direction of heat flow	Horizontal							
Boundary E = to outdoor; U = to unconditioned zone; T = to the ground	E							
		Internal convective surface heat transfer coefficient of the building element eli, $h_{ce,eli}$	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	2,5	Internal convective surface heat transfer coefficient of the building element eli, $h_{ce,eli}$	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	20	
		Internal radiative surface heat transfer coefficient of the building element eli, $h_{re,eli}$	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	5,13	Internal radiative surface heat transfer coefficient of the building element eli, $h_{re,eli}$	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	4,14	
Position	Layer Number	Layer name (from external to internal side)	Thickness s_i [m]	Conductivity λ_i [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Thermal resistance R_i [m ² ·K·W ⁻¹]	Density ρ_i [kg·m ⁻³]	Specific heat c_i [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	Thermal resistance R_i [m ² ·K·W ⁻¹]
External layer	1	Intonaco	0,02	0,900		1800	1000	0,022
Inside layer	2	Laterizio forato	0,12	0,590		1600	1000	0,203
Inside layer	3	Intercapedine insufflata	0,08	0,034		65	2110	2,388
Inside layer	4	Isolante in materiale plastico	0,03	0,059		50	1450	0,508
Inside layer	5	Laterizio forato	0,12	0,590		1600	1000	0,203
Internal layer	6	Intonaco	0,02	0,700		1400	1000	0,029
	7							
	8							
	9							
	10							

Figura A3.65 Flag positivo: riqualificazione CW secondo EEO2 di EEM2 (esempio).

Pertanto, i passaggi da effettuare per la corretta definizione dei componenti di involucro vengono riportati di seguito:

1. Definire tutte le tipologie di componenti di involucro opachi e trasparenti considerati nel modello energetico dello stato di fatto in *Interscambio 52016.11 - Envelope Components*;
2. Aggiornare i valori (passare all'opzione "Calcolo automatico"; si consiglia una volta completati gli aggiornamenti di tornare all'opzione "Calcolo manuale");
3. Attivare la macro per la discretizzazione in nodi dei componenti opachi, se si è scelto il calcolo secondo l'Appendice Nazionale della UNI EN ISO 52016-1 [A11];
4. Inserire le trasmittanze termiche per le misure di efficienza energetica (EEM1 ÷ EEM5) in *Optimization procedure - EEM*;
5. Aggiornare i valori ("Calcolo automatico"), affinché il file *Interscambio 52016.11* si aggiorni in funzione dei valori prescelti;
6. Per l'*i-esimo* elemento opaco e nel caso in cui il relativo *flag* fosse uguale a "YES" (si procede alla riqualificazione energetica del medesimo), specificare la classe del componente di involucro e la classe di capacità termica areica in *Interscambio 52016.11 - EEOs - Envelope Components*. Per i serramenti sarà sufficiente inserire in input la tipologia di vetro per le varie EEO di EEM5;
7. Aggiornare i valori ("Calcolo automatico");
8. Attivare la macro per la discretizzazione in nodi dei componenti opachi, se si è scelto il calcolo secondo l'Appendice Nazionale della UNI EN ISO 52016-1 [A11];
9. Ripetere i passaggi 6, 7, 8 nel caso in cui sia prevista una procedura di riqualificazione con insufflaggio di una parete a cassavuota. Tuttavia, tali operazioni dovranno essere effettuate nel modulo *Interscambio 52016.11 - EEOs - Envelope Components*.

In *Interscambio 52016.11 - Envelope Components* è possibile anche caratterizzare fino a cinque portoni di ingresso specificando: il codice di involucro; la direzione del flusso termico; la trasmittanza termica dell'elemento, $U_{d-value}$. I portoni di ingresso agli edifici non sono oggetto di intervento di riqualificazione energetica.

In *Thermal Zone – Components* si dovrà costruire l'involucro opaco che racchiude la zona termica, associando i componenti appena inseriti. Per ciascun modello, si potranno specificare 10 componenti di involucro confinanti con l'ambiente esterno (componenti nr. 11 ÷ 20) e 10 confinanti con ambienti non climatizzati o con il terreno (componenti nr. 21 ÷ 30).

Come riportato in Figura A 3 .66, per la definizione del componente di involucro opaco verso l'esterno l'utente dovrà inserire: il codice identificativo del componente; l'orientamento del componente; la sua superficie, A_{eli} ; il fattore di assorbimento solare, $a_{sol;eli}$; lo spessore dell'intercapedine nel caso di pareti a cassavuota, CW; l'emissività ad alta lunghezza d'onda, ϵ_{eli} ; il fattore di vista, $F_{sky;eli}$; il fattore di riduzione per ombreggiatura relativo alla sola radiazione diffusa, $F_{sh,ob,dif}$; il fattore di riduzione per ombreggiatura da ostacoli esterni su base mensile, $F_{sh,ob}$.

Anche per il componente opaco confinante con ambienti non climatizzati o con il terreno si devono inserire: il codice identificativo del componente; l'orientamento del componente; la sua superficie, A_{eli} ; il fattore di assorbimento solare, $a_{sol;eli}$; la definizione del confine (U = ambiente non climatizzato, T = terreno); il codice della zona non climatizzata; il fattore di correzione dello scambio di energia termica tra ambienti climatizzato e non climatizzato, $b_{ztu;m}$; il fattore di vista tra il componente e la volta celeste, $F_{sky;eli}$. Nel caso in cui il modello energetico possedesse diversi ambienti non climatizzati con diverso $b_{ztu;m}$ allora l'utente, nel campo *Code of adjacent thermally unconditioned zone ztu*, dovrà associare loro un numero intero crescente a partire da 1 per identificare univocamente la zona non climatizzata adiacente (si veda Figura A 3 .67). Per un componente opaco confinante con il terreno, T, il predetto campo dovrà essere lasciato vuoto.

Nota 7

Di concerto con le EEM1 e EEM2, il *tool* non permette di riqualificare energeticamente componenti edilizi confinanti con ambienti non climatizzati o con il terreno (es. pareti controterra)

			HEAT TRANSFER SURFACES: OPAQUE COMPONENTS TO OUTDOORS									
Parameter	Symbol	Unit	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Envelope Code			CVO01	CVO01	CVO01	CVO01	COS01					
Technical element (WI = Window; for opaque component to outdoor: Wall = W; Cavity Wall = CW; Roof = R; Bottom floor = GF; for opaque component to adjacent unconditioned space/ground: Wall = W; Upper floor = UF; Bottom floor = GF; Door = D)			CW	CW	CW	CW	UF					
Orientation Code			N	S	E	O	HOR					
Extended Code			CVO01_CW_N	CVO01_CW_S	CVO01_CW_E	CVO01_CW_O	COS01_UF_HOR					
Area of the building element a_{el}	A_{el}	[m ²]	61,0	53,0	65,0	65,0	133,0					
Cavity thickness (only for opaque components if CW is set)	d_{el}	[m]	0,08	0,08	0,08	0,08						
Solar absorption at the external surface	$\alpha_{sol,ext}$	[-]	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60					
Long-wave emissivity of the building element ϵ_{el}	ϵ_{el}	[-]	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90					
View factor to the sky	$F_{sky,el}$	[-]	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00					
Diffuse radiation shading reduction factor for external obstacles	$F_{sh,ob,dif}$	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00					
Monthly shading reduction factor for external obstacles	$F_{sh,ob,jan}$	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00					
	$F_{sh,ob,feb}$	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00					
	$F_{sh,ob,march}$	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00					
	$F_{sh,ob,apr}$	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00					
	$F_{sh,ob,may}$	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00					
	$F_{sh,ob,jun}$	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00					
	$F_{sh,ob,jul}$	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00					
	$F_{sh,ob,aug}$	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00					
	$F_{sh,ob,sep}$	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00					
	$F_{sh,ob,oct}$	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00					
	$F_{sh,ob,nov}$	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00					
	$F_{sh,ob,dec}$	[-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00					

Figura A3.66 Associazione componenti di involucro vs. esterno.

			HEAT TRANSFER SURFACES: OPAQUE COMPONENTS TO ADJACENT UNCONDITIONED SPACE/GROUND									
Parameter	Symbol	Unit	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Envelope Code			COI01	COI02	COS01	CVO02	COI03	CVO02	CVO03	COS02		
Technical element (WI = Window; for opaque component to outdoor: Wall = W; Cavity Wall = CW; Roof = R; Bottom floor = GF; for opaque component to adjacent unconditioned space/ground: Wall = W; Upper floor = UF; Bottom floor = GF; Door = D)			GF	GF	UF	W	GF	W	W	UF		
Orientation Code			HOR	HOR	HOR	NE	HOR	NE	NE	HOR		
Extended Code			COI01_GF_HOR	COI02_GF_HOR	COS01_UF_HOR	CVO02_W_NE	COI03_GF_HOR	CVO02_W_NE	CVO03_W_NE	COS02_UF_HOR		
Area of the building element a_{el}	A_{el}	[m ²]	1592,5	1095,6	2240,9	97,9	201,7	19,0	80,3	579,7		
Solar absorption at the external surface	$\alpha_{sol,ext}$	[-]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Adjacent thermally unconditioned zone z_{tu} (U = unconditioned; T = ground)			U	U	U	U	U	U	T	U		
Code of adjacent thermally unconditioned zone z_{tu}			1,00	1,00	2,00	3,00	1,00	4,00		2,00		
Monthly adjustment factor for adjacent thermally unconditioned zone z_{tu}	$b_{z_{tu},jan}$	[-]	1,00	1,00	0,90	0,50	1,00	0,40	0,45	0,90		
	$b_{z_{tu},feb}$	[-]	1,00	1,00	0,90	0,50	1,00	0,40	0,45	0,90		
	$b_{z_{tu},march}$	[-]	1,00	1,00	0,90	0,50	1,00	0,40	0,45	0,90		
	$b_{z_{tu},apr}$	[-]	1,00	1,00	0,90	0,50	1,00	0,40	0,45	0,90		
	$b_{z_{tu},may}$	[-]	1,00	1,00	0,90	0,50	1,00	0,40	0,45	0,90		
	$b_{z_{tu},jun}$	[-]	1,00	1,00	0,90	0,50	1,00	0,40	0,45	0,90		
	$b_{z_{tu},jul}$	[-]	1,00	1,00	0,90	0,50	1,00	0,40	0,45	0,90		
	$b_{z_{tu},aug}$	[-]	1,00	1,00	0,90	0,50	1,00	0,40	0,45	0,90		
	$b_{z_{tu},sep}$	[-]	1,00	1,00	0,90	0,50	1,00	0,40	0,45	0,90		
	$b_{z_{tu},oct}$	[-]	1,00	1,00	0,90	0,50	1,00	0,40	0,45	0,90		
	$b_{z_{tu},nov}$	[-]	1,00	1,00	0,90	0,50	1,00	0,40	0,45	0,90		
	$b_{z_{tu},dec}$	[-]	1,00	1,00	0,90	0,50	1,00	0,40	0,45	0,90		
View factor to the sky	$F_{sky,el}$	[-]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		

Figura A3.67 Associazione componenti di involucro vs. locali non climatizzati e vs. terreno.

Nota 8

Nei modelli energetici non saranno considerate le partizioni interne verticali. Quelle orizzontali, invece, vengono computate nel calcolo della capacità termica della zona

A3.4.3 Ponti termici

In *Interscambio 52016.11 - Thermal Bridges* si devono inserire i dati relativi ai ponti termici. Per ciascuna tipologia (*R* = roof, *B* = balconies, *C* = corners, etc.) si deve specificare il confine del sistema (ambiente esterno, *E*; ambiente non climatizzato, *U*; terreno, *T*), il fattore di correzione b_{tr} , la lunghezza del ponte termico, l , e la trasmittanza termica lineica, ψ .

Thermal Bridges - Current state				
NAME R = roofs; B = balconies; C = corners; IF = intermediate floors; IW = intermediate walls; SGF = slab on ground; P = pillars; W = windows	ADJACENT ZONE E = outdoor; U = unconditioned; T = ground	Heat transfer coefficient	Length	Lineic thermal transmittance
		b_{tr}	l	ψ
		[-]	[m]	[W·m ⁻¹ K ⁻¹]
R	E	1,0	98	-1,658
B				
C	E	1,0	86	-0,760
IF	E	1,0	1185	0,462
IW				
SGF				
P	E	1,0	1456	0,517
W	E	1,0	2799	0,232

Figura A3.68 Ponti termici del modello allo stato di fatto.

Nel caso in cui siano previste delle EEM relative all'isolamento termico delle superfici opache o determinino la sostituzione dei serramenti (EEM1 ÷ EEM5) l'utente dovrà inserire i valori di trasmittanza termica lineica aggiornati per i nuovi ponti termici che si verranno a generare.

Con riferimento all'esempio proposto (si veda Figura A 3.69), in funzione dei diversi livelli EEO, l'algoritmo è in grado di considerare i diversi valori di trasmittanza termica lineica, ψ , nel caso in cui si vada a coibentare la parete, la copertura, oppure si vada ad intervenire su entrambi i componenti opachi. Lo sviluppo lineare del ponte termico rimarrà quello dello stato di fatto.

R	ψ [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	External wall thermal insulation					
		EEM 1.1	EEM 1.2	EEM 1.3	EEM 1.4	EEM 1.5	
Roof thermal insulation	EEM 3.1						
	EEM 3.2		0,278	0,278	0,278	0,278	
	EEM 3.3		0,278	0,278	0,278	0,278	
	EEM 3.4		0,278	0,278	0,278	0,278	
	EEM 3.5		0,278	0,278	0,278	0,278	
	5						

Figura A3.69 Ponte termico fra chiusura verticale e copertura (esempio).

Nota 9

La trasmittanza termica delle strutture opache e trasparenti non tiene conto dell'influenza dovuta ai ponti termici, i quali vengono perciò valutati separatamente

Nota 10

Per la medesima tipologia di ponte termico (*R* = roofs; *B* = balconies; *C* = corners; *IF* = intermediate floors, etc.) è possibile specificare solamente un valore di trasmittanza termica lineica, ψ . Si consiglia pertanto di ponderare preliminarmente il predetto parametro, in caso coesistessero più configurazioni di ponte termico per la stessa tipologia

A3.4.4 Chiusure oscuranti e schermature solari

La v.11 del *tool* permette di generare automaticamente i profili orari di funzionamento dei sistemi oscuranti e delle schermature solari in *Interscambio 52016.11 - Shading Devices Operation*. L'algoritmo recepisce per entrambi quanto indicato nella norma UNI EN ISO 52016-1 [A4].

Nello specifico per le chiusure oscuranti bisogna specificare il livello di controllo sul sistema, scegliendo fra: (1) operatività manuale; (2) operatività motorizzata con controllo manuale; (3) operatività motorizzata con controllo automatico e (4) operatività comandata da un impianto. Nel caso in cui si ricadesse in uno dei primi due livelli descritti, l'utente dovrà specificare anche il numero di *sleeping hours*. La generazione dei profili di apertura e chiusura dei sistemi oscuranti avverrà cliccando sul bottone *Start the shutters generation profile*.

Uguualmente, per le schermature solari l'utente dovrà scegliere fra uno dei quattro livelli di controllo sopraelencati. Successivamente si dovrà cliccare il bottone *Start the solar shading devices profile*, affinché si definisca per ciascuna finestra l'operatività o meno della schermatura solare.

In entrambi i casi, prima di attivare la generazione automatica dei profili, si raccomanda di compilare la sezione relativa all'involucro trasparente, presente in *Interscambio 52016.11 - Thermal Zone – Components*, affinché l'algoritmo recepisca gli orientamenti delle finestre coinvolte.

Nota 11

Si prevede l'installazione delle schermature solari nei punti cardinali compresi fra Est e Ovest passando per il Sud. Non è possibile procedere né all'installazione di schermature solari a protezione di elementi trasparenti posti in copertura né al loro ipotetico intervento di sostituzione

A3.5 Sottosistema di emissione e regolazione

A3.5.1 Riscaldamento

In *Input data_Zone – H_DHW* per definire i sottosistemi di emissione e regolazione dell'impianto di riscaldamento, l'utente dovrà procedere ad inserire: la tipologia di terminale di emissione installato (radiatori, *fancoil*, pannelli radianti, etc.); il rendimento di regolazione, $\eta_{h,rg}$; la potenza elettrica assorbita dagli ausiliari elettrici, $P_{h,er,aux}$. In presenza di regolazione climatica la cella relativa al rendimento di regolazione deve essere lasciata vuota.

HEATING SYSTEM (H)			
			current building
Heat emitters	-	-	Radiant heating panels
H emission efficiency	$\eta_{h,er}$	[-]	0,980
H control efficiency	$\eta_{h,rg}$	[-]	
H emission auxiliary electrical power	$P_{h,er,aux}$	[W]	0

Figura A3.70 Sottosistema di emissione e regolazione impianto di riscaldamento.

Come indicato nella UNI/TS 11300-2 [A5], il rendimento di emissione è funzione del carico termico medio annuo e della trasmittanza termica delle pareti su cui è installato il terminale di emissione. Pertanto, il rendimento di emissione viene corretto automaticamente dal *tool* in presenza di un intervento di isolamento termico delle pareti.

Nota 12

Nel calcolo del rendimento dei terminali di emissione si è assunta che l'altezza netta dei locali sia inferiore a 4 m. Nel caso in cui siano installati i pannelli radianti, il *tool* non permette di applicare la correzione f_{emb} sul rendimento di emissione

Per le tre misure che riguardano l'impianto di riscaldamento (EEM8, EEM10, EEM11), l'utente dovrà specificare preliminarmente, in funzione del diverso livello di EEO, la tipologia di terminale di emissione, inserendo anche la potenza elettrica assorbita dagli ausiliari, nel caso in cui sia scelto il ventilconvettore come tipologia. Di conseguenza, il *tool* permette di intervenire sia sul generatore sia sui sottosistemi di emissione e regolazione. Come verrà spiegato in seguito, deve esserci coerenza con quanto specificato in *Optimization procedure – EEM* e negli altri fogli di calcolo.

EEM 8.1	EEM 8.2	EEM 8.3	EEM 8.4	EEM 8.5
	Radiators	Fan coils	Fan coils	Fan coils
$P_{h,er,aux}$	0,0	1200,0	1200,0	1200,0

Figura A3.71 EEM8: sistemi di emissione del calore e potenza elettrica degli ausiliari.

A3.5.2 Acqua calda sanitaria

Per quanto concerne la produzione di acqua calda sanitaria l'unico dato da inserire da parte dell'utente in *Input data_Zone – H_DHW* riguarda il rendimento di erogazione, $\eta_{w,er}$, il quale valore è stato impostato di *default* pari all'unità, cioè privo di perdite.

Volume of domestic hot water delivered	V_w	[l/day]	1322
Specified temperature of domestic hot water at tapping point (compulsory field)	$\theta_{w,er}$	[°C]	40
Temperature of the inlet water	$\theta_{w,0}$	[°C]	14,3
DHW emission efficiency	$\eta_{w,er}$	[-]	1,00

Figura A3.72 Rendimento del sottosistema di erogazione dell'impianto di ACS.

Per calcolare il volume d'acqua calda giornaliero, V_w , l'utente dovrà specificare in *Input data_Zone – Volume of DHW* la destinazione d'uso dell'edificio scegliendo fra quelle al momento implementate all'interno del *tool*: residenziale, uffici o scuola. Inoltre, è necessario specificare il numero di unità facenti parte della medesima zona o il numero di studenti nel caso in cui ci si riferisse all'edificio adibito ad uso scolastico.

Nota 13

Per gli edifici non residenziali, il *tool* non permette di calcolare automaticamente il volume d'acqua calda giornaliero, V_w , in funzione dei parametri a e N_u , ad eccezione di alcune destinazioni d'uso (uffici e scuola)

A3.5.3 Raffrescamento

Per la compilazione dei dati riguardanti il sottosistema di emissione e regolazione dell'impianto di raffrescamento è indispensabile definire in *Input data_Zone - C*: la presenza dell'impianto; il rendimento di emissione, $\eta_{c,er}$; la potenza elettrica assorbita dagli ausiliari, $P_{c,er,aux}$; il livello di velocità dei ventilatori; il rendimento di regolazione, $\eta_{c,rg}$, in conformità alla UNI/TS 11300-3 [A6]. Nel caso in cui si rilevi l'assenza di un sistema di climatizzazione estivo, il *tool* non procede a calcolare il fabbisogno associato al predetto servizio energetico.

CHILLER			
			current building
C emission efficiency	$\eta_{c,er}$	[-]	0,97
C emission auxiliary electrical power (total building)	$P_{c,er,aux}$	[W]	600
C fan speed (low/medium/high)	-	-	low
C control efficiency	$\eta_{c,rg}$	[-]	0,94

Figura A3.73 Dati dei sottosistemi di emissione e regolazione dell'impianto di raffrescamento.

Nel caso in cui si intervenisse sul sistema di raffrescamento, attraverso le misure EEM7 e/o EEM11, preliminarmente l'utente dovrà inserire: il rendimento di emissione, $\eta_{c,er}$; la potenza assorbita dagli ausiliari elettrici, $P_{c,er,aux}$; il livello di velocità dei ventilatori; il rendimento di regolazione, $\eta_{c,rg}$, valido per tutti i livelli della medesima misura. Si ricorda che, anche in questo caso, deve esserci coerenza con quanto specificato in *Optimization procedure – EEM* e negli altri fogli di calcolo.

EEM 7	EEM 11	EEM 7.1	EEM 7.2	EEM 7.3	EEM 7.4	EEM 7.5
			Split			
		$P_{c,er,aux}$	600			
			low			
0,94	0,94					

$\eta_{c,er}$

Figura A3.74 EEM7 e EEM11: dati riguardanti l'impianto di raffrescamento.

A3.6 Sottosistema di distribuzione

A3.6.1 Riscaldamento

Nel foglio *Input_Distribution – Heating* per ciascun circuito del sistema di climatizzazione invernale è necessario definire: il rendimento di distribuzione medio stagionale, $\eta_{h,d}$; la potenza degli ausiliari elettrici, $P_{h,d,aux}$; il regime di funzionamento della pompa (variabile o continuo). Tali parametri saranno validi sia per lo stato di fatto sia per i successivi stati di progetto. Il numero massimo di circuiti definibile è pari a sei e solo una tipologia di questi potrà essere associata a ciascuna zona termica.

			CIRCUITO A
H distribution efficiency	$\eta_{h,d}$	[-]	0,889
H distribution auxiliary electrical power	$P_{h,d,aux}$	[W]	787
H pump operation mode			intermittent

Figura A3.75 Dati del sottosistema di distribuzione dell'impianto di riscaldamento.

Nota 14

Per ciascuna zona termica, si può definire solamente una tipologia di rete di distribuzione, la quale non è oggetto di intervento in un eventuale stato di progetto (EEM8, EEM10, EEM11). Inoltre, il *tool* non contempla il calcolo dettagliato delle perdite nel sottosistema di distribuzione $Q_{l,d}$ previsto dall'Allegato A della UNI/TS 11300-2 [A5]

A3.6.2 Acqua calda sanitaria

Per definire il sottosistema di distribuzione dell'impianto di acqua calda sanitaria l'utente deve specificare in *Input_Distribution – DHW* il rendimento di distribuzione, $\eta_{w,d}$. In assenza di ricircolo, il rendimento di distribuzione della rete può essere desunto dal Prospetto 34 della UNI/TS 11300-2 [A5] considerando il fattore di perdita e il fattore di recupero in funzione dell'epoca di costruzione.

Nota 15

La rete di distribuzione è unica per l'intero edificio, indipendentemente dal numero

di zone termiche. Tale sottosistema non è oggetto di intervento in eventuali stati di progetto che riguardano la produzione di acqua calda sanitaria (EEM9, EEM10, EEM11)

A3.6.3 Raffrescamento

Per la definizione del sottosistema di distribuzione per l'impianto di raffrescamento è necessario specificare in *Input_Distribution – Cooling*: il rendimento di distribuzione, $\eta_{c,d}$; la potenza elettrica degli ausiliari di distribuzione, $P_{c,d,aux}$; la lunghezza delle tubazioni, $l_{c,d}$; la percentuale della portata nominale sia per l'unità interna sia per quella esterna, in modo tale da poter determinare i coefficienti di correzione, η_4 e η_5 . Dopo aver inserito nella prima colonna di Figura A 3.76 i parametri relativi allo stato di fatto, è possibile inserire i medesimi dati anche per le due misure EEM7 e EEM11. Queste ultime due colonne della tabella dovranno essere compilate solo nel caso in cui si abbia l'intenzione di voler procedere con lo specifico intervento in *Optimization procedure - EEM*. Ad esempio, con riferimento al caso proposto, la simulazione di uno stato di progetto con l'intervento EEM11 non verrà condotta.

			current building	EEM 7	EEM 11
C distribution efficiency	$\eta_{c,d}$	[-]	1,00	1,00	
C distribution auxiliary electrical power	$P_{c,d,aux}$	[W]			
C pipes lenght	$l_{c,d}$	[m]	3	3	
C fraction of the nominal flow rate (indoor unit)	-	[%]	80	80	
C fraction of the nominal flow rate (outdoor unit)	-	[%]	80	80	

Figura A3.76 Dati del sottosistema di distribuzione dell'impianto di raffrescamento.

Nota 16

La rete di distribuzione dell'impianto di raffrescamento è unica per l'intero edificio, indipendentemente dal numero di zone termiche. Tale sottosistema è oggetto di intervento per le misure EEM7 e EEM11

A3.7 Sottosistema di generazione

Per ciascuna EEM e per ogni livello associato alla misura definita nel foglio *Optimization procedure - EEM*, che verrà descritto in seguito, è necessario in *Input_General – Global Cost* specificare il vettore energetico scegliendo fra quelli proposti (si veda Figura A 3.77). Nella schermata inferiore, invece, si deve individuare la tipologia di generatore installato (chiller, TLR, biomassa, etc.; si veda Figura A 3.78) e il numero di unità tecniche installate, ad esempio in presenza di un condominio. Si specifica che le colonne della tabella dei vettori energetici devono essere coerenti con le righe della tabella dei generatori, le quali a loro volta devono essere coerenti con le informazioni inserite nel foglio *Optimization procedure - EEM*.

EEM		Energy carrier/Sources				
		Level of EEO				
		1	2	3	4	5
7	High efficiency chiller (CHIL)		ELECTRICITY			
8	High efficiency generator for space heating (GHS)		NATURAL GAS	NATURAL GAS	ELECTRICITY (HP)	ELECTRICITY (HP)
9	High efficiency generator for DHW (HES-DHW)		NATURAL GAS	NATURAL GAS		
10	High efficiency combined generator for space heating and hot water	NATURAL GAS	NATURAL GAS			
11	Heat pump for heating, cooling and hot water					
12	Thermal solar systems (SOL)		THERMAL ENERGY FROM SOLAR COLLECTORS	THERMAL ENERGY FROM SOLAR COLLECTORS	THERMAL ENERGY FROM SOLAR COLLECTORS	
13	PV system (PV)		ELECTRICITY FROM PV	ELECTRICITY FROM PV	ELECTRICITY FROM PV	
14	Heat recovery - mechanical ventilation system (ERVS)					
15						
16	Lighting power density (LPD)					
17						

Figura A3.77 Vettori energetici per le EEM specificate (*Input_General – Global Cost*).

	Technical system	Unit number (boiler)
7.1		
7.2	Chiller	12
7.3		
7.4		
7.5		
8.1		
8.2	Low temperature boiler	1
8.3	Condensing boiler	1
8.4	Heat pump	1
8.5	Heat pump	1
9.1		
9.2	Low temperature boiler	12
9.3	Condensing boiler	12
9.4		
9.5		
10.1	Low temperature boiler	12
10.2	Condensing boiler	12
10.3		
10.4		
10.5		
11.1		
11.2		
11.3		
11.4		
11.5		

Figura A3.78 Tipologia di generatore e numero di unità installate (*Input_General – Global Cost*).

A3.7.1 Riscaldamento

Per definire nel modello dello stato di fatto il sottosistema di generazione lato riscaldamento, gli input da inserire in *Input_Generator – Heating* sono: la potenza nominale del generatore installato, $\Phi_{h,pn}$; la potenza elettrica degli ausiliari, $W_{h,g,aux}$; il rendimento del sottosistema di generazione, $\eta_{h,g}$; il vettore energetico utilizzato.

			current building
H generator nominal power	$\Phi_{h,pn}$	[kW]	80
H generation auxiliary electrical power	$W_{h,g,aux}$	[W]	395
H generation efficiency (if HP keep it empty)	$\eta_{h,g}$	[-]	0,85
Energy carrier/Sources			
HEATING (H) (if HP keep it empty)			NATURAL GAS

Figura A3.79 Dati del sottosistema di generazione dell'impianto di riscaldamento.

La potenza termica nominale del generatore per gli interventi EEM8 e EEM10 è calcolata a partire da un calcolo del carico termico di progetto invernale semplificato. Oltre ai dati precedentemente elencati, i valori di η_{gn} sono specificati in *Optimization procedure - EEM*. Come descritto precedentemente, l'indicazione sui vettori energetici è inserita in *Input_General – Global Cost*. Un esempio di compilazione è riportato nelle Figura A 3 .80 e Figura A 3 .81: si noti la coerenza con la quale vengono compilati i diversi dati riferiti ai differenti livelli di EEO nei due fogli di calcolo.

8	GENERATOR FOR SPACE HEATING AND APPROPRIATE EMISSION SYSTEM	1	Generator efficiency at design conditions	η_{gn}	5	0,94	1	3,7	4,1
9	GENERATOR FOR DHW	1	Generator efficiency at design conditions	$\eta_{gn,Pn,W}$	3	0,93	1		
10	COMBINED GENERATOR FOR SPACE HEATING AND DHW. AND APPROPRIATE	1	Generator efficiency at design conditions	η_{gn}	2	0,93	1		

Figura A3.80 EEM per l'impianto di riscaldamento (*Optimization procedure - EEM*).

8	High efficiency generator for space heating (GHS)		NATURAL GAS	NATURAL GAS	ELECTRICITY (HP)	ELECTRICITY (HP)
9	High efficiency generator for DHW (HES-DHW)		NATURAL GAS	NATURAL GAS		
10	High efficiency combined generator for space heating and hot water	NATURAL GAS	NATURAL GAS			

Figura A3.81 Vettori energetici per EEM riguardanti l'impianto di riscaldamento (*Input_General - Global Cost*).

EEM 8.1	EEM 8.2	EEM 8.3	EEM 8.4	EEM 8.5	EEM 10.1	EEM 10.2	EEM 10.3	EEM 10.4	EEM 10.5
	395	395	0	0	395	395			

Figura A3.82 Potenza elettrica assorbita dagli ausiliari di generazione.

A3.7.2 Acqua calda sanitaria

Con riferimento al sottosistema di generazione per la produzione di ACS, l'utente deve specificare in *Input_Generator - DHW*: la presenza o meno di un accumulo con il relativo valore di dispersione termica dell'apparecchio, k_{boll} ; il numero di unità, in funzione della destinazione d'uso, per determinare il volume e la potenza dell'apparecchio; il fattore di correzione di temperatura, b_{tr} , nel caso in cui l'accumulo fosse installato in un ambiente non climatizzato; la potenza elettrica degli ausiliari, $P_{\text{w,d,aux}}$; la tipologia del sistema, se combinato o meno con il sistema di riscaldamento; il rendimento, $\eta_{\text{w,g}}$; il vettore energetico utilizzato. Nel caso in cui il generatore fosse una pompa di calore, i valori dovranno essere compilati nella successiva scheda *HP*.

			current building (NO HP)
DHW storage (Yes/Not)	-	-	Not
DHW storage heat transfer coefficient (if any)	k_{boll}	[W/K]	
DHW storage water average temperature (if any)	$\theta_{\text{avg,w,s}}$	°C	60
DHW temp. correction coefficient for the storage room (if any)	b_{tr}	-	0,70
DHW distribution auxiliary electrical power	$P_{\text{w,d,aux}}$	[W]	0
DHW generation typology (combined/single)	-	-	single
DHW generation efficiency (if combined or HP, keep it empty)	$\eta_{\text{w,g}}$	[-]	0,75
Energy carrier/Sources			
DOMESTIC HOT WATER (DHW) (if HP keep it empty)			ELECTRICITY

Figura A3.83 Dati dei sottosistemi di accumulo e di generazione dell'impianto di ACS.

Se nelle misure EEM9 o EEM10 viene assunta la presenza dell'accumulo allora il *tool*, in funzione del volume dell'apparecchio e del numero di unità, determina il k_{boll} . Nel caso in cui si volesse procedere a riquilibrare energeticamente il sottosistema di generazione dell'impianto di ACS nei successivi stati di progetto, allora l'utente dovrà specificare le tipologie di vettore energetico in *Input_General - Global Cost*, alle righe EEM9, EEM10 e EEM11.

Nota 17

La produzione di ACS da generatore a biomassa o da teleriscaldamento è ammessa solo se il sistema è combinato con il riscaldamento (EEM10). Nel modello dello stato di fatto non è possibile assumere la presenza dei predetti generatori

Nota 18

La produzione di ACS da boiler elettrico è ammessa solo nel modello energetico dello stato di fatto

Nota 19

L'accumulo in presenza di un generatore a biomassa è obbligatorio. Se nello stato di

fatto è presente l'accumulo, questo comparirà anche nei successivi stati di progetto

A3.7.3 Raffrescamento

Similmente a ciò che avviene per il sottosistema di generazione lato riscaldamento, anche per il raffrescamento si deve specificare in *Input_Generator – Cooling*: la potenza nominale del generatore, $\Phi_{c,Pn}$; l'*Energy Efficiency Ratio*, *EER*; la potenza elettrica assorbita dagli ausiliari elettrici, $W_{c,aux}$; il vettore energetico dello stato di fatto.

Con riferimento alle misure EEM7 e EEM11, in *Input_Generator – Cooling*, l'utente dovrà inserire la potenza nominale del generatore; i valori dei rendimenti delle macchine frigorifere in condizioni di progetto dovranno essere specificati in *Optimization procedure - EEM*. Pertanto, le celle contenenti i valori di *EER* si presenteranno di colore giallo poiché conterranno dei collegamenti col predetto foglio. Il valore di $W_{c,aux}$ per la EEM11 verrà posto pari al valore inserito nello stato di fatto. La tipologia di vettore energetico per le misure EEM7 e EEM11 dovrà essere definita, con riferimento alla specifica EEO, nel foglio *Input_General - Global Cost*.

			current building	EEM 7	EEM 11
C storage insulation conductivity	λ_s	[W/mK]			
C storage surface	S	[m ²]			
C storage insulation thickness	d	[m]			
C generator nominal power	$\Phi_{c,Pn}$	[kW]	15	62	
C Energy Efficiency Ratio	EER	[-]	2,35		
C generator auxiliary electrical power	$W_{c,aux}$	[W]	0	0	0
Energy carrier/Sources					
COOLING (C)			ELECTRICITY		

Figura A3.84 Dati del sottosistema di generazione dell'impianto di raffrescamento.

A3.7.4 Fonti rinnovabili

Per definire un generatore a pompa di calore, l'utente dovrà specificare *Input_Generator – HP*: la potenza termica nominale, $\Phi_{h,Pn}$; il *COP* in condizioni di progetto e il coefficiente di scambio termico dell'accumulo, k_{bol} . Il vettore energetico sarà impostabile su "elettricità", in quanto nel *tool* sono implementate solo pompe di calore a compressione di vapore e ad assorbimento di gas. La taglia del generatore, con riferimento alle misure EEM8, EEM9, EEM10, EEM11, si autodefinirà in funzione del carico termico di progetto. Il *COP* riferito alle condizioni di progetto, invece, dovrà essere specificato dall'utente nel foglio *Optimization procedure – EEM*, rispettivamente alle righe EEM8, EEM9, EEM10, EEM11 e il valore sarà ripreso dal foglio appena descritto. La tipologia di vettore energetico per le misure indicate dovrà essere definita, con riferimento alla specifica EEO, nel foglio *Input_General - Global Cost*.

			current building
Energy use			
HP Thermal power at $\theta_e -5^\circ\text{C}$ and $\theta_{in} 45^\circ\text{C}$ In case of W only --> at $\theta_e -5^\circ\text{C}$ and $\theta_{in} 55^\circ\text{C}$	$\Phi_{h,Pn}$	[kW]	
HP Coefficient Of Performance at $\theta_e 7^\circ\text{C}$ and $\theta_{in} 45^\circ\text{C}$ In case of W only --> at $\theta_e 7^\circ\text{C}$ and $\theta_{in} 55^\circ\text{C}$	COP	[-]	
HP Electric power input	W_{hp}	[W]	
Storage heat transfer coefficient (used only for DHW)	k_{bol}	[W/K]	

Figura A3.85 Dati di input per la pompa di calore.

Nota 20

L'accumulo in presenza di un generatore a pompa di calore è obbligatorio. Se nello stato di fatto è presente l'accumulo, questo comparirà anche nei successivi stati di progetto

Per quanto concerne i moduli fotovoltaici, l'unica informazione da inserire in *Input_Generator – PV* riguarda il livello di ventilazione, in particolare occorre specificare se l'impianto è non ventilato, debolmente ventilato o adeguatamente ventilato (in accordo con la UNI/TS 11300-4 [A7]). La potenza di picco dei moduli fotovoltaici, W_p , deve essere specificata nel foglio *Optimization procedure – EEM* alla riga relativa all'EEM13. Sebbene la scelta sia univoca per le diverse EEO, si ricorda di specificare in *Input_General - Global Cost* la produzione di energia elettrica da impianto fotovoltaico.

Nota 21

Nel modello dello stato di fatto non è possibile assumere la presenza di un impianto fotovoltaico

Nota 22

Per la simulazione di un impianto fotovoltaico (misura EEM13), nel *tool* si assume di *default* che i pannelli siano installati a Sud su una superficie con un'inclinazione β pari a 30° rispetto al piano orizzontale. Nel caso in cui si intendesse analizzare la produzione elettrica per diversi valori di azimuth, Φ e inclinazioni rispetto al piano orizzontale, β si dovrà procedere a fornire in ingresso, nel foglio *Interscambio 52016.11 – Climatic Data*, i valori di irradianza solare diretta e diffusa, incidenti sui moduli fotovoltaici

Con riferimento alla EEM12, la definizione di un impianto solare termico nel *tool* può avvenire specificando in *Input_Generator – Solar Collectors*: se la produzione termica è utilizzata per la produzione di ACS, per il riscaldamento o per entrambi i servizi energetici, in quest'ultimo caso indicando le rispettive quote parte; la tipologia di collettore solare (collettori a tubi sottovuoto con assorbitore piano o circolare, collettori piani vetrati, collettori piani non vetrati). Il serbatoio di accumulo è sempre presente nell'impianto solare termico. A tal fine, l'utente deve specificare: il volume nominale del sistema, V_{nom} ; il coefficiente di scambio termico dell'apparecchio, k_{boll} e il fattore di correzione della temperatura, b_{tr} , riferito al locale in cui è collocato il serbatoio. Nel caso in cui i parametri caratteristici dell'accumulo non siano specificati da parte dell'utente, allora l'algoritmo provvederà all'associazione di un serbatoio, in funzione del suo volume nominale, a partire da quelli indicati in libreria.

In *Optimization procedure - EEM* in corrispondenza della riga EEM12, si dovrà specificare la superficie dei collettori solari, A , la quale poi verrà ripresa dal foglio appena illustrato. Sebbene la scelta sia univoca, per le diverse EEO, si rammenta di specificare in *Input_General - Global Cost* la produzione di energia termica da moduli solari.

			EEM 12.1
Solar collectors end use (DHW/H/DHW+H)	-	-	
Solar collectors area	A	[m ²]	0,00
Solar collectors typology	-	-	
DHW storage volume (if any)	V_{nom}	[l]	
DHW storage heat transfer coefficient (if any)	k_{boll}	[W/K]	
Temperature correction coefficient for the storage room	b_{tr}	[-]	
Energy carrier/Sources			
SOLAR COLLECTORS			THERMAL ENERGY FROM SOLAR COLLECTORS
			QUOTA PARTE
		DHW	1,00
		H	0,00

Figura A3.86 Dati di input per la definizione dell'impianto solare termico.

Nota 23

Nel modello dello stato di fatto non è possibile assumere la presenza di un impianto

solare termico

Nota 24

Per la simulazione di un impianto solare termico (misura EEM12), nel *tool* si assume di *default* che i pannelli siano installati a Sud su una superficie con un'inclinazione β pari a 30° rispetto al piano orizzontale. Nel caso in cui si intendesse analizzare la produzione termica per diversi valori di azimuth, Φ e inclinazioni rispetto al piano orizzontale, β si dovrà procedere a fornire in ingresso, nel foglio *Interscambio 52016.11 – Climatic Data*, i valori di irradianza solare diretta e diffusa, incidenti sui moduli solari termici

A3.7.5 Altri generatori

Nota 25

Nel modello dello stato di fatto non è possibile assumere la presenza di generatori a biomassa o teleriscaldamento, previsti invece per gli stati di progetto

Nota 26

Non è possibile simulare un impianto di cogenerazione né nello stato di fatto né in eventuali stati di progetto

A3.8 Dati aggiuntivi dell'impianto di raffrescamento

Il foglio *Cooling* calcola il fabbisogno energetico dovuto al raffrescamento di concerto con la UNI/TS 11300-3 [A6]. Il file è composto da quattro sotto-moduli così denominati: *General*; *EER definition*; *ETA1 coeff_air-air* e *ETA1 coeff_air-water*. La curva *EER*, al variare del fattore di carico della macchina, F_k , è stata desunta da quella proposta nell'Appendice E della UNI/TS 11300-3 [A6].

A3.8.1 Fattore di correzione per macchine frigorifere aria-aria

Per le macchine aria-aria il *tool* non permette di calcolare automaticamente il fattore correttivo η_1 , necessario per determinare il coefficiente di prestazione medio mensile, η_{mm} . In quest'ottica, al variare della località impostata di *default*, o più precisamente delle temperature di bulbo secco dell'aria esterna e di bulbo umido dell'aria interna, l'utente dovrà inserire manualmente in *Cooling – ETA1 coeff_air-air*, nelle celle a sfondo verde, i valori di η_1 . Tali dati dovranno essere inseriti per i quattro fattori di carico, F_k , specificati dalla norma tecnica (100%, 75%, 50% e 25%) e per ciascun mese facente parte del periodo di raffrescamento.

	Month											
	january	february	march	april	may	june	july	august	september	october	november	december
$\theta_a [^\circ\text{C}]$				13,4	19,4	22,8	24,5	24,5	19,8	14,1		
$\eta_1 F_k=100\% [-]$				1,756	1,561	1,421	1,352	1,360	1,543	1,756		
$\eta_1 F_k=75\% [-]$				1,534	1,356	1,233	1,173	1,180	1,340	1,534		
$\eta_1 F_k=50\% [-]$				1,332	1,176	1,068	1,016	1,022	1,162	1,332		
$\eta_1 F_k=25\% [-]$				1,105	1,013	0,947	0,915	0,918	1,004	1,105		

Figura A3.87 Fattore di correzione η_1 per macchine frigorifere aria-aria.

A3.8.2 Fattore di correzione per macchine frigorifere aria-acqua

Per l'inserimento manuale del fattore correttivo η_1 per le macchine aria-acqua vale quanto detto per i generatori aria-aria ad eccezione della temperatura di bulbo umido dell'aria interna che sarà sostituita dalla temperatura dell'acqua in uscita dal generatore. Tali dati dovranno essere imputati dall'utente nel foglio *Cooling – ETA1 coeff_air-water*.

	Month											
	january	february	march	april	may	june	july	august	september	october	november	december
$\theta_a [^{\circ}\text{C}]$				13,4	19,4	22,8	24,5	24,3	19,8	14,1		
$\eta_{1\text{ Fk}=100\%} [-]$				1,756	1,561	1,421	1,352	1,360	1,543	1,756		
$\eta_{1\text{ Fk}=75\%} [-]$				1,534	1,356	1,233	1,173	1,180	1,340	1,534		
$\eta_{1\text{ Fk}=50\%} [-]$				1,332	1,176	1,068	1,016	1,022	1,162	1,332		
$\eta_{1\text{ Fk}=25\%} [-]$				1,155	1,019	0,928	0,884	0,889	1,006	1,155		

Figura A3.88 Fattore di correzione η_1 per macchine frigorifere aria-acqua.

A3.9 Dati per l'impianto di illuminazione

Nel caso in cui la destinazione d'uso del fabbricato sia non residenziale, il foglio *Input data_Zone - Lighting* permette di calcolare il fabbisogno energetico dovuto all'illuminazione. Per quanto riguarda il modello energetico dello stato di fatto, l'utente dovrà specificare i seguenti parametri: densità di potenza installata, P_N ; il fattore di disponibilità di luce naturale, F_D ; il fattore del profilo di occupazione, F_O ; il fattore di illuminamento costante, F_C ; il tempo di presenza della luce naturale, t_D ; il tempo di assenza della luce naturale, t_N .

Thermal zone ID			1
Zone use			Residential
LIGHTING			
			current building
Lighting power density	P_N	$[\text{W}/\text{m}^2]$	
Daylight dependent artificial lighting control	F_D	$[-]$	
Lighting control factor	F_O	$[-]$	
Constant illuminance factor	F_C	$[-]$	
Daylight hours (v. Table G.1)	t_D	$[\text{h}]$	
No-daylight hours (v. Table G.1)	t_N	$[\text{h}]$	
Hours	t_T	$[\text{h}]$	8760

Figura A3.89 Parametri di input per il servizio di illuminazione artificiale.

Per ciascun livello della misura EEM16, rappresentato da ciascuna colonna della Figura A 3 .90, l'utente dovrà inserire i valori dei tre parametri, F_D , F_O e F_C . La potenza elettrica installata, P_N , dovrà essere inserita come dato di input nel foglio di calcolo *Optimization procedure - EEM*, con riferimento alle medesime EEO. Sebbene la scelta sia univoca, per le diverse EEO, si rammenta di specificare in *Input_General -Global Cost* il vettore energetico utilizzato dall'impianto di illuminazione (elettricità).

EEM 16.1	EEM 16.2	EEM 16.3	EEM 16.4	EEM 16.5
		F_D		
		F_O		
		F_C		

Figura A3.90 Parametri di input per EEM16: F_D , F_O , F_C .

A3.10 Dati economici

Il calcolo del *Global Cost* (GC) è condotto di concerto con la UNI EN 15459-1 [A10]. All'interno del *tool* è sviluppata sia la prospettiva finanziaria sia la prospettiva macroeconomica, la quale a differenza della prima, tiene in considerazione anche del costo monetario dovuto all'emissione di CO_2 . Pertanto, come indicato nella predetta norma, i costi che saranno tenuti in considerazione per la determinazione del GC riguardano i costi di investimento, di manutenzione e di smaltimento o sostituzione, sia per i componenti opachi e trasparenti dell'involucro edilizio sia per i componenti impiantistici. Pertanto, il *tool* permette di analizzare i

riflessi economici delle misure previste nella procedura di ottimizzazione, in funzione del periodo di calcolo adottato.

Nota 27

La prospettiva macroeconomica e la prospettiva finanziaria sono entrambe implementate nel *tool*

Nota 28

Per quanto concerne il calcolo del costo dell'energia, all'interno del *tool* vengono trattati i due vettori energetici più comuni in Italia: elettricità e gas naturale. Pertanto, sono al momento esclusi sia la biomassa sia il gasolio, in quanto non riflettono gli obiettivi della metodologia comparativa della presente e delle scorse annualità [A15] e [A16]

Nota 29

Il periodo di calcolo per determinare il *Global Cost* può essere impostato pari a 20 o 30 anni

Il foglio *Input_General - Global Cost* definisce i parametri di input da specificare per poter calcolare il costo globale allo stato di fatto e alle successive condizioni di progetto. L'utente deve specificare: il tempo di calcolo economico, ponendolo pari a 20 o 30 anni; la prospettiva economica finanziaria o macroeconomica [1; 2]; il tasso di interesse; l'applicazione o meno dell'IVA (VAT) ai costi di investimento. Inoltre, con riferimento al modello energetico di partenza, devono essere inseriti i costi annuali di manutenzione e di sostituzione e ogni quanti anni si deve procedere alla sostituzione dei componenti costituenti l'involucro edilizio (finestre, schermature solari, etc.) e degli impianti (si veda Figura A 3.91). Inoltre, per ogni EEM, è necessario specificare i costi di manutenzione e di smaltimento annuali, definiti come percentuale del costo di investimento iniziale, e la vita utile del componente. Se non modificati dall'utente, i predetti valori saranno impostati di *default* uguali a quelli forniti dalla norma UNI EN 15459-1 [A10].

BUILDING BEFORE REFURBISHMENT			
BUILDING COMPONENTS	Maintenance [€/a]	Replacement cost [€]	Year of replacement
External wall			
Cavity wall			
Roof/Upper floor			
Ground floor			
Window thermal insulation	300	30000	10
Solar shading systems			
BUILDING TECHNICAL SYSTEMS			
	Maintenance [€/a]	Replacement cost [€]	Year of replacement
Chiller	960	12000	15
boiler	200	3000	15
heat pump			
Emitters			
Lighting			
Heating control system			

Figura A3.91 Costi dell'edificio allo stato di fatto.

La v.11 del *tool* fornisce all'utente un'interfaccia grafica, riportata in *Global cost - Cost_variation*, per poter condurre analisi parametriche che permettano di quantificare la variazione del costo globale dovuto alla

variazione di costi relativi a: misure di efficienza energetica (EEM) sull'involucro e sull'impianto, vettori energetici (gas naturale ed elettricità) e tasso di interesse reale.

		Description	Cost percentage variation
Energy Efficiency Measure (EEM)	EEM1	External wall thermal insulation	10%
	EEM2	Cavity wall thermal insulation	10%
	EEM3	Roof thermal insulation	10%
	EEM4	Floor thermal insulation	10%
	EEM5	Window thermal insulation	10%
	EEM6	Solar shading system	10%
	EEM7	Chiller	0%
	EEM8	Generator for space heating and appropriate emission system	0%
	EEM9	Generator for DHW	0%
	EEM10	Combined generator for space heating and DHW, and appropriate emission system	0%
	EEM11	Heat pump for space heating, DHW and cooling, and appropriate emission system	0%
	EEM12	Thermal solar system	0%
	EEM13	PV system	0%
	EEM14	Heat recovery ventilation system	0%
	EEM15	Heating system control	0%
	EEM16	Lighting system control	0%
Energy carrier	Natural gas	Natural gas	0%
	Electricity	Electricity	0%
Discount rate	Real discount rate	Real discount rate	0%

Figura A3.92 Interfaccia per la variazione dei costi.

A3.11 Procedura di ottimizzazione

Il foglio *Optimization procedure* è formato da cinque sotto-moduli: *EEM*; *Compatibility*; *Worksheets*; *Results* e *Test*. Con riferimento al primo sotto-modulo devono essere inseriti, per ciascuna misura, il numero di EEO corrispondenti. Per ciascuna EEM, il numero massimo di EEO specificabili è riportato nella tabella presentata nella Sezione A2..

Di seguito viene proposto un esempio. Si considerino le tre misure EEM1, EEM2 e EEM3, le quali rappresentano rispettivamente l'isolamento termico di pareti dall'esterno, l'intervento di insufflaggio dell'intercapedine appartenente alla chiusura verticale e la coibentazione della copertura. Per comprendere la contemporanea coesistenza di più misure si rimanda alla matrice di compatibilità presentata nella Sezione A2. (si veda Figura A 2 .46). Infatti, di concerto con l'esempio proposto e con la matrice di compatibilità, non si potrà mai verificare la simultanea presenza delle misure EEM1 e EEM2. Lungo la riga di ciascuna EEM si dovrà specificare il valore corrispondente al parametro fisico specificato: la trasmittanza termica opaca, $U_{p/r}$ in tutti e tre i casi. Pertanto, con riferimento alla EEM1, avendo specificato il No. EEO pari a cinque si dovranno inserire delle U_p fino al quinto livello. Se la cella corrispondente a No. EEO fosse pari a zero, implicherebbe che la rispettiva EEM non verrà simulata.

			Level of EEO				
			1	2	3	4	5
Parameter (inglese)	Symbol	No. EEO	Parameter values				
Thermal transmittance (EEM1)	U_p	5		0,36	0,3	0,28	0,19
Thermal transmittance (EEM2)	U_p	2		0,37			
Thermal transmittance (EEM3)	U_r	5		0,46	0,37	0,34	0,29

Figura A3.93 Livelli di EEO per EEM1, EEM2, EEM3 (esempio).

Con riferimento alla Figura A 3 .93, la colonna corrispondente a EEO1 è vuota, per tutte e tre le misure, poiché rappresenta e comunica all'algoritmo che deve considerare, nel calcolo del *Global Cost*, la trasmittanza termica delle pareti e della copertura corrispondenti al modello dello stato di fatto. La EEM1 e la EEM2 posseggono il medesimo obiettivo: la riqualificazione energetica dell'involucro opaco verticale. Tuttavia, con riferimento alla prima misura di efficienza energetica (EEM1), ciò avviene realizzando un cappotto sulla faccia esterna della parete. Al contrario, per la EEM2 si procede ad insufflare la camera d'aria delle pareti a cassavuota, se presenti. Pertanto, con riferimento alla Figura A 3 .93, le condizioni EEM1(EEO1) e EEM2(EEO1) sono le medesime, cioè il valore di trasmittanza termica dell'involucro opaco verticale nel modello dello stato di fatto.

Ad esempio, considerando la EEM1, la procedura di ottimizzazione verifica qual è il livello di EEO che possiede il miglior grado costi-benefici testando una per volta le diverse trasmittanze termiche. Inizialmente, l'algoritmo prova quella dello stato di fatto (EEM1 - EEO1), poi quella successiva $0,36 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{K}^{-1}$ (EEM1 -EEO2), in seguito $0,3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{K}^{-1}$ (EEM1 -EEO3), e così via fino alla quinta opzione.

Per tutte le EEM dovrà essere inserito, per ciascun livello di EEO, solo un parametro, ad eccezione della EEM11, il cui intervento prevede l'installazione di una pompa di calore che copra i servizi di riscaldamento, raffrescamento e produzione di ACS, in cui dovranno essere specificati sia il *COP* sia il valore di *EER*.

Tuttavia, valgono le seguenti eccezioni:

Se la cella EEO1 di qualche misura riguardante l'impianto di riscaldamento, di produzione di ACS e/o di raffrescamento (EEM7 ÷ EEM11) è diversa da 'vuoto' significa che verrà condotta, nei successivi stati di progetto, la simulazione del predetto intervento. Ciò non implica che lo stato di fatto possieda quella determinata tipologia di impianto. Pertanto, nel caso in cui si verificasse la predetta condizione, dovranno comparire fra EEM7 e EEM11 una o più celle 'vuote' che coprano i servizi energetici considerati nello stato di fatto (si veda Figura A 3.94 e l'esempio proposto di seguito). Le celle EEO1 comprese fra EEM1 ÷ EEM6 e EEM12 ÷ EEM17, invece, dovranno risultare sempre vuote;

Per i livelli di progetto della misura EEM6 in *Optimization procedure – EEM* non si dovrà specificare il parametro g_{gl+sh} relativo alla trasmittanza solare del vetro e della schermatura solare, ma la tipologia di dispositivo: a lamelle fisse (persiana) o a lamelle mobili (veneziana). L'utente, nel caso in cui volesse procedere all'installazione di nuove chiusure oscuranti dovrà specificare in *Interscambio 52016.11 - EEOs - Envelope Components* la resistenza termica addizionale della chiusura, ΔR . Il fattore g_{gl+sh} , invece, verrà calcolato automaticamente dal *tool* di concerto con quanto previsto dalla UNI EN ISO 52022-1 [A17];

Se la colonna EEO1 riferita alla misura del solare termico (EEM12) o del fotovoltaico (EEM13) è vuota non significa che l'edificio possieda nel suo stato di fatto i predetti impianti (si vedano *Note 21 - 23*), in quanto tale condizione non è realizzabile dal *tool*. Pertanto, gli interventi EEM12 e EEM13 verranno considerati come eventuali stati di progetto, sempre che l'utente abbia intenzione di procedere con la loro simulazione.

Nota 30

Deve esserci coerenza fra le celle della colonna *No. EEO* e il numero di livelli di EEO considerati per la medesima EEM

Nota 31

Le celle EEO1 comprese fra EEM7 ÷ EEM11 diverse da 'vuoto' indicano i successivi stati di progetto che verranno simulati dalla procedura di ottimizzazione.

Per definire l'impianto del modello dello stato di fatto è necessario lasciar vuote le celle corrispondenti ai servizi energetici considerati, concordemente anche a quanto specificato negli altri fogli di calcolo.

Le celle appartenenti alla colonna EEO1 comprese fra EEM1 ÷ EEM6 e EEM12 ÷ EEM17 dovranno invece essere sempre vuote

					Level of EEO				
					EEQ1	2	3	4	5
N.	EEM (inglese)	Parameter (inglese)	Symbol	No. EEO	Parameter values				
1	EXTERNAL WALL THERMAL INSULATION	Thermal transmittance	U_p	5		0,36	0,3	0,28	0,19
2	CAVITY WALL THERMAL INSULATION	Thermal transmittance	U_p	2		0,37			
3	ROOF THERMAL INSULATION	Thermal transmittance	U_f	5		0,46	0,37	0,34	0,29
4	FLOOR THERMAL INSULATION	Thermal transmittance	U_f	5		0,63	0,52	0,48	0,32
5	WINDOW THERMAL INSULATION	Thermal transmittance	U_w	5		2,30	1,90	1,40	1,10
6	SOLAR SHADING SYSTEM	1 fix; 2 movable	g_{gl}	3		1	2		
7	CHILLER	Energy efficiency ratio at design conditions	EER	2		3,00			
8	GENERATOR FOR SPACE HEATING AND APPROPRIATE EMISSION SYSTEM	Generator efficiency at design conditions	η_{gn}	5		0,94	1	3,7	4,1
9	GENERATOR FOR DHW	Generator efficiency at design conditions	$\eta_{gn,Pr,W}$	3		0,93	1		
10	COMBINED GENERATOR FOR SPACE HEATING AND DHW, AND APPROPRIATE	Generator efficiency at design conditions	η_{gn}	2	0,93	1			
11	HEAT PUMP FOR SPACE HEATING, DHW AND COOLING, AND APPROPRIATE EMISSION SYSTEM	Coefficient of performance at design conditions	COP	0					
		Energy efficiency ratio at design conditions	EER						
12	THERMAL SOLAR SYSTEM	Surface of solar collectors	m^2	4		7	12	17	
13	PV SYSTEM	Peak power	kWp	4		5,6	7	8,4	
14	HEAT RECOVERY VENTILATION SYSTEM	Heat recovery efficiency	η_r	0					
15	HEATING SYSTEM CONTROL	1 Zone; 2 Room; 3 Zone+Clim.; 4 Room+Clim.	η_{ctr}	4		1	2	3	
16	LIGHTING SYSTEM	Specific luminaire power (W/m^2) (UNI EN 15193)	PN	0					
17	LIGHTING SYSTEM		$F_o(F_o)$	0					

Figura A3.94 EEM e EEO (esempio).

Con riferimento alle celle appartenenti alle colonne No. EEO e EEO1, rappresentante lo stato di fatto o eventuali stati di progetto sull'impianto, e alla matrice di compatibilità (si veda Figura A 2 .46), dall'esame della Figura A 3 .94 si comprende che:

- EEM 1 – Isolamento termico delle pareti dall'esterno: Le trasmittanze delle chiusure opache verticali sono definite in *Interscambio 52016.11 - Envelope Components*. Sono previsti quattro diversi livelli di intervento oltre la simulazione dello stato di fatto;
- EEM 2 - Isolamento termico dell'intercapedine delle pareti: Le trasmittanze delle chiusure opache verticali sono definite in *Interscambio 52016.11 - Envelope Components*. È previsto solo un livello di intervento (insufflaggio);
- EEM 3 - Isolamento termico della copertura: La trasmittanza della chiusura opaca superiore è definita in *Interscambio 52016.11 - Envelope Components*. Sono previsti quattro diversi livelli di intervento;
- EEM 4 - Isolamento termico del pavimento: La trasmittanza della chiusura opaca inferiore è definita in *Interscambio 52016.11 - Envelope Components*. Sono previsti quattro diversi livelli di intervento;
- EEM 5 - Isolamento termico serramenti: Le trasmittanze dei componenti trasparenti sono definite in *Interscambio 52016.11 - Envelope Components*. Sono previsti quattro diversi livelli di intervento;
- EEM 6 - Sistemi di schermatura solari: Il fattore di trasmissione solare totale del vetro con schermatura esterna è definito in *Interscambio 52016.11 - Envelope Components*. Sono specificati due interventi che prevedono l'installazione di schermature solari rispettivamente con lamelle fisse (frangisole) e con lamelle mobili (veneziane);
- EEM 7 - Chiller: L'edificio, nel suo stato di fatto, possiede una macchina frigorifera i cui dati del generatore sono descritti in *Input_Generator – Cooling*. È previsto un intervento per migliorare il predetto sistema;

- EEM 8 - Generatore per riscaldamento con appositi sistemi di emissione: L'edificio, nel suo stato di fatto, possiede una caldaia per il riscaldamento i cui dati del generatore sono descritti in *Input_Generator – Heating*. Sono previsti quattro interventi per migliorare il predetto sistema;
- EEM 9 - Generatore per produzione ACS: L'edificio, nel suo stato di fatto, possiede un boiler elettrico per la produzione di ACS i cui dati del generatore sono descritti in *Input_Generator – DHW*. Sono previsti due interventi per migliorare il predetto sistema;
- EEM 10 - Generatore combinato per riscaldamento e ACS con appositi sistemi di emissione: L'algoritmo simula come interventi l'installazione di due diversi generatori per la produzione combinata di riscaldamento e ACS;
- EEM 11 - Pompa di calore per riscaldamento, ACS, raffrescamento con appositi sistemi di emissione: Non viene condotta nessuna simulazione riguardante l'installazione di una pompa di calore che funzioni per il riscaldamento, per la produzione di ACS e per il raffrescamento;
- EEM 12 - Solare termico: Sono previsti tre livelli di progetto relativi a tre diverse superfici di collettori solari. Il modello energetico dello stato di fatto non presenta l'impianto solare termico;
- EEM 13 - Fotovoltaico: Sono previsti tre livelli di progetto relativi a tre potenze di picco installate per l'impianto fotovoltaico. Il modello energetico dello stato di fatto non presenta l'impianto fotovoltaico;
- EEM 14 - Unità di recupero su ventilazione: Non verrà condotta nessuna simulazione riguardante l'installazione di un'unità di recupero del calore nell'impianto di ventilazione;
- EEM 15 - Sistema di regolazione riscaldamento: I rendimenti di regolazione e le altre informazioni rappresentanti il presente sottosistema sono definite in *Input data_Zone 1 – H_DHW*. Sono previsti tre livelli di intervento sulla regolazione del sistema di climatizzazione invernale;
- EEM 16 - Sistema di illuminazione: Avendo il fabbricato una destinazione d'uso residenziale, non verrà condotta nessuna simulazione sull'impianto di illuminazione.

Si noti, inoltre, la coerenza nella compilazione delle celle dei vettori energetici (*Input_General – Global Cost*), per le misure EEM7 ÷ EEM11, con quanto presentato in *Optimization procedure - EEM* (si veda Figura A 3.95).

EEM		Energy carrier/Sources				
		Level of EEO				
		1	2	3	4	5
7	High efficiency chiller (CHIL)		ELECTRICITY			
8	High efficiency generator for space heating (GHS)		NATURAL GAS	NATURAL GAS	ELECTRICITY (HP)	ELECTRICITY (HP)
9	High efficiency generator for DHW (HES-DHW)		NATURAL GAS	NATURAL GAS		
10	High efficiency combined generator for space heating and hot water	NATURAL GAS	NATURAL GAS			
11	Heat pump for heating, cooling and hot water					
12	Thermal solar systems (SOL)		THERMAL ENERGY FROM SOLAR COLLECTORS	THERMAL ENERGY FROM SOLAR COLLECTORS	THERMAL ENERGY FROM SOLAR COLLECTORS	
13	PV system (PV)		ELECTRICITY FROM PV	ELECTRICITY FROM PV	ELECTRICITY FROM PV	
14	Heat recovery - mechanical ventilation system (ERVS)					
15						
16	Lighting power density (LPD)					
17						

Figura A3.95 Vettori energetici.

Analizzando la tabella descrittiva delle combinazioni considerate, rappresentata in Figura A 3.96, la colonna *Reference* definisce il set di partenza, specificabile da parte dell'utente, da cui avrà inizio la procedura di ottimizzazione. Per ciascuna misura EEM, il valore inseribile nella relativa cella deve essere inferiore o uguale a quanto definito nella colonna No. EEO. Stabilire un set di partenza può significare un minor numero di *run*, in quanto si potrebbe partire da una combinazione già *cost-effective*. Tuttavia, la ricerca della serie ottimale è indipendente dalla scelta del *reference* di partenza, poiché la procedura andrà

comunque a convergenza. Con riferimento alla prima riga e alla predetta colonna, se nella cella a sfondo verde si impostasse un valore pari a 3 significa comunicare all'algoritmo di partire con le iterazioni da un valore di trasmittanza termica delle pareti pari a $0,3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

EEO					Level of EEO				
Reference	Optimum	Test	Parameter value	Cost of EEM [€]	1	2	3	4	5
3	0	0		€ 0					
0	2	2	0,37	€ 0					
3	5	5	0,29	€ 0					
3	5	5	0,32	€ 0					
3	1	1		€ 0					
2	3	3	2	€ 0					
1	1	1		€ 0					
0	3	3	1	€ 0					
0	2	2	0,93	€ 0					
1	0	0		€ 0					
0	0	0		€ 0					
2	3	3	12	€ 0					
2	4	4	8,4	€ 0					
0	0	0		€ 0					
2	4	4	3	€ 0					
0	0	0		€ 0					
0	0	0		€ 0					

N.	EEM (inglese)	Parameter (inglese)	Symbol	No. EEO	Parameter values				
1	EXTERNAL WALL THERMAL INSULATION	Thermal transmittance	U_{e}	5		0,36	0,3	0,28	0,19
2	CAVITY WALL THERMAL INSULATION	Thermal transmittance	U_{c}	2		0,37			
3	ROOF THERMAL INSULATION	Thermal transmittance	U_{r}	5		0,46	0,37	0,34	0,29
4	FLOOR THERMAL INSULATION	Thermal transmittance	U_{f}	5		0,63	0,52	0,48	0,32
5	WINDOW THERMAL INSULATION	Thermal transmittance	U_{w}	5		2,30	1,90	1,40	1,10
6	SOLAR SHADING SYSTEM	1 fix; 2 movable	g_{sp}	3		1	2		
7	CHILLER	Energy efficiency ratio at design conditions	EER	2		3,00			
8	GENERATOR FOR SPACE HEATING AND APPROPRIATE EMISSION SYSTEM	Generator efficiency at design conditions	η_{sp}	5		0,94	1	3,7	4,1
9	GENERATOR FOR DHW	Generator efficiency at design conditions	$\eta_{\text{sp,DHW}}$	3		0,93	1		
10	COMBINED GENERATOR FOR SPACE HEATING AND DHW, AND APPROPRIATE EMISSION SYSTEM	Generator efficiency at design conditions	η_{sp}	2	0,93	1			
11	HEAT PUMP FOR SPACE HEATING, DHW AND COOLING, AND APPROPRIATE EMISSION SYSTEM	Coefficient of performance at design conditions	COP	0					
		Energy efficiency ratio at design conditions	EER						
12	THERMAL SOLAR SYSTEM	Surface of solar collectors	m^2	4		7	12	17	
13	PV SYSTEM	Peak power	kW_{p}	4		5,6	7	8,4	
14	HEAT RECOVERY VENTILATION SYSTEM	Heat recovery efficiency	η_{r}	0					
15	HEATING SYSTEM CONTROL	1 Zone; 2 Room; 3 Zone+Clim.; 4 Room+Clim.	η_{sc}	4		1	2	3	
16	LIGHTING SYSTEM	Specific luminaire power (W/m^2) (UNI EN 15193)	PN	0					
17			$F_{\text{c}} (F_{\text{c}})$	0					

Figura A3.96 Procedura di ottimizzazione: esempio del set di EEM di partenza.

Una volta che tutti i parametri di input sono stati impostati si deve procedere al salvataggio dei file. L'ottimizzazione si avvia cliccando sul bottone *Start Optimization*. Quando la procedura di ottimizzazione avrà terminato, il file andrà salvato affinché non si perdano i risultati ottenuti. Si raccomanda di aprire tutti i file prima di procedere all'avvio della procedura di ottimizzazione.

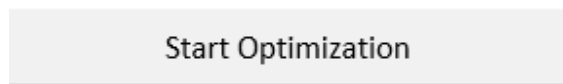


Figura A3.97 Inizializzazione procedura di ottimizzazione.

Durante il primo ciclo, il set contenuto nella colonna *Test* sarà posto uguale al contenuto della colonna *Reference*. All'aumentare delle iterazioni, si potrà tenere sotto controllo la procedura di ottimizzazione poiché in *Test* si assiste ad una mutazione dei valori, che corrisponde alla simulazione ad uno ad uno delle diverse opzioni appartenenti alle misure EEM. La colonna *Optimum*, invece, terrà in memoria la combinazione che ha determinato il minor *Global Cost*. Il contenuto delle celle appartenenti alla colonna *Parameter value* varia concordemente a quanto definito in *Test*, cioè se una cella appartenente a quest'ultima fosse pari a 2 tale valore sarà uguale a quello della medesima riga della colonna EEO2.

Per quanto concerne gli output, le celle viola rappresentano il *Reference*, quelle rosse la soluzione ottimale, invece, quelle blu variano al variare dei parametri *Test*. Alla fine dell'ultimo ciclo, sarà definita la combinazione ottimale che determina il minor *Global Cost* e la procedura terrà in memoria anche i risultati energetici ed economici del set di riferimento, definito dall'utente, e dell'ultima combinazione analizzata.

68770	88100	88100	[kWh]	Primary energy	Yearly
€ 4.933	€ 6.337	€ 6.337	[€/y]	Energy cost	
€ 112.812	€ 145.202	€ 138.864	[€]	Energy cost	Actualised
€ 229.818	€ 64.932	€ 64.932	[€]	Investment cost	
€ 65.603	€ 66.785	€ 66.785	[€]	Operating & Maintenance	

Reference Global Cost	Optimal Global Cost	Test Global Cost
[€]	[€]	[€]
€ 408.233	€ 276.919	€ 270.582

Figura A3.98 Casi *Reference*, *Optimal* e *Test*: costi annuali e attualizzati, a sinistra; costi globali, a destra.

Nei fogli *Compatibility* e *Worksheets* compare rispettivamente la matrice di compatibilità e i nomi dei file necessari alla macro di ottimizzazione. In *Results* invece viene presentata la cronologia degli ottimi parziali definiti dalla procedura di ottimizzazione. Ogniqualvolta l'iterazione trova un nuovo ottimo parziale, ovvero una combinazione il cui *Global Cost* è inferiore a quello in memoria, trascrive i dati energetici ed economici in una riga di *Results*. Ovviamente, l'ultima riga rappresenta la combinazione ottimale. Infine, in *Test* verranno rappresentate tutte le combinazioni appartenenti all'ultimo ciclo di iterazioni e fra queste comparirà anche la serie ottimale, lungo la colonna *Optimum*.

No. Optimal Run	Yearly		Actualised costs			
	EP	Yearly Energy cost	Energy	Investment	Operating & Maintenance	Global cost
[-]	[kWh]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]
1	68100	€ 4.887	€ 111.764	€ 207.924	€ 53.308	€ 372.995
2	75500	€ 5.385	€ 122.596	€ 163.555	€ 53.449	€ 339.600
3	72459	€ 5.305	€ 123.141	€ 141.807	€ 49.689	€ 314.637
4	104995	€ 7.526	€ 171.981	€ 59.237	€ 61.424	€ 292.642
5	100240	€ 7.197	€ 164.686	€ 59.274	€ 61.461	€ 285.422
6	97758	€ 6.935	€ 157.239	€ 62.774	€ 62.822	€ 282.835
7	94448	€ 6.710	€ 152.326	€ 64.699	€ 63.570	€ 280.594
8	91340	€ 6.554	€ 149.874	€ 61.725	€ 66.933	€ 278.531
9	90125	€ 6.472	€ 148.123	€ 62.392	€ 66.877	€ 277.392
10	88100	€ 6.337	€ 145.202	€ 64.932	€ 66.785	€ 276.919

Figura A3.99 Individuazione della miglior combinazione fra la successione degli ottimi parziali.

Inoltre, nel caso in cui si volesse effettuare solamente il calcolo orario di un certo scenario, concordemente con la norma UNI EN ISO 52016-1 [A4], senza quindi procedere con l'ottimizzazione completa, è necessario specificare nella colonna *Reference*, contenuta in *Optimization procedure – EEM*, la combinazione prescelta e cliccare sul bottone *Start Reference Calculation*. Si ricorda inoltre che, affinché l'algoritmo proceda correttamente, è indispensabile in *Interscambio 52016.11 - Calculation Procedure* impostare il *timestep* del calcolo in orario. Nel caso in cui la simulazione fosse su base mensile non risulta necessario lanciare la macro poiché l'aggiornamento del costo globale avverrà automaticamente (posto che sia impostato il calcolo come "automatico" in FORMULE/Opzioni di calcolo/Automatico).

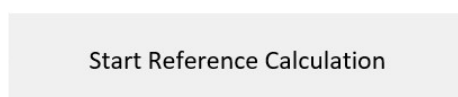


Figura A3.100 Inizializzazione combinazione di riferimento.

A3.12 Moduli di calcolo

Nei moduli di calcolo non sono richiesti dati di ingresso, ma sono contenuti unicamente gli algoritmi di calcolo. Alcuni fogli sono stati già presentati, ma per completezza verranno comunque elencati e riassunti di seguito:

- *Building_Zone 1;*
- *Cooling;*
- *DHW;*
- *Distribution;*
- *Energy_need_52016;*
- *Generation;*
- *Generator_HP_EEM3;*
- *Generator_PV;*
- *Generator_Solar;*
- *Global cost;*
- *Input data_Zone – Lighting_output;*
- *Input data_Zone – Thermal Zone_Emission+Control;*
- *Interscambio 52016.11 - Data Processing;*
- *Interscambio 52016.11 - EEM - Opaque Nodes.*

Building_Zone 1 rappresenta un foglio in cui vengono raggruppati tutti i parametri di input e di output validi per la *Zona Termica 1*. Nel presente modulo si procede al calcolo del fabbisogno termico mensile di riscaldamento, $Q_{H,nd}$, e di raffrescamento, $Q_{C,nd}$, di concerto con la UNI/TS 11300-1 [A3].

Il foglio *Cooling* calcola il fabbisogno energetico di raffrescamento di concerto con la UNI/TS 11300-3 [A6]. Nello specifico si determineranno le perdite e i rendimenti dei vari sottosistemi e l'*EER*.

Il file *DHW* calcola l'energia termica in input e in output a ciascun sottosistema, le perdite e i rendimenti dei sottosistemi, e l'energia elettrica consumata dagli ausiliari elettrici, per la produzione di acqua calda sanitaria. Il calcolo è condotto di concerto con la UNI/TS 11300-2 [A5].

Il modulo *Distribution* determina, per i sei circuiti e per la rete di distribuzione dell'impianto di riscaldamento, l'energia termica in input e in output al sottosistema di distribuzione e l'energia termica associata agli ausiliari, in funzione della tipologia e del regime di funzionamento della pompa di circolazione.

Il foglio *Energy_need_52016* ha la funzione di calcolare su base oraria il fabbisogno di energia termica per riscaldamento e raffrescamento di concerto con la norma UNI EN ISO 52016-1 [A4].

Generation è un foglio dedicato al sottosistema di generazione lato riscaldamento. Il presente modulo tratta anche la produzione di ACS solo nel caso in cui sia combinato al riscaldamento, con il fine di determinare il fattore di carico della macchina termica. La produzione combinata di riscaldamento e ACS è realizzabile considerando come generatori la caldaia tradizionale, la biomassa o il teleriscaldamento. In entrambi i casi, l'obiettivo del foglio *Generation* riguarda la determinazione dell'energia termica in ingresso al generatore di calore e il calcolo delle perdite associate al sottosistema.

Il modulo *Generator_HP_EEM3* conduce il calcolo considerando l'installazione di una pompa di calore aria-acqua. Come previsto dalla UNI/TS 11300-4 [A7], per ciascun mese il calcolo verrà condotto considerando i bin come intervallo temporale.

I fogli *Generator_PV* e *Generator_Solar* permettono di determinare, di concerto con la UNI/TS 11300-4 [A7], rispettivamente la produzione di energia elettrica e termica da fonte solare. Nello specifico, la procedura dedicata al modulo del solare termico è basata sul metodo *F-Chart*. Tale modello, come previsto dalla norma tecnica, prevede dei campi di validità che devono essere rispettati: $0 \leq X \leq 18$ e $0 \leq Y \leq 3$, altrimenti il *tool* genera un segnale di errore.

Il modulo *Global Cost* determina, di concerto con la UNI EN 15459-1 [A10], il costo globale tenendo in considerazione: i costi di investimento, di manutenzione e di smaltimento o sostituzione, e i costi dei vettori energetici.

Il sotto-modulo *Lighting_output* appartenente al foglio *Input_data_Zone* determina il fabbisogno energetico per l'illuminazione, LENI, per i diversi livelli EEO della misura EEM16, di concerto con la norma UNI EN 15193-1[A9].

Infine, il foglio *Input_data_Zone – Thermal Zone_Emission+Control* fornisce i seguenti output: le perdite di energia termica dei sottosistemi di emissione e di regolazione dell'impianto di riscaldamento; il carico termico medio annuo, necessario per individuare il rendimento di emissione; il carico termico invernale di progetto, utilizzato anche per determinare la potenza elettrica degli ausiliari del sottosistema di emissione, $W_{h,aux,e}$.

In *Interscambio 52016.11 - EEM - Opaque Nodes* si procede al calcolo delle conduttanze, $h_{pli,eli}$, e delle capacità termiche areiche, $K_{pli,eli}$, per i nodi dei componenti opachi soggetti a riqualificazione energetica (EEM1 ÷ EEM4).

Il modulo *Interscambio 52016.11 - Data Processing* comunica *step by step* al foglio *Energy_need_52016* i parametri termo-fisici dei componenti di involucro opaco e trasparente, in funzione di ciò che è oggetto di simulazione nella procedura di ottimizzazione.

A3.13 Elaborazione dei dati

Il foglio ausiliario *Data Processing* ha la funzione di collegare i moduli di calcolo (*Cooling, DHW, Distribution, Generation, etc.*) con *Optimization procedure*. Pertanto, la funzione del sopracitato foglio è quella di associare ad ogni pacchetto di interventi individuato dalla procedura di ottimizzazione, tutti i dati di input necessari a descrivere l'edificio e a condurre i calcoli energetici. Dunque, in ciascuna *run*, in funzione della misura di efficienza energetica considerata, verranno ricopiati in *Data Processing* i valori oggetto di simulazione da *Optimization procedure*, i quali saranno utilizzati come i nuovi dati di input nei fogli di calcolo. Il foglio *Data Processing* è formato da 11 sotto-moduli, così denominati: *Building; Heating&DHW; Cooling; Temp_set-point; H_Energy need; C_Energy need; W_Energy need; QH,d,out; QH,g,out; Lighting* e *Auxiliaries*.

Nei primi tre sotto-moduli, in funzione del tipo di misura EEM adottata, sono presenti i collegamenti necessari per condurre la procedura di ottimizzazione. Nello specifico, nella scheda *Building* verranno presentati i parametri termo-fisici, caratterizzanti l'involucro edilizio, in input alla procedura di ottimizzazione. In *Heating&DHW*, invece, verranno ripresi i parametri oggetto di simulazione di tutte le altre misure ad eccezione delle EEM7 e EEM11, proposte nel foglio *Cooling* in cui comparirà il valore di *EER*.

Negli altri sotto-moduli invece, si forniranno dei collegamenti riguardanti: il fabbisogno energetico mensile od orario dovuto al riscaldamento, $Q_{H,nd}$, e al raffrescamento, $Q_{C,nd}$; il fabbisogno energetico mensile per la produzione di ACS, $Q_{W,nd}$; l'energia termica in output dal sottosistema di distribuzione, $Q_{H,d,out}$, e in output dal sottosistema di generazione, $Q_{H,g,out}$; il fabbisogno energetico per l'illuminazione; la quota elettrica consumata dagli apparecchi ausiliari per i sottosistemi di emissione, regolazione, distribuzione e per la ventilazione meccanica.

A3.14 Risultati

Il foglio di calcolo *Results*, è formato da sei sotto-moduli, così denominati: *Summary, Tables, Envelope requirements, Grafici_ITA_MiSE, Graphs_ENG* e *Other graphs*. In *Results* vengono forniti i risultati, rappresentati in forma tabellare e in forma di grafici.

In *Summary* vengono presentati i risultati riepilogati per: fabbisogno termico utile in funzione dei servizi energetici considerati (riscaldamento, raffrescamento e produzione di ACS), Q_{nd} ; energia consegnata al generatore, in funzione del vettore energetico e dei servizi energetici considerati (riscaldamento, produzione di ACS, raffrescamento, ventilazione meccanica e illuminazione), Q_{del} ; energia primaria rinnovabile, non rinnovabile e totale per vettore energetico. Inoltre, nel presente foglio vengono fornite le

quote di energia termica ed elettrica prodotte mensilmente rispettivamente dall'impianto solare termico e dal fotovoltaico. Viene effettuata l'allocazione dell'energia elettrica da fotovoltaico sui diversi servizi energetici, come indicato dal D.M. 26 giugno 2015 [A18].

NET ENERGY NEED (Q_{nd}) [kWh]		January	February
HEATING		14555	9267
COOLING		0	0
DHW		1227	1108

Figura A3.101 Fabbisogno termico utile, Q_{nd} .

DELIVERED ENERGY (Q_{del}) [kWh]		January	February
HEATING			
NATURAL GAS		16837	10720
GAS OIL		0	0
LPG		0	0
BIOMASS		0	0
ELECTRICITY	Aux	667	425
ELECTRICITY (HP)	HP	0	0
ELECTRICITY	HP bu	0	0
DISTRICT HEATING		0	0
THERMAL ENERGY FROM SOLAR COLLECTORS		0	0
THERMAL ENERGY FROM OUTDOORS (HEAT PUMPS)		0	0

Figura A3.102 Energia consegnata, Q_{del} .

ELECTRICITY FROM PV [kWh_e]		January	February
ELECTRICITY FROM PV		454	524
Electricity demand covered by PV system [%]		67%	100%
ELECTRICITY DEMAND COVERED BY PV SYSTEM [kWh_e]		January	February
HEATING		447	425
DHW		7	14
COOLING		0	0
VENT		0	0
LIGHT		0	0
TOTAL ELECTRICITY DEMAND COVERED BY PV SYSTEM [kWh_e]		454	438
SURPLUS ELECTRICITY [kWh_e]		0	86

ELECTRICITY DEMAND FROM GRID [kWh_e]		January	February
HEATING		220	0
DHW		3	0
COOLING		0	0
VENT		0	0
LIGHT		0	0

Figura A3.103 Domanda di elettricità soddisfatta da impianto FV e da rete.

NON RENEWABLE PRIMARY ENERGY [kWh]					
Energy carrier/Sources	HEATING	COOLING	DHW	VENTILATION	LIGHTING
NATURAL GAS	71557	0	8312	0	0
GAS OIL	0	0	0	0	0
LPG	0	0	0	0	0
BIOMASS	0	0	0	0	0
ELECTRICITY (from grid)	1455	7047	98	0	0
DISTRICT HEATING	0	0	0	0	0
THERMAL ENERGY FROM SOLAR COLLECTORS	0	0	0	0	0
ELECTRICITY FROM PV	0	0	0	0	0
THERMAL ENERGY FROM OUTDOORS (FREE COOLING)	0	0	0	0	0
THERMAL ENERGY FROM OUTDOORS (HEAT PUMPS)	0	0	0	0	0

Figura A3.104 Energia primaria non rinnovabile.

In *Tables*, invece, vengono riassunti principalmente: gli indici di prestazione energetica (EP) globale e gli EP per ciascun servizio energetico considerato; il fattore *Renewable Energy Ratio*, *RER*, cioè la quota di energia rinnovabile rispetto a quella totale, come indicato da Decreto Legislativo 3 marzo 2011, n. 28 [A19]; il coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione, H'_T , l'area solare equivalente estiva per unità di superficie di pavimento, $A_{sol,est}/A_{sup}$; l'efficienza globale media stagionale dell'impianto di riscaldamento, $\eta_{H,gl}$, dell'impianto di raffrescamento, $\eta_{C,gl}$, e dell'impianto di produzione di ACS, $\eta_{W,gl}$.

PRIMARY ENERGY						
	Symbol	Unit	nren	ren	tot	RER [%]
HEATING	EP _H	[kWh/m ² a]	88,3	2,8	91,1	3%
COOLING	EP _C	[kWh/m ² a]	8,5	6,8	15,4	45%
DHW	EP _W	[kWh/m ² a]	10,2	10,9	21,1	52%
VENTILATION	EP _V	[kWh/m ² a]	0,0	0,0	0,0	0%
LIGHTING	EP _L	[kWh/m ² a]	0,0	0,0	0,0	0%
H+C+W	EP _{H,C,W}	[kWh/m ² a]	107,0	20,5	127,5	16%
Global	EP _{gl}	[kWh/m ² a]	107,0	20,5	127,5	16%

Figura A3.105 Energia primaria non rinnovabile, rinnovabile, totale e fattore *RER*.

ENVELOPE REQUIREMENTS			
Mean overall heat transfer coefficient	H'_T	[W/m ² K]	0,87
Summer solar effective collecting area per floor area	$A_{sol,est}/A_f$	[-]	0,03

Figura A3.106 Requisiti dell'involucro edilizio.

SYSTEMS EFFICIENCIES			
Global mean seasonal efficiency - HEATING	$\eta_{H,gl}$	[-]	0,78
Global mean seasonal efficiency - COOLING	$\eta_{C,gl}$	[-]	1,20
Global mean seasonal efficiency - DHW	$\eta_{W,gl}$	[-]	0,83

Figura A3.107 Efficienze medie globali stagionali.

Nota 32

Dal calcolo della prestazione energetica dell'edificio è escluso il servizio energetico di trasporto di persone e cose

Negli ultimi tre sotto-moduli: *Grafici_ITA_MiSE*, *Graphs_ENG* e *Other graphs*, vengono automaticamente generati i grafici che riassumono i risultati appena descritti.

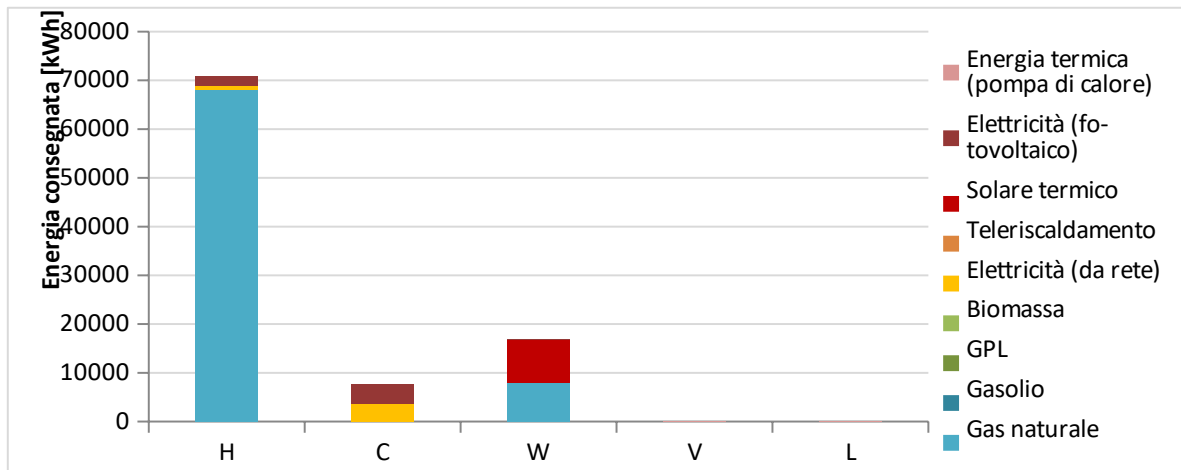


Figura A3.108 Energia consegnata suddivisa per servizio energetico.

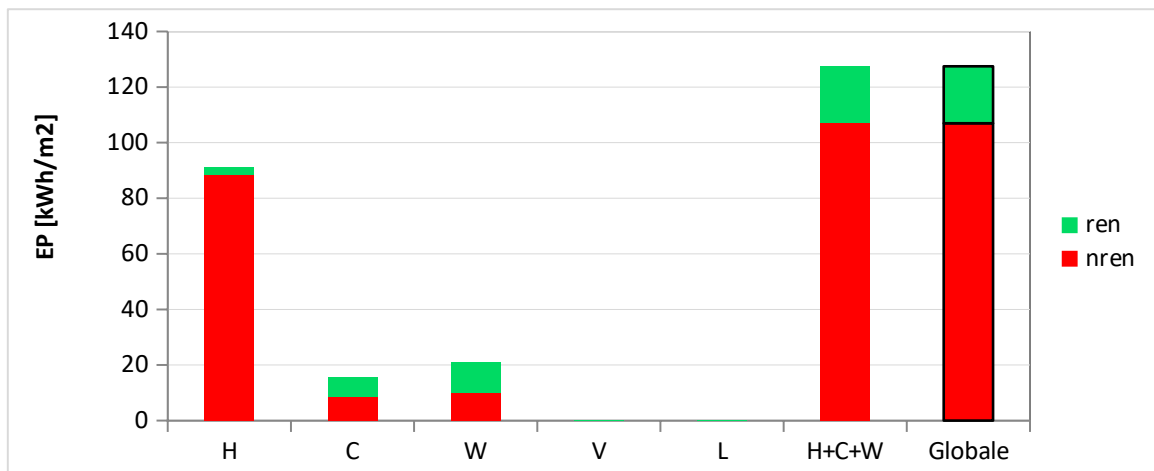


Figura A3.109 Energia primaria rinnovabile e non rinnovabile per servizio energetico.

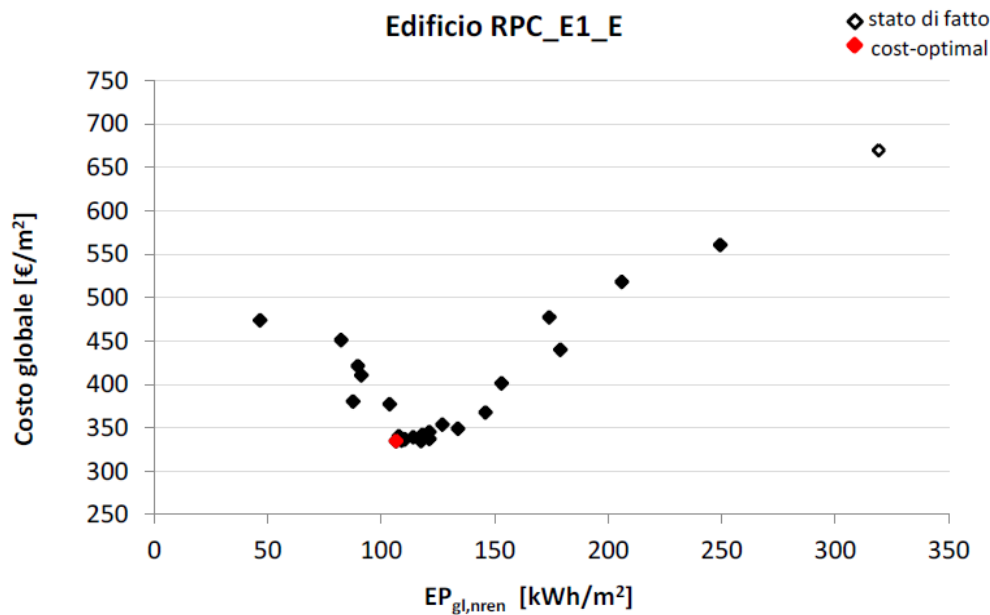


Figura A3.110 Scenari di progetto con individuazione della combinazione ottimale.

A3.15 Tempi di calcolo

I tempi per completare il calcolo dell'ottimizzazione dipendono essenzialmente da due fattori: *hardware* del calcolatore e *timestep* considerato (orario o mensile). Ragionando per ordini di grandezza: per completare un'ottimizzazione mensile potrebbero essere necessarie un paio d'ore; se il calcolo viene effettuato su base oraria, allora l'algoritmo può impiegare dalle 10 fino alle 50 ore; in più, se il fabbisogno energetico di riscaldamento e raffrescamento viene calcolato concordemente alla norma UNI EN ISO 52016-1 impiegando la discretizzazione in nodi dei componenti opachi secondo l'Appendice Nazionale [A11], i tempi di calcolo aumentano esponenzialmente. All'aumentare dei nodi dei componenti di involucro opachi che racchiudono la zona termica, incrementa la dimensione della *matrix A*, cioè quella delle temperature dei nodi e del *vector B*, cioè quella dei termini noti dell'equazione di bilancio. Tale fatto impone una difficoltà computazionale all'interno dell'algoritmo, che sfocerà in un aumento dei tempi di calcolo.

A4. Bibliografia

- [A1] Commissione Europea, "Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia (EPBD *recast*)", maggio 2010.
- [A2] 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", gennaio 2012.
- [A3] Ente Italiano di Normazione, "UNI/TS 11300-1. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale", ottobre 2014.
- [A4] Ente Italiano di Normazione, "UNI EN ISO 52016-1. Prestazione energetica degli edifici - Fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne e carichi termici sensibili e latenti - Parte 1: Procedure di calcolo", marzo 2018.
- [A5] Ente Italiano di Normazione, "UNI/TS 11300-2. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali", febbraio 2019.
- [A6] Ente Italiano di Normazione, "UNI/TS 11300-3. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva", marzo 2010.
- [A7] Ente Italiano di Normazione, "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", marzo 2016.
- [A8] Ente Italiano di Normazione, "UNI/TS 11300-5. Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 5: Calcolo dell'energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili", marzo 2016.
- [A9] Ente Italiano di Normazione, "UNI EN 15193. Prestazione energetica degli edifici – Requisiti energetici per l'illuminazione", maggio 2008.
- [A10] Ente Italiano di Normazione, "UNI EN 15459-1. Prestazione energetica degli edifici – Sistemi di riscaldamento e sistemi di raffrescamento idronici negli edifici – Parte 1: Procedura di valutazione economica per i sistemi energetici negli edifici, Modulo M1-14", marzo 2018.

- [A11] Comitato Termotecnico Italiano (CTI), “Documento n. 020200134, Bozza di Appendice Nazionale UNI EN ISO 52016-1”, gennaio 2022.
- [A12] Ente Italiano di Normazione, “UNI EN ISO 13789. Prestazione termica degli edifici - Coefficienti di trasferimento del calore per trasmissione e ventilazione -Metodo di calcolo”, marzo 2018.
- [A13] Ente Italiano di Normazione, “UNI EN 16798-1. Prestazione energetica degli edifici - Ventilazione per gli edifici - Parte 1: Parametri di ingresso dell'ambiente interno per la progettazione e la valutazione della prestazione energetica degli edifici in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica -Modulo M1-6”, giugno 2019.
- [A14] Repubblica Italiana, “D.P.R. 26 agosto 1993, n. 412. Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n. 10”, agosto 1993.
- [A15] V. Corrado, I. Ballarini, I. Ottati, S. Paduos, “Aggiornamento della metodologia comparativa cost-optimal secondo Direttiva 2010/31/UE”, Report RdS/2014/107, Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA), settembre 2014.
- [A16] V. Corrado, I. Ballarini I., G. De Luca, E. Primo, “Aggiornamento della metodologia comparativa per la determinazione dei livelli ottimali di prestazione energetica negli edifici”, Report RdS/PAR2017/141, Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA), settembre 2018.
- [A17] Ente Italiano di Normazione, “UNI EN ISO 52022-1. Prestazione energetica degli edifici – Proprietà termiche, solari e luminose di componenti ed elementi edilizi. Parte 1: Metodo di calcolo semplificato delle caratteristiche luminose e solari per dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate”, marzo 2018.
- [A18] Repubblica Italiana, “Decreto Ministeriale 26 giugno 2015. Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici”, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 162 del 15 luglio 2015, Supplemento Ordinario n. 39, luglio 2015.
- [A19] Repubblica Italiana, “Decreto Legislativo 3 marzo 2011, n. 28. Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE”, marzo 2011.