



Ricerca di Sistema elettrico

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

V. Corrado, I. Ballarini, S. Paduos

con un contributo di C. Becchio, E. Fabrizio, M. Filippi, V. Monetti



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

V. Corrado, I. Ballarini, S. Paduos (Politecnico di Torino)

con un contributo di C. Becchio, E. Fabrizio, M. Filippi, V. Monetti (Rapporto Tecnico A.4)

Settembre 2013

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2012

Area: Razionalizzazione e Risparmio nell'uso dell'energia elettrica

Progetto: Sviluppo di modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica sul patrimonio immobiliare pubblico

Obiettivo: APPLICABILITÀ DI TECNOLOGIE INNOVATIVE E MODELLI PER LA REALIZZAZIONE DI INTERVENTI DI EFFICIENZA ENERGETICA

Responsabile del Progetto: Gaetano Fasano, ENEA



Il presente documento descrive l'attività di ricerca concernente lo "Sviluppo della metodologia comparativa cost-optimal secondo la Direttiva 2010/31/UE" svolta all'interno dell'Accordo di collaborazione "*Strumenti e metodi per la valutazione dell'efficienza energetica negli edifici*"

Responsabile scientifico ENEA dell'Accordo di collaborazione: Gaetano Fasano

Responsabile scientifico Politecnico di Torino dell'Accordo di collaborazione: Marco Filippi

Responsabile scientifico Politecnico di Torino dell'Attività: Vincenzo Corrado

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	6
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	7
2.1 RAPPORTO TECNICO A.1. “DESCRIZIONE DEGLI EDIFICI DI RIFERIMENTO”.....	9
2.2 RAPPORTO TECNICO A.2. “STRUMENTI DI CALCOLO PER L’APPLICAZIONE DELLA COST OPTIMAL METHODOLOGY AL CASO ITALIANO”.....	13
2.2.1 CALCOLO DEI FABBISOGNI DI ENERGIA.....	13
2.2.2 CALCOLO DEL COSTO GLOBALE.....	21
2.3 RAPPORTO TECNICO A.3. “METODOLOGIA DI OTTIMIZZAZIONE: DESCRIZIONE E APPLICAZIONE AD EDIFICI DI RIFERIMENTO ITALIANI”.....	32
2.3.1 LE MISURE DI EFFICIENZA ENERGETICA E LE OPZIONI DI RISPARMIO ENERGETICO.....	32
(2) PER GLI EDIFICI AD USO UFFICIO LA PRESTAZIONE DELLA SCHERMATURA SOLARE VIENE VALUTATA ATTRAVERSO IL FATTORE DI TRASMISSIONE SOLARE DELLA SCHERMATURA. IL SUO VALORE È FISSATO A 0,2 PER ENTRAMBI I LIVELLI, I QUALI FANNO RIFERIMENTO A DIVERSE MODALITÀ DI GESTIONE - FISSA (LIVELLO 1) E MOBILE (LIVELLO 2) - IN ACCORDO CON LA TECNOLOGIA SCELTA.....	33
2.3.2 I COSTI DEGLI INTERVENTI.....	47
2.3.3 LA PROCEDURA DI OTTIMIZZAZIONE.....	84
2.3.4 ELABORAZIONI E RISULTATI.....	87
2.3.5 ANALISI DI SENSITIVITA’.....	110
2.4 RAPPORTO TECNICO A.4. “LA SIMULAZIONE DINAMICA”.....	114
2.4.1 LA COST OPTIMAL METHODOLOGY APPLICATA AL GRANDE CONDOMINIO.....	115
2.4.2 LA COST OPTIMAL METHODOLOGY APPLICATA ALL’EDIFICIO PER UFFICI.....	124
2.4.3 ANALISI DI SENSITIVITA’.....	131
3 CONCLUSIONI.....	137
Edifici residenziali.....	137
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	143
ALLEGATI.....	145
ALLEGATO A. ZONE CLIMATICHE E POPOLAZIONE RESIDENTE.....	146
ALLEGATO B. ZONE CLIMATICHE E TRASMITTANZA POST-INTERVENTO.....	150
ALLEGATO C. CARATTERISTICHE DEGLI ELEMENTI EDILIZI DI INVOLUCRO.....	153
C.1. RESIDENZE NUOVE.....	154
C.2 RESIDENZE ANTE 1976.....	155
C.3. RESIDENZE POST 1976.....	155
ALLEGATO D. LE SPECIFICHE TECNICHE UNI/TS 11300.....	156
D.1 LA SPECIFICA TECNICA UNI/TS 11300-1:2008.....	156
D.1.1. Deviazioni e univocità del calcolo.....	156
D.1.2. Utenza standard.....	157
D.1.3. Semplificazioni di calcolo.....	157
D.2. LA SPECIFICA TECNICA UNI/TS 11300-2:2008.....	158
D.3 LA SPECIFICA TECNICA UNI/TS 11300-3:2010.....	160
D.4. LA SPECIFICA TECNICA UNI/TS 11300-4:2012.....	160
ALLEGATO E . SCHEDE EDIFICI DI RIFERIMENTO.....	164

Sommario

La linea A all'interno dell'attività di ricerca dal titolo "Strumenti e metodi per la valutazione dell'efficienza energetica negli edifici" concerne lo sviluppo della metodologia comparativa *cost-optimal* secondo la Direttiva 2010/31/UE.

A tal fine, è stata sviluppata una procedura per il calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica, nell'ambito del quadro metodologico definito dal Regolamento delegato UE N. 244/2012 della Commissione del 16 gennaio 2012 e dalle successive Linee Guida.

Per l'applicazione della suddetta metodologia, è stato messo a punto uno strumento di calcolo *user friendly* in formato Excel, costituito da una serie di fogli collegati tra loro in grado, per ogni caso studio considerato, di fornire la migliore soluzione tecnologica in termini di costi/benefici finalizzata alla riduzione dei consumi energetici, sia per edifici di nuova costruzione, sia per edifici esistenti sottoposti a ristrutturazione totale.

Il processo di ottimizzazione ha preso in considerazione i consumi annuali per riscaldamento, produzione ACS, raffrescamento ed illuminazione (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).

Il lavoro è stato strutturato in quattro fasi, come segue:

- A.1. Definizione di edifici di riferimento: tre tipologie di edifici residenziali (monofamiliare, piccolo e grande condominio) e un edificio per uffici sono stati scelti per le zone climatiche italiane B ed E, per tre differenti periodi di costruzione ('46-'76, '77-'90, nuova costruzione) al fine di estendere la ricerca ad edifici rappresentativi del parco edilizio italiano per funzionalità, caratteristiche tipologiche e costruttive, e condizioni climatiche. La definizione delle caratteristiche tipologiche e costruttive degli edifici campione scelti si è basata su dati di letteratura, su indagini statistiche e sui risultati del progetto di ricerca europeo *IEE-TABULA*. La classificazione dei sistemi impiantistici è stata effettuata sulla base dei dati dell'indagine CRESME per ENEA in funzione della tipologia di impianti di riscaldamento (tipo di alimentazione, sistema di emissione e sistema di regolazione della temperatura), mentre per gli impianti di climatizzazione estiva si è considerata la tipologia d'impianto e il sistema di regolazione.
- A.2. Messa a punto degli strumenti di valutazione del livello ottimale di costo degli interventi di risparmio energetico: una valutazione sia energetica sia economica è stata condotta considerando vari pacchetti di misure di efficienza energetica. La valutazione energetica è stata condotta mediante metodologia semplificata, in accordo con le specifiche tecniche UNI/TS 11300-1/2/3/4, con lo scopo di prevedere i consumi energetici globali per singolo edificio campione; la valutazione economica è stata condotta in accordo con la norma UNI EN 15459 con lo scopo di prevedere il costo globale in un contesto di nuova costruzione o ristrutturazione edilizia totale. Per ognuna delle valutazioni sono stati predisposti idonei strumenti di calcolo, realizzati come fogli di calcolo Excel.
- A.3. Valutazione del livello ottimale di costo per alcuni edifici campione: gli strumenti di calcolo definiti al punto A.2. sono stati applicati agli edifici campione del punto A.1. e per ogni tipologia edilizia è stato definito un pacchetto di interventi di risparmio energetico "ottimale", corrispondente al gruppo di interventi di risparmio energetico che se applicati condurrebbero al migliore rapporto costi economici/benefici energetici. Nell'ambito dell'attività è stata condotta un'analisi economica degli interventi di riqualificazione energetica e si è definito un quadro dei costi per singolo intervento, per la zona climatica E. Successivamente, i risultati ottenuti sono stati comparati con i valori prescrittivi contenuti nell'attuale legislazione energetica nazionale al fine di verificare se tali prescrizioni abbiano un reale beneficio economico, secondo quanto richiesto dalla Direttiva 2010/31/UE. Infine, è stata condotta un'analisi di sensitività su scenari di tasso di sconto differente

da utilizzare per il calcolo dei costi finanziari ottimali, in accordo con quanto richiesto dalle Linee Guida al Regolamento.

A.4. Simulazione dinamica: la ricerca dei livelli di prestazione ottimali è stata successivamente condotta attraverso l'utilizzo di un metodo di calcolo dei consumi energetici globali basato su un modello di simulazione termoenergetica dinamica per due dei casi studio già definiti al punto A.1 (edificio residenziale multifamiliare esistente ed edificio per uffici). Per il calcolo dei consumi energetici per riscaldamento e raffrescamento è stato utilizzato il software di simulazione *EnergyPlus* con passo di tempo sub-orario (15') e sulla base di condizioni al contorno variabili su base oraria. Data la logica di simulazione eminentemente deterministica di un software di questo tipo e dato il tempo di calcolo per ogni singolo *run* di simulazione, la ricerca del livello di prestazione ottimale in funzione dei costi è stata condotta eseguendo la simulazione dinamica nelle condizioni di riferimento e con una serie di pacchetti di misure di efficientamento energetico (tra venti e trenta a seconda del caso studio), definiti caso per caso a seguito di una valutazione della fattibilità tecnica del singolo intervento di efficientamento energetico e dell'associazione di diversi interventi di riqualificazione energetica (pacchetti di misure), procedendo quindi a confrontare sul diagramma consumo globale-energia primaria i risultati. Analogamente a quanto effettuato al punto A.3, è stata effettuata un'analisi di sensitività in funzione dei parametri economici.

1 Introduzione

Secondo quanto definito dall'Accordo di Programma del 4 marzo 2013 tra il Ministero dello Sviluppo Economico, ENEA e il Politecnico di Torino nell'ambito del Piano Annuale di Realizzazione 2012, Area "Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica", obiettivo "a. Applicabilità di tecnologie innovative e modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica" del Progetto C.2 "Sviluppo di modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica sul patrimonio immobiliare pubblico", la presente relazione illustra il lavoro svolto nell'ambito dell'attività di ricerca della linea A, concernente lo sviluppo della metodologia comparativa cost-optimal secondo la Direttiva 2010/31/UE.

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

La EPBD recast richiede agli Stati Membri che i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici siano definiti in un'ottica di raggiungimento dei livelli ottimali di costo. A tali fini, la Direttiva ha introdotto una metodologia di analisi comparativa con il proposito di determinare requisiti di riferimento per gli standard nazionali.

Il livello ottimale in funzione dei costi è definito come "il livello di prestazione energetica che conduce al costo più basso durante il ciclo di vita economico stimato dell'edificio", dove il costo più basso è determinato tenendo conto dei costi di investimento legati all'energia, dei costi di manutenzione e di funzionamento e degli eventuali costi di smaltimento. Agli Stati membri è demandata la determinazione della durata del ciclo di vita economico dell'intero edificio o degli elementi considerati nelle valutazioni.

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

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

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

Per l'applicazione della suddetta metodologia, è prevista la creazione di un pacchetto integrato costituito da fogli di calcolo *user friendly* in formato Excel in grado, per ogni caso studio considerato, di fornire la migliore soluzione tecnologica in termini di costi/benefici finalizzata alla riduzione dei consumi energetici, sia per edifici di nuova costruzione, sia per edifici esistenti sottoposti a ristrutturazione totale.

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

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

Il lavoro si struttura nelle seguenti quattro fasi:

A.1. definizione di edifici di riferimento

A.2. messa a punto degli strumenti di valutazione del livello ottimale di costo degli interventi di risparmio energetico

A.3. valutazione del livello ottimale di costo per alcuni edifici campione

A.4. simulazione dinamica.

A.1. Definizione di edifici di riferimento: per due zone climatiche è definito un numero congruo di edifici di riferimento (tre residenziali ed un ufficio, esistenti e nuovi) rappresentativi del parco edilizio italiano per funzionalità, caratteristiche tipologiche e costruttive, e condizioni climatiche. Alcuni edifici di riferimento sono reali, altri sono archetipi. La definizione delle caratteristiche tipologiche e costruttive degli edifici campione scelti si basa su dati di letteratura, su indagini statistiche e sui risultati del progetto di ricerca europeo *IEE-TABULA*. La classificazione dei sistemi impiantistici è effettuata sulla base dei dati dell'indagine CRESME per ENEA in funzione della tipologia di alimentazione, del sistema di emissione e del sistema di regolazione della temperatura per gli impianti di riscaldamento, mentre per quelli di climatizzazione estiva viene considerata la tipologia d'impianto e il sistema di regolazione. La scelta degli edifici campione è svolta in coerenza con quanto precedentemente predisposto dal gruppo di lavoro tecnico istituito presso il Ministero dello Sviluppo Economico per l'attuazione della Direttiva 2010/31/UE.

A.2. Messa a punto degli strumenti di valutazione del livello ottimale di costo degli interventi di risparmio energetico: al fine di definire un livello ottimale di costo degli interventi per differenti tipologie edilizie, si procede ad una doppia valutazione, sia energetica che economica, considerando vari pacchetti di misure di efficienza energetica (a titolo di esempio, isolamento dell'involucro opaco, sostituzione dei serramenti e del generatore di calore). La valutazione energetica è condotta mediante metodologia semplificata, in accordo con le specifiche tecniche UNI/TS 11300-1/2/3/4, con lo scopo di prevedere i consumi energetici globali per singolo edificio campione considerando riscaldamento, produzione ACS, raffrescamento ed illuminazione (solo per il terziario). La valutazione economica è condotta in accordo con la norma UNI EN 15459 con lo scopo di prevedere il costo globale in un contesto di nuova costruzione o ristrutturazione edilizia totale, considerando il costo dell'investimento iniziale, di manutenzione, di eventuale sostituzione, di dismissione e costo residuo. Per ognuna delle valutazioni si predispongono idonei strumenti di calcolo:

1. foglio di calcolo del fabbisogno di energia termica, UNI/TS 11300-1;
2. foglio di calcolo del fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento e la produzione di ACS, UNI/TS 11300-2;
3. foglio di calcolo del fabbisogno di energia primaria per il raffrescamento, UNI/TS 11300-3;
4. foglio di calcolo della produzione di energia termica ed elettrica da fonti energetiche rinnovabili (pompa di calore, solare termico, fotovoltaico), UNI/TS 11300-4;
5. foglio di calcolo per la valutazione dei consumi energetici per illuminazione, UNI EN 15193;
6. foglio di calcolo del costo globale degli interventi di risparmio energetico, UNI EN 15459;
7. foglio di calcolo per la procedura di ottimizzazione energetica ed economica dell'intervento di risparmio energetico.

A.3. Valutazione del livello ottimale di costo per alcuni edifici campione: gli strumenti di calcolo definiti al punto A.2. sono in questa fase applicati agli edifici campione del punto A.1. e per ogni tipologia edilizia è definito un pacchetto di interventi di risparmio energetico "ottimale", corrispondente al gruppo di interventi di risparmio energetico che se applicati condurrebbero al migliore rapporto

costi economici/benefici energetici. Successivamente, i risultati ottenuti sono comparati con i valori prescrittivi contenuti nell'attuale legislazione energetica nazionale al fine di verificare se tali prescrizioni abbiano un reale beneficio economico, secondo quanto richiesto dalla Direttiva 2010/31/UE. All'interno dell'attività è inoltre condotta un'analisi economica degli interventi di riqualificazione energetica e si definisce un quadro dei costi per singolo intervento, per la zona climatica E. A tal fine si procede a:

1. definire le misure di efficienza energetica da applicare per gli edifici di riferimento;
2. sulla base delle metodologie di calcolo specificate nelle norme tecniche europee (CEN), valutare il fabbisogno di energia finale e primaria degli edifici di riferimento prima e dopo l'applicazione delle misure di efficienza energetica;
3. calcolare il costo globale delle misure di efficienza energetica applicate agli edifici di riferimento nel corso del previsto ciclo di vita economica, tenendo conto dei costi di investimento, di manutenzione e di esercizio, gli utili dalla produzione di energia e i costi di smaltimento;
4. definire i livelli ottimali di costo e gli associati pacchetti di misure di efficienza energetica.
5. effettuare un'analisi di sensitività su scenari di prezzi diversi per i vettori energetici utilizzati e per i tassi di sconto, in accordo con le Linee Guida di supporto all'applicazione del Regolamento.

A.4. Simulazione dinamica: La simulazione dinamica (EnergyPlus) è utilizzata per la valutazione dei consumi energetici di due edifici campione tra quelli definiti al punto A.1. ai quali vengono applicati pacchetti di varie misure di efficienza energetica. I dati derivanti da tali simulazioni sono poi a loro volta oggetto di valutazione economica per il calcolo del costo globale, nonché di determinazione del livello ottimale di costo.

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

2.1 Rapporto tecnico A.1. “Descrizione degli edifici di riferimento”

Ai fini della metodologia di calcolo del livello ottimale in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica, così come richiesto all'allegato III della Direttiva 2010/31/UE [1] e all'allegato I del Regolamento delegato (UE) N. 244/2012 della commissione del 16 gennaio 2012 [2], gli Stati membri sono tenuti a definire edifici di riferimento che siano rappresentativi del parco immobiliare normale e medio.

Gli edifici di riferimento possono essere reali - esempi di edifici più diffusi all'interno di una data categoria - oppure virtuali (archetipi), vale a dire rappresentativi di una data categoria ma non realmente esistenti [20-23].

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

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

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

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

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

Per l'applicazione italiana si è quindi optato per la definizione di edifici virtuali (uno nuovo e due esistenti di diverse epoche), situati in due zone climatiche (B ed E, ai sensi del D.P.R. 412/93, si veda a tal proposito l'Allegato A), per quattro tipologie edilizie (abitazione monofamiliare, piccolo condominio, grande condominio, edificio ad uso ufficio), per un totale di 24 edifici di riferimento.

Come banca dati si è fatto riferimento al progetto *TABULA* per gli edifici residenziali della zona climatica E, mentre per gli edifici ad uso ufficio si sono utilizzate tipologie definite da ENEA. La classificazione dei sistemi impiantistici è effettuata sulla base dei dati dell'indagine CRESME per ENEA in funzione della tipologia di alimentazione, del sistema di emissione dell'aria e del sistema di regolazione della temperatura per gli impianti di riscaldamento, mentre per quelli di climatizzazione estiva si è considerata la tipologia di impianto e il sistema di regolazione.

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

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

CATEGORIE DI RIFERIMENTO		NUMERO EDIFICI	ZONE CLIMATICHE		NUMERO DI MODELLI	
			B	E	NUOVI	ESISTENTI
Abitazione monofamiliare esistente	virtuale	2	1	1	-	4
Abitazione monofamiliari nuova	virtuale	1	1	1	2	-
Piccolo condominio esistente	virtuale	2	1	1	-	4
Piccolo condominio nuovo	virtuale	1	1	1	2	-
Grande condominio esistente	virtuale	2	1	1	-	4
Grande condominio nuovo	virtuale	1	1	1	2	-
Edificio ad uso ufficio esistente	virtuale	2	1	1	-	4
Edificio ad uso ufficio nuovo	virtuale	1	1	1	2	-
RESIDENZIALE					6	12
TOTALE RESIDENZIALE					18	
UFFICI					2	4
TOTALE UFFICI					6	
TOTALE NUOVI/ESISTENTI					8	16
TOTALE					24	

Edifici residenziali esistenti

A titolo di esempio si riporta in Figura 2.1 la matrice della Tipologia Edilizia della zona climatica E italiana elaborata dal Politecnico di Torino nell'ambito del progetto TABULA; tra questi, gli edifici selezionati per il presente lavoro sono descritti nell'Allegato E sotto forma di schede.

Per ogni tipologia edilizia ed epoca è stato individuato un edificio per la zona climatica E; il medesimo edificio è stato utilizzato anche per la zona climatica B, dopo averne modificato le caratteristiche del sistema edilizio (trasmittanze termiche) ed impiantistico (potenze installate e rendimenti) per adattare al differente contesto climatico. La definizione degli elementi d'involucro e dei valori di trasmittanza termica post-intervento in funzione delle zone climatiche è riportata negli Allegati B e C.

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

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

Edifici residenziali nuovi

Coerentemente con le scelte effettuate per gli edifici residenziali esistenti, i modelli di riferimento per gli edifici residenziali nuovi riguardano le seguenti tipologie:

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

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

Per ogni tipologia edilizia è stato individuato un edificio nuovo, che per geometria è il medesimo per entrambe le zone climatiche B ed E, ma che per caratteristiche del sistema edilizio (trasmissioni termiche) ed impiantistico (potenze installate e rendimenti) è differente in funzione del contesto climatico.

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

Edifici ad uso ufficio esistenti

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

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

Questi modelli rappresentano degli edifici tipo del Parco Edilizio Nazionale ad uso ufficio, e sono stati strutturati sulla base delle informazioni estrapolate dall'indagine effettuata da CRESME per ENEA e dai risultati del Progetto BEEPS1 [24].

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

L'edificio ad uso ufficio di 5 piani è stato definito secondo la tipologia di edificio che ha iniziato a imporsi a partire dagli anni '70 del XX secolo, contraddistinto da una struttura in cemento armato alternata ad ampie superfici vetrate. Tale tipologia di edificio può essere presa a riferimento anche per quelli di nuova costruzione.

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

Edifici ad uso ufficio nuovi

Come detto in precedenza, la tipologia di edificio utilizzata per l'esistente post anni '70 è contraddistinta da una struttura in cemento armato alternata ad ampie superfici vetrate, da considerarsi anche come modello principale degli edifici ad uso ufficio di nuova costruzione.

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

2.2 Rapporto tecnico A.2. “Strumenti di calcolo per l'applicazione della Cost Optimal Methodology al caso italiano”

2.2.1 CALCOLO DEI FABBISOGNI DI ENERGIA

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

Si raccomanda agli Stati Membri di utilizzare le norme CEN per i calcoli della prestazione energetica. La norma UNI EN 15603:2008 [10] fornisce uno schema generale per il calcolo energetico che procede secondo il diagramma di flusso mostrato in Figura 2.2 La procedura comprende le seguenti fasi [11]:

1. calcolo del fabbisogno netto di energia termica per soddisfare i requisiti degli utenti. Ad esempio, in inverno il fabbisogno energetico è calcolato come dispersione di energia termica per trasmissione attraverso l'involucro e per ventilazione meno i guadagni interni (da apparecchiature, sistemi di illuminazione e occupazione) e i guadagni «naturali» di energia (riscaldamento solare passivo);
2. sottrazione dell'energia termica da sorgenti rinnovabili generata e utilizzata in situ (ad esempio, da collettori solari);
3. calcolo del consumo di energia per ciascun uso finale (riscaldamento e raffreddamento di ambienti, acqua calda, illuminazione, ventilazione) e per ciascun vettore di energia (elettricità, combustibili), tenendo conto delle caratteristiche (efficacia stagionale) della produzione, della distribuzione, delle emissioni e dei sistemi di controllo;
4. sottrazione dell'energia elettrica da sorgenti rinnovabili generata e utilizzata in situ (ad esempio, da pannelli fotovoltaici);
5. calcolo dell'energia fornita per ciascun vettore di energia come somma dei consumi di energia (non coperta dall'energia da fonti rinnovabili);
6. calcolo dell'energia primaria associata all'energia fornita (*delivered*) e all'energia esportata verso il mercato (*exported*), ad esempio generata da sorgenti rinnovabili o da cogeneratori in situ, utilizzando i fattori nazionali di conversione;
7. calcolo dell'energia primaria netta come differenza tra quella associata all'energia fornita e quella associata all'energia esportata.

A livello nazionale il calcolo del fabbisogno di energia degli edifici di riferimento è stato condotto mediante una doppia metodologia: secondo le specifiche tecniche UNI/TS 11300 [16], e secondo una metodologia di tipo dinamico semplificato, sulla base della norma UNI EN ISO 13790 [12], opportunamente integrata per determinare i rendimenti degli impianti [13 e 15].

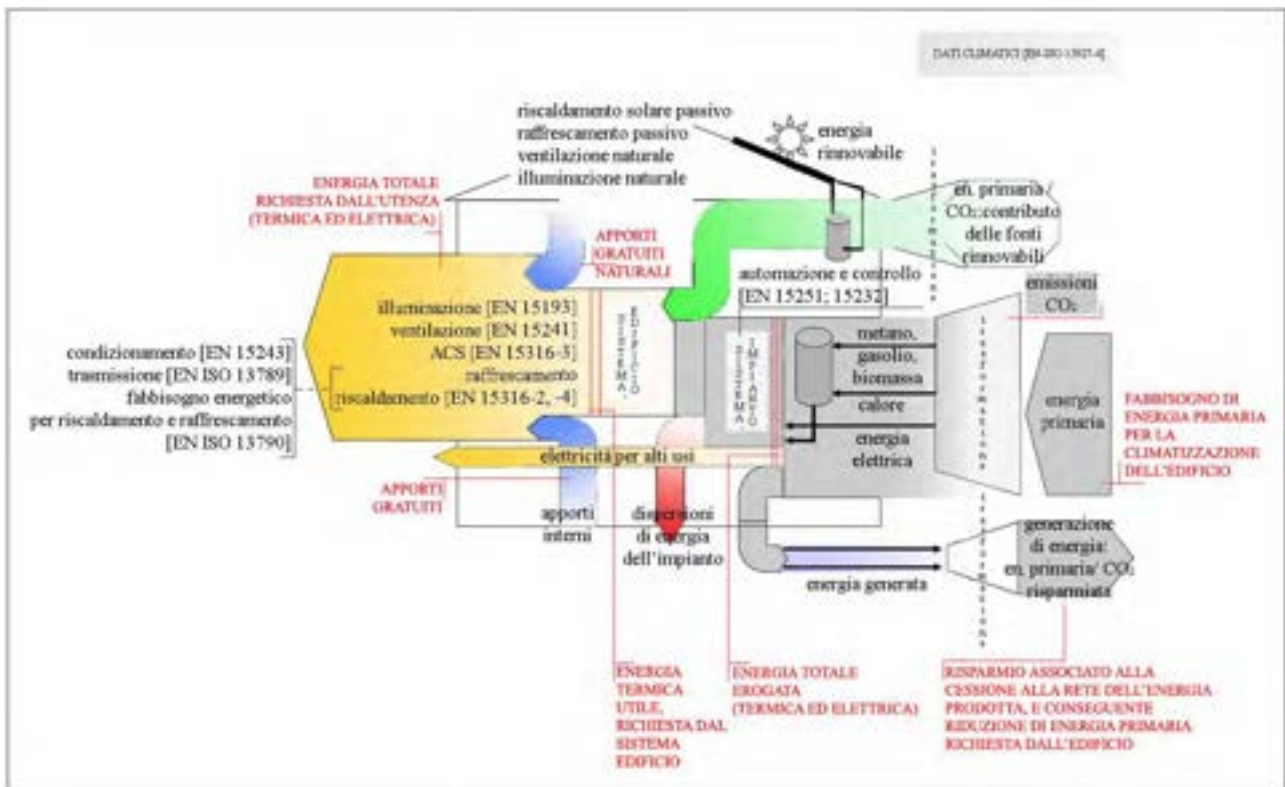


Figura 2.2. Schema di calcolo della prestazione energetica secondo la normativa tecnica europea.

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

- UNI/TS 11300-1:2008 "Prestazioni energetiche degli edifici - Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva e invernale"
- UNI/TS 11300-2:2008 "Prestazioni energetiche degli edifici - Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva"
- UNI/TS 11300-3:2010 "Prestazioni energetiche degli edifici - Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva"
- UNI/TS 11300-4:2012 "Prestazioni energetiche degli edifici - Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria"

Per ognuna delle specifiche tecniche sono stati predisposti uno o più fogli di calcolo *user friendly* in formato Excel, in grado di calcolare i vari fabbisogni energetici a seconda dei dati in ingresso inseriti per singolo edificio. Essendo la metodologia di calcolo del fabbisogno di energia primaria dell'edificio, i fogli di calcolo sono tra loro collegati, in modo che l'output di uno divenga l'input del successivo, a partire dal foglio UNI/TS 11300-1. Di seguito si fornisce l'elenco dei fogli di calcolo creati e per ognuno alcune immagini rappresentative (ma non esaustive) delle schermate di imputazione dei dati e di calcolo.

– UNI TS 11300-1

DATI GENERALI					
		Dato	Valore	Dato	Valore
PROPRIETA' GEOMETRICHE	$A_{f,l}$ [m ²]		169		
	A_f [m ²]		162		
	V_l [m ³]		584		
	V [m ³]		486		
	κ_e [kJ/m ² K]		135		
DATI RELATIVI ALL'UTENZA e PARAMETRI GESTIONALI	$\Phi_{int,mn}$ [W]		449	$\Phi_{int,mn}/A_f$ [W/m ²]	2,77
	$q_{ve,mn}$ [m ³ /h]		146	$q_{ve,mn}/A_f$ [m ³ /h m ²]	0,90
	b_{ve} [-]		1		
	$\theta_{int,set,H}$ [°C]		20		
	$\theta_{int,set,C}$ [°C]		26		

Figura 2.3. Riassunto dei dati generali dell'edificio in esame.

DATI CALCOLATI					
		Dato	Valore	Dato	Valore
	A_e [m ²]		437	A_e/A_f [-]	2,70
PARAMETRI TERMICI DELLA ZONA	$\sum(F_r \cdot \Phi_r)$ [W]		178		
	H_D [W/K]		147,6	H_D/A_f [W/m ² K]	0,91
	H_g [W/K]		0,0	H_g/A_f [W/m ² K]	0,00
	H_U [W/K]		76,1	H_U/A_f [W/m ² K]	0,47
	H_A [W/K]		0,0	H_A/A_f [W/m ² K]	0,00
	$H_{tr,adj}$ [W/K]		223,7	$H_{tr,adj}/A_f$ [W/m ² K]	1,38
	$H_{ve,adj}$ [W/K]		48,6	$H_{ve,adj}/A_f$ [W/m ² K]	0,30
	H_{ht} [W/K]		272,3	H_{ht}/A_f [W/m ² K]	1,68
	C_m [kJ/K]		58987	τ [h]	60,18

Figura 2.4. Riassunto dei parametri termici e dei coefficienti di dispersione per trasmissione e ventilazione dell'edificio in esame calcolati.

– UNI TS 11300-2

CALCOLO DELLE PERDITE DI EMISSIONE E REGOLAZIONE SECONDO UNI TS 11300-2															
			GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale Annuo
Temperatura esterna	θ_e	$^{\circ}\text{C}$	1,7	4,2	9,2	14,0	17,9	22,5	25,1	24,1	20,4	14,0	7,9	3,1	
Giorni di attivazione	giorni	gg	31	28	31	11	0	0	0	0	0	17	30	31	179,3072692
Ore di attivazione al giorno	ore	h	744	672	744	271	0	0	0	0	0	408	720	744	4303,374461
Rapporto tra apporti e dispersioni	γ	-	0,18	0,27	0,52	0,82						0,66	0,29	0,19	
Fattore di utilizzazione degli apporti	η	-	1,00	1,00	0,98	0,90						0,95	1,00	1,00	
Fabbisogno di energia termica per il riscaldamento dell'edificio	Q h	kWh	3141	2185	1145	157	0	0	0	0	0	317	1776	2896	11617
Perdite recuperate dal sistema di produzione di ACS	Q l,rh,w	kWh	6,3	5,7	6,3	3,0						3,4	6,1	6,3	37
Fabbisogno di netta energia termica per il riscaldamento dell'edificio	Q' h	kWh	3134	2179	1139	154						314	1770	2890	11580
Volume lordo della zona			V l	m ³	583,52										
Carico termico medio annuo della zona			W/m ³	4,6											
Descrizione dei terminali installati															
Rendimento di emissione			0,95 0,95												
Perdite del sottosistema di emissione	Q l,e	kWh	165	115	60	8						17	93	152	609
Fabbisogno di energia termica in uscita alla regolazione della zona	Q rg,out	kWh	3299	2294	1199	162						330	1863	3042	12189
Tipologia di regolazione			Solo ambiente con regolatore									Rendimento di regolazione			1,00
Caratteristiche della regolazione			Compensazione con sonda esterna												
Tipologia di terminali			Sistemi a bassa inerzia termica												
Rendimento di regolazione	η_{rg}	-	1,00	1,00	1,00	1,00						1,00	1,00	1,00	
Perdite di regolazione	Q l,rg	kWh	17	12	6	1						2	9	15	61
Fabbisogno di energia termica in entrata alla regolazione della zona	Q rg,in	kWh	3316	2306	1205	163						332	1872	3057	12251
CALCOLO DEI FABBISOGNI ELETTRICI DELL'EMISSIONE															
Potenza elettrica dei ventilatori [W]			240 SOLO PER VENTILCONVETTORI												
Fabbisogno di energia primaria dei ven	Q aux,e	kWh	233	210	233	85	0	0	0	0	0	128	225	233	1347

Figura 2.5. Imputazione dei dati per il calcolo delle perdite di emissione e di regolazione dell'impianto di riscaldamento.

CALCOLO DEL FABBISOGNO DI ENERGIA PRIMARIA PER LA PRODUZIONE DI ACS SECONDO UNI TS 11300-2

Destinazione d'uso della zona	Residenziale	Superficie utile della zona [m ²]	162,00
	Residenziale	Numero unità immobiliari	1,00
	Altra destinazione		

Parametri e Nu			
a	1,4		
Nu	162,00		
Massa volumica dell'acqua	kg/m ³	1000,0	
Calore specifico dell'acqua	Wh/kg°C	1,2	
Temperatura di erogazione	°C	40	
Temperatura di ingresso	°C	15	

Vw [l/giorno] 220,6

		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale Annuo
Giorni di attivazione	gg	31	28	31	30	31	30	31	30	31	30	31	31	365
Ore di attivazione	h	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	8760
Ore di attivazione inverno	h	744	672	744	271	0	0	0	0	0	408	720	744	4303
Ore di attivazione estate	h	0	0	0	449	744	720	744	744	720	336	0	0	4457
Temperatura di erogazione	θ _{er}	°C	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Temperatura di ingresso	θ _o	°C	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Fabbisogno in litri	l/mese	6837	6176	6837	6617	6837	6617	6837	6837	6617	6837	6617	6837	80502
Fabbisogno di energia termica	Q _{h,W}	kWh	198,6	179,4	198,6	192,2	198,6	192,2	198,6	198,6	192,2	198,6	192,2	2339
Fabbisogno energia termica inverno	kWh	199	179	199	72	0	0	0	0	0	109	192	199	1149
Fabbisogno energia termica estate	kWh	0	0	0	120	199	192	199	199	192	90	0	0	1190

 Rendimento di erogazione η_{er} 0,95

		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale Annuo
Perdite di erogazione	Q _{l,w,er}	kWh	10,5	9,4	10,5	10,1	10,5	10,1	10,5	10,5	10,1	10,5	10,1	123
Perdite di erogazione inverno	kWh	10	9	10	4	0	0	0	0	0	6	10	10	60
Perdite di erogazione estate	kWh	0	0	0	6	10	10	10	10	10	5	0	0	63
Fabbisogno in uscita dalla distribuzione	kWh	209,1	188,8	209,1	202,3	209,1	202,3	209,1	209,1	202,3	209,1	202,3	209,1	2462
Fabbisogno out distribuzione inverno	kWh	209	189	209	76	0	0	0	0	0	115	202	209	1209
Fabbisogno out distribuzione estate	kWh	0	0	0	126	209	202	209	209	202	94	0	0	1252

Tipologia di sistema di distribuzione Installato prima dell'entrata in vigore della legge 373/76

	Prospecto 30	f _{l,w,d}	f _{rh,w,d}
	Installato prima dell'entrata in vigore della legge 373/76	0,12	0,5
	Installato dopo dell'entrata in vigore della legge 373/76	0,08	0,5
		0,12	0,5

		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale Annuo
Perdite di distribuzione	kWh	12,5	11,3	12,5	12,1	12,5	12,1	12,5	12,5	12,1	12,5	12,1	12,5	148
Perdite distribuzione inverno	kWh	13	11	13	5	0	0	0	0	0	7	12	13	73
Perdite distribuzione estate	kWh	0	0	0	8	13	12	13	13	12	6	0	0	75
Fabbisogno in uscita dall'accumulo	kWh	221,6	200,2	221,6	214,5	221,6	214,5	221,6	221,6	214,5	221,6	214,5	221,6	2609
Fabbisogno out accumulo inverno	kWh	221,6	200,2	221,6	80,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	121,5	214,5	221,6	1282
Fabbisogno out accumulo estate	kWh	0,0	0,0	0,0	133,6	221,6	214,5	221,6	221,6	214,5	100,1	0,0	0,0	1328

La generazione di ACS è combinata al riscaldamento? no

E' presente un serbatoio di accumulo esterno al generatore di ACS? no

Il serbatoio di accumulo è installato all'interno dello spazio riscaldato? no

Superficie disperdente dell'accumulo	m ²	0	K _{boll}	0,0
Spessore dello strato isolante	m	1		
Conduttività dello strato isolante	W/(m x K)	0		

Temperatura media dell'acqua nel serbatoio di accumulo	°C	40	40
Temperatura del locale di installazione del serbatoio di accumulo	°C	20	20

Perdite del serbatoio di accumulo kWh 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0

Perdite del circuito primario kWh Trascurabili se la distanza serbatoio generatore è inferiore a 5 m. In caso contrario è necessario utilizzare la metodologia dell'Appendice A

		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale Annuo
Fabbisogno di energia termica in uscita dalla generazione	kWh	221,6	200,2	221,6	214,5	221,6	214,5	221,6	221,6	214,5	221,6	214,5	221,6	2609
Fabbisogno out generazione inverno	kWh	221,6	200,2	221,6	80,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	121,5	214,5	221,6	1282
Fabbisogno out generazione estate	kWh	0,0	0,0	0,0	133,6	221,6	214,5	221,6	221,6	214,5	100,1	0,0	0,0	1328
Fabbisogno di energia termica in uscita dalla generazione se solare termico	kWh	221,6	200,2	167,3	106,9	98,7	82,0	76,8	81,9	92,3	192,1	214,5	221,6	1756
Fabbisogno out solare termico inverno	kWh	221,6	200,2	167,3	40,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	105,3	214,5	221,6	1171
Fabbisogno out solare termico estate	kWh	0,0	0,0	0,0	66,6	98,7	82,0	76,8	81,9	92,3	86,8	0,0	0,0	585

Rendimento di generazione estivo	η _{gn}	DA USARE SOLO SE COMB
Rendimento di generazione invernale	η _{gn}	DA USARE SOLO SE COMB
Rendimento di generazione stagionale	η _{gn}	0,88 DA USARE SOLO SE SEPARA

		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale Annuo
Perdite di generazione	kWh	30,2	27,3	22,8	14,6	13,5	11,2	10,5	11,2	12,6	26,2	29,2	30,2	239
Perdite generazione inverno	kWh													0
Perdite generazione estate	kWh													0
Fabbisogno di energia termica in entrata alla generazione	kWh	251,8	227,5	190,2	121,5	112,2	93,2	87,2	93,1	104,9	218,3	243,7	251,8	1995
Fabbisogno in generazione inverno	kWh													0
Fabbisogno in generazione estate	kWh													0

Figura 2.6. Imputazione dei dati per il calcolo delle fabbisogno di energia primaria per la produzione di ACS.

– UNI TS 11300-3

	Mese												
	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre	
Q_c [MJ]	0	0	0	0	166	2413	4781	3497	371	0	0	0	11227
Q_c [kWh]	0	0	0	0	46	670	1328	971	103	0	0	0	3119
Ql,e [kWh]	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	20,7	41,1	30,0	3,2	0,0	0,0	0,0	96,5
Ql,rg [kWh]	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	14,1	27,9	20,4	2,2	0,0	0,0	0,0	65,6
Ql,d [kWh]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ql,d,s [kWh]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
Qrr [kWh]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
QCr [kWh]	0	0	0	0	49	705	1397	1022	108	0	0	0	3281
t [h]	0	0	0	0	248	720	744	744	387	0	0	0	2843
Fk	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	10,9	20,9	15,3	3,1	0,0	0,0	0,0	
aria/aria-aria/acqua	$EER(Fk)$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93	2,60	3,29	2,96	1,21	0,00	0,00	
aria/aria-aria/acqua	$\eta 1(Fk)$	0,00	0,00	0,00	0,000	1,044	0,953	0,903	0,922	0,992	0,000	0,00	
	$\eta 2$	0,00	0,00	0,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	0,00	
	$\eta 3$	0,00	0,00	0,00	1,00	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	1,00	0,00	
	$\eta 4$	0,00	0,00	0,00	1,00	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	1,00	0,00	
	$\eta 5$	0,00	0,00	0,00	1,00	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	1,00	0,00	
	$\eta 6$	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	
	ηmm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,81	2,08	2,50	2,29	1,01	0,00	0,00	
	$QCr/\eta mm$ [kWh]	0,00	0,00	0,00	0	60	339	560	446	108	0	0,00	1512
	$Qaux$ [kWh]	0,00	0,00	0,00	0	1	12	23	17	2	0	0,00	55
	QC,P [kWh]	0,00	0,00	0,00	0	131	764	1267	1007	238	0	0,00	3407
	$f_{p,el}$ [-]	2,174											
Emissione													
						η_e	0,97						
Regolazione													
FISSO = Tipo singolo ambiente, modulante 1°C						η_{rg}	0,98						
Distribuzione													
Multisplit/Ventilo	MS					η_d	1						
Numero piani edificio	2												
Generazione													
						Φ_n	9	kW	EER	2,9	(a potenza nominale, 100% del carico)		
	Numero U.I.	1				$\Phi_{n,i}$	9	kW					
COEFFICIENTI CORRETTIVI													
FISSI						$\eta 2$	0,99						
						$\eta 3$	0,94						
						$\eta 4$	0,96						
						$\eta 5$	0,94						
						$\eta 6$	1,00						
AUSILIARI													
Emissione						$W_{aux,e}$	150	W					
Distribuzione						$W_{aux,d}$	0	W					
Generazione						$W_{aux,g}$	0	W					

Figura 2.7. Imputazione dei dati e valutazione del fabbisogno di energia primaria il raffreddamento.

– UNI TS 11300-4_Pompa di calore

POMPA DI CALORE														
Si ipotizza di utilizzare un accumulatore (il procedimento di calcolo per il riscaldamento è quello per l'ACS)														
$\theta_{H,off}$	[°C]	20												
		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale
$Q_{H,gn,out,TOT}$	[kWh]	2020	1274	387							42	1014	1855	6593
$Q_{H,l,s}$	[kWh]	15	13	13	0	0	0	0	0	0	2	13	14	70
$Q_{H,gn,out,TOT}$	[kWh]	2035	1287	401							44	1027	1870	6663
$Q_{H,hp,in}$	[kWh]	684	406	113	0	0	0	0	0	0	11	293	604	2112
$Q_{H,hp,in,P}$	[kWh]	1485	881	245	0	0	0	0	0	0	25	637	1310	4583
LEGENDA														
		Collegamento foglio di calcolo UNI/TS 11300-2 come dato di input												
		Formule collegate a												
		Dati tecnici pompa di calore												
		Dati climatici / di progetto che rimangono invariati												
		Formule												
		Collegamento foglio di calcolo UNI/TS 11300-2 come dato di output												
		Calcolo aggiuntivo UNI/TS 11300-2 (Accumulatore)												

Figura 2.8. Schermata di sunto del fabbisogno energetico per riscaldamento mediante pompa di calore.

– UNI TS 11300-4_Solare termico

	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale
QW_gn,out,mese	221,62	200,17	221,62	214,47	221,62	214,47	221,62	221,62	214,47	221,62	214,47	221,62	2609
X	9,59	9,10	8,11	7,16	6,39	5,49	4,97	5,17	5,90	7,16	8,37	9,31	
(mess. di errore)													
H [MJ/m2d]	5,16	8,56	13,68	17,72	20,11	21,70	23,79	20,33	15,98	10,59	5,94	4,64	
Im [W/m2]	59,73	99,11	158,32	205,06	232,75	251,15	275,35	235,27	184,91	122,60	68,74	53,74	1946,74
Y	0,70	1,29	1,86	2,48	2,73	3,04	3,23	2,76	2,24	1,44	0,83	0,63	
(mess. di errore)													
Qsol_out,mese	33,22	104,42	176,08	214,60	238,99	250,05	268,85	252,08	213,70	147,02	60,37	23,74	1983
fsol*	15,0%	52,2%	79,5%	100,1%	107,8%	116,6%	121,3%	113,7%	99,6%	66,3%	28,1%	10,7%	76,0%
Qsol_out,mese	33,22	104,42	176,08	214,47	221,62	214,47	221,62	221,62	213,70	147,02	60,37	23,74	1983
fsol	15,0%	52,2%	79,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,6%	66,3%	28,1%	10,7%	76,0%
Qsol_aux,m	4,60	7,64	12,20	15,80	17,93	19,35	21,22	18,13	14,25	9,45	5,30	4,14	150,0
QW_sol,st,ls,m	22,00	66,62	103,81	119,57	113,08	97,48	93,74	96,43	102,57	81,97	36,35	15,40	949,0
QW_bu,st,ls,m	124,77	61,09	26,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37	41,59	92,79	128,36	475,8
QW_st,ls,m	146,77	127,71	130,65	119,57	113,08	97,48	93,74	96,43	102,94	123,56	129,14	143,76	1424,8
Qbu_dis,ls,m	3,77	1,91	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,49	3,08	3,96	15,1
QW_st,ls_rnd,m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Qbu_dis,ls_rnd,m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Qsol_aux,l,rbl	3,68	6,11	9,76	12,64	14,35	15,48	16,97	14,50	11,40	7,56	4,24	3,31	120
Qsol,ls,rbl,m	3,68	6,11	9,76	12,64	14,35	15,48	16,97	14,50	11,40	7,56	4,24	3,31	120,00
Perdite totali nette	146,85	123,52	121,80	106,93	98,74	82,00	76,77	81,93	91,56	117,50	127,99	144,40	1319,99
QW_gn,out,reale	335	219	167	107	99	82	77	82	92	192	282	342	1946
QW_gn,out,utile calcolo	222	200	167	107	99	82	77	82	92	192	214	222	1946
Qsol_aux,utile calcolo	0	0	12	16	18	19	21	18	14	9	0	0	150

Figura 2.9. Schermata di sunto del calcolo dell'energia prodotta mediante pannelli solari per soddisfare il fabbisogno di energia per la produzione di ACS.

– UNI TS 11300-4_Solare FV

APPLICAZIONE UNI/TS 11300-4															
FOTOVOLTAICO													Dati dell'impianto:		
														A_{pv} [m ²]	8
														K_{pv} [kW/m ²]	0,13
														W_{pv} [kW]	2,5
														f_{pv} [-]	0,75
Energia elettrica prodotta mensilmente dal sistema fotovoltaico:															
		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
E_{pv} [kWh/m ²]		32,9	52,2	99,5	135,9	169,3	181,5	203,0	164,8	115,9	72,4	36,9	28,7	1293,0	Da UNI/TR 11328-1
$E_{w,pv,out}$ [kWh _e]		81,7	97,9	188,6	254,8	317,5	340,3	380,7	309,1	217,3	135,8	69,1	53,7	2424,4	
Non si considerano fabbisogni elettrici per ausiliari dei sistemi fotovoltaici.															

Figura 2.10. Schermata di sunto del calcolo dell'energia prodotta mediante pannelli FV per soddisfare il fabbisogno di energia elettrica degli ausiliari dei vari sottosistemi impiantistici.

La determinazione delle prestazioni energetiche degli edifici, secondo UNI/TS 11300 è una valutazione di calcolo basata sui dati dei componenti dell'edificio, come assemblati, in condizioni definite di clima, di uso, di esercizio.

Tale scelta non presenta criticità nel caso di valutazioni sul progetto per edifici di nuova costruzione, mentre nel caso di edifici esistenti la mancanza di dati dei componenti e delle modalità di costruzione, il cui accertamento risulta in certi casi non praticabile o comunque eccessivamente costoso, determina difficoltà nella valutazione e classificazione energetica degli edifici.

La UNI/TS 11300, in considerazione di tali difficoltà, fornisce dati di riferimento per gli edifici esistenti per i casi in cui non siano disponibili sufficienti dati.

I consuntivi delle certificazioni energetiche sinora effettuate nel nostro Paese indicano che oltre il 90% degli edifici esistenti certificati ha prestazioni energetiche che li pongono nelle classi energetiche più sfavorevoli.

La UNI/TS 11300:2008 è idonea anche per valutazioni in sede di diagnosi energetica in edifici esistenti.

Si rimanda all'Allegato D per ulteriori approfondimenti sulla metodologia di calcolo.

I consumi energetici per illuminazione

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

- Soluzione (1) T5 senza regolazione
- Soluzione (2) T5 con regolazione base
- Soluzione (3) LED Standard senza regolazione
- Soluzione (4) LED PLUS con regolazione avanzata.

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

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

Figura 2.11. Schermata di sunto del calcolo del fabbisogno di energia elettrica per illuminazione degli edifici ad uso ufficio.

2.2.2 CALCOLO DEL COSTO GLOBALE

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

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

Confrontando il VAN di due o più investimenti alternativi si riesce a valutare l'opzione più vantaggiosa attraverso il meccanismo dell'attualizzazione dei costi e dei ricavi, che prevede il ricondurre ad un medesimo orizzonte temporale i flussi di cassa che si manifesterebbero in momenti diversi e che quindi non sarebbero direttamente confrontabili. In formule, (1) e (2):

$$C_g(\tau, r) = I_0 + \sum_{i=1}^{\tau} \frac{FC(i)}{(1+r)^i} = I_0 + \sum_{i=1}^{\tau} FC(i) \cdot R_d(i) \quad (1)$$

$$R_d(i) = (1+r)^{-i} \quad (2)$$

Dove:

C_g è il costo globale;

τ è l'orizzonte temporale all'interno del quale vengono considerati i flussi di cassa;

r è il tasso di attualizzazione;

I_0 è il costo iniziale per le misure di efficienza energetica (investimento iniziale);

$FC(i)$ sono i flussi di cassa dell'anno i -esimo;

$R_d(i)$ è il fattore di attualizzazione.

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

a. Il periodo di calcolo

Il periodo di calcolo è definito in base alla destinazione d'uso dell'edificio. In particolare, per gli edifici residenziali esso corrisponde a 30 anni, ridotti a 20 per gli edifici adibiti ad uffici. Nell'applicazione "italiana" della *cost-optimal methodology*, in ossequio alle Linee guida, l'anno di partenza per il calcolo è stato fissato nell'anno in corso; pertanto, si assume che nel 2012 venga completata la realizzazione o la ristrutturazione dell'edificio e a partire dal 2013 comincino a incidere i costi annui (costi energetici, manutenzione, ecc...).

Nel caso in cui elementi dell'edificio abbiano una vita utile superiore al periodo di calcolo è necessario valutare il loro valore residuo ipotizzando un deprezzamento lineare nel tempo. Il valore residuo entrerà nel calcolo come un flusso di cassa positivo. Questo concetto è spiegato graficamente nella Figura 2.12.

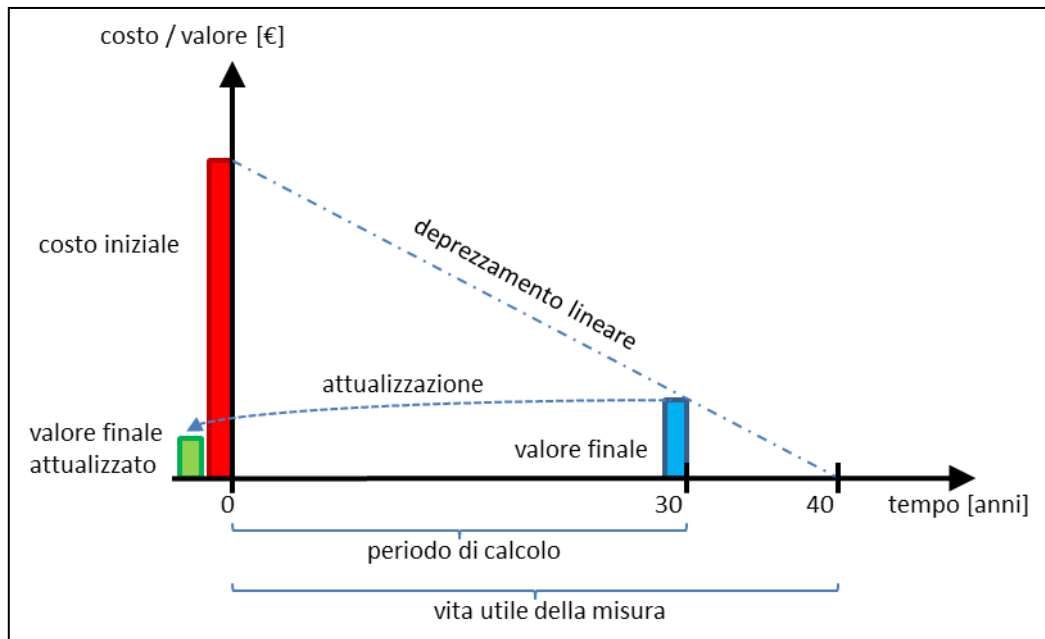


Figura 2.12. Esempio grafico di valutazione del valore finale di una misura.

Se, invece, la vita utile di una misura dovesse risultare inferiore al periodo di calcolo, allora si deve tenere conto del costo di sostituzione della misura, così come mostrato in Figura 2.13. 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.

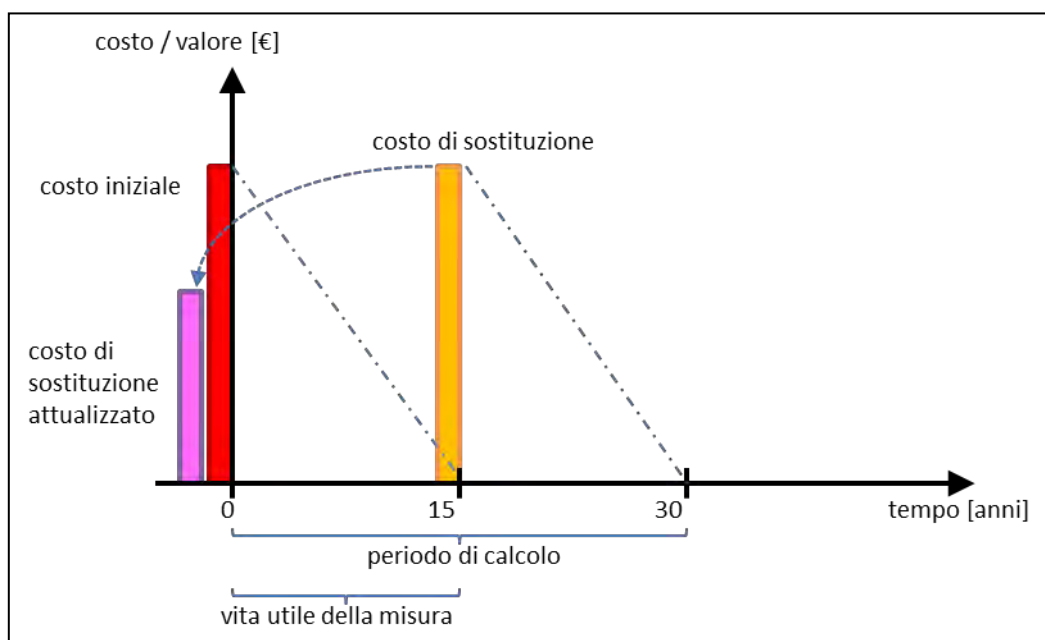


Figura 2.13. Procedura di valutazione del costo di sostituzione di una misura.

In Figura 2.14 è mostrato il caso più complesso in cui l'elemento sostituito ha un vita che eccede il periodo di calcolo, per cui è da calcolarsi il valore residuo della misura sostituita e attualizzare sia il costo del valore residuo che della misura sostituita.

Valutazioni analoghe sono da farsi anche per eventuali costi di smaltimento, che vanno attualizzati come tutti gli altri flussi di cassa. Più delicata da trattare è la situazioni in cui il costo di smaltimento interviene per una misura la cui vita utile eccede il periodo di calcolo. Diventa, allora, necessario attualizzare una prima volta il costo di smaltimento dal termine della vita utile alla fine del periodo di calcolo e successivamente attualizzare tale valore all'anno di partenza del periodo di calcolo (a tal proposito si veda la Figura 2.15). 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.

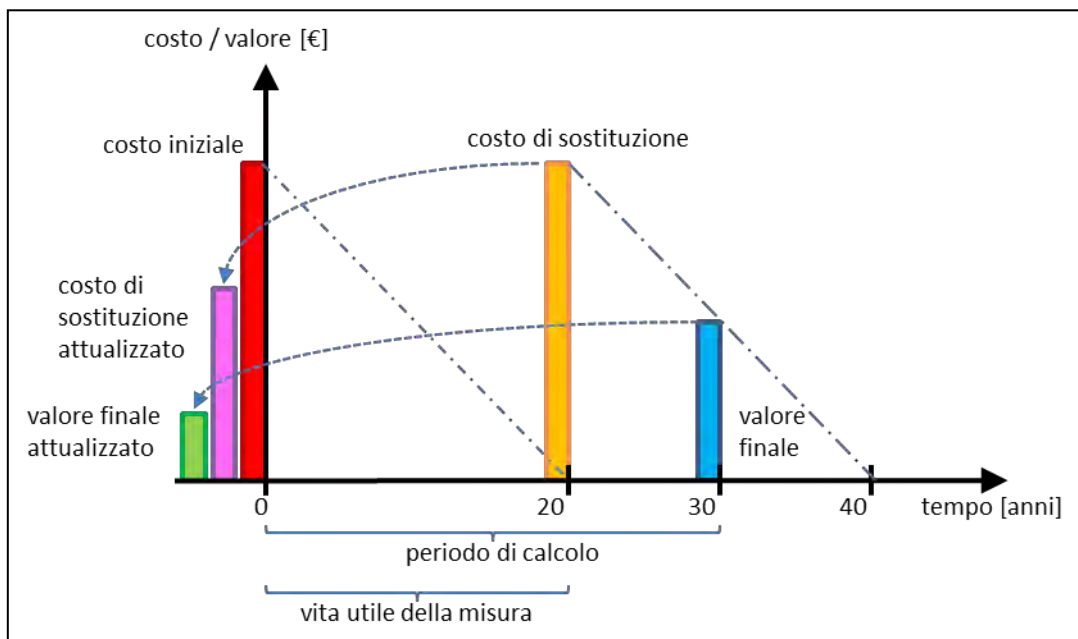


Figura 2.14. Esempio di valutazione del valore finale nel caso di sostituzione di una misura.

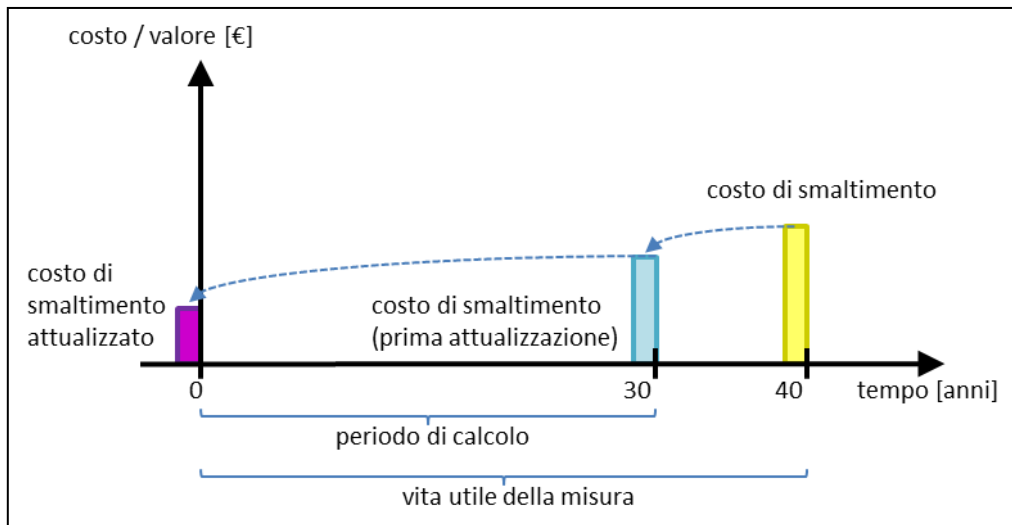


Figura 2.15. Esempio di attualizzazione del costo di smaltimento.

b. Il tasso di attualizzazione

Per capire qual è il ruolo del tasso di attualizzazione si propone un esempio applicativo nel BOX 1. In questo esempio si osserva che un tasso di attualizzazione basso tende a premiare gli interventi di efficienza energetica: infatti minore è il tasso di attualizzazione più i flussi di cassa lontani nel tempo, che in prevalenza sono rappresentati dai consumi energetici, hanno un valore attualizzato maggiore.

Nelle equazioni (1) e (2) il tasso di attualizzazione utilizzato è espresso in termini reali, ovvero al netto dell’inflazione. Tale valore è legato al tasso di inflazione (f) e al tasso nominale (r') attraverso la seguente relazione (3):

$$(1 + r') = (1 + r) \cdot (1 + f) \tag{3}$$

Da cui si ricava l’espressione (4):

$$r = \frac{(1 + r')}{(1 + f)} - 1 \tag{4}$$

BOX 1 – Esempio sul ruolo del tasso di attualizzazione

In quest’esempio si vogliono confrontare due investimenti adottando uno schema semplificato in cui gli unici flussi di cassa sono rappresentati dal costo iniziale e dal costo annuo per i consumi energetici. Il periodo di analisi si estende su 5 anni e si ipotizza un tasso di attualizzazione pari al 3%. Il primo investimento prevede l’adozione di una misura che ha un costo di 1000 € e permette di avere dei consumi energetici pari a 250 € all’anno. Il secondo investimento prevede l’adozione di una misura più efficiente dal punto di vista energetico, in quanto consente di ridurre i consumi energetici a un valore di 100 € all’anno; il costo di questa misura è pari a 1650 €. Il calcolo del costo globale in termini di VAN, esplicitato in Tabella 2.2, fornisce un risultato di 2145 € per il primo investimento e di 2108 € per il secondo investimento. Pertanto, avendo un costo globale inferiore, risulta conveniente l’adozione della misura più efficiente.

Tabella 2.2. Calcolo del VAN con un tasso di attualizzazione del 3%.

	$R_d(i)$	Investimento 1	Investimento 2
Costo iniziale	1	1000 €	1650 €
Costi energetici attualizzati (anno 1)	0,971	243 €	97 €
Costi energetici attualizzati (anno 2)	0,943	236 €	94 €
Costi energetici attualizzati (anno 3)	0,915	229 €	92 €
Costi energetici attualizzati (anno 4)	0,888	222 €	89 €
Costi energetici attualizzati (anno 5)	0,863	216 €	86 €
Costo globale (VAN)		2145 €	2108 €

Se, invece, si immagina un tasso di attualizzazione più elevato e, in particolare, pari al 7% le conclusioni cambiano radicalmente in quanto il costo globale del primo investimento diviene pari a 2025 € mentre il costo globale del secondo investimento risulta pari a 2060 € (Tabella 2.3). In generale, quindi, vale la regola che all'aumentare del tasso di attualizzazione diminuisce il costo globale. Inoltre, è interessante osservare che all'aumentare del tasso di sconto vengono premiati investimenti meno efficienti dal punto di vista dell'efficienza energetica in quanto i costi futuri, che prevalentemente sono rappresentati dai consumi energetici (nell'esempio mostrato in maniera esclusiva), hanno un peso minore per via del meccanismo dell'attualizzazione.

Tabella 2.3. Calcolo del VAN con un tasso di attualizzazione del 7%.

	$R_d(i)$	Investimento 1	Investimento 2
Costo iniziale	1	1000 €	1650 €
Costi energetici attualizzati (anno 1)	0,935	234 €	93 €
Costi energetici attualizzati (anno 2)	0,873	218 €	87 €
Costi energetici attualizzati (anno 3)	0,816	204 €	82 €
Costi energetici attualizzati (anno 4)	0,763	191 €	76 €
Costi energetici attualizzati (anno 5)	0,713	178 €	71 €
VAN (costo globale)		2025 €	2060 €

c. Voci di costo

Lo schema generale delle voci di costo indicato nel Regolamento è mostrato nella Figura 2.16. Tuttavia lo scopo del calcolo non è determinare il costo dell'edificio in sé, ma confrontare il costo globale risultante dall'applicazione di misure di efficienza energetica o alimentate da fonti rinnovabili. Per questa ragione non sono presi in conto i flussi di cassa dovuti a elementi dell'edificio che non hanno influenza sulla prestazione energetica dell'edificio e che non sono legati direttamente o indirettamente all'adozione di misure. A titolo di esempio non esaustivo, non rilevano ai fini della *cost-optimal methodology* i costi del terreno sui cui è costruito l'edificio, delle fondazioni, della pavimentazione e dell'arredamento. Devono, invece, essere considerati i seguenti flussi di cassa:

- investimento iniziale per la progettazione, l'acquisto, l'installazione e/o la posa in opera delle misure di efficienza energetica o alimentate da fonti rinnovabili;
- costi annui di manutenzione per ciascuna misura;

- costo di sostituzione all'esaurirsi della vita utile della misura se la vita utile è inferiore al periodo di calcolo;
- valore residuo della misure se la vita utile eccede il periodo di calcolo;
- eventuali costi di smaltimento;
- costi energetici;
- costo delle emissioni di CO₂;
- ricavi derivanti dalla vendita di energia elettrica prodotta con moduli fotovoltaici o cogeneratori.

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

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

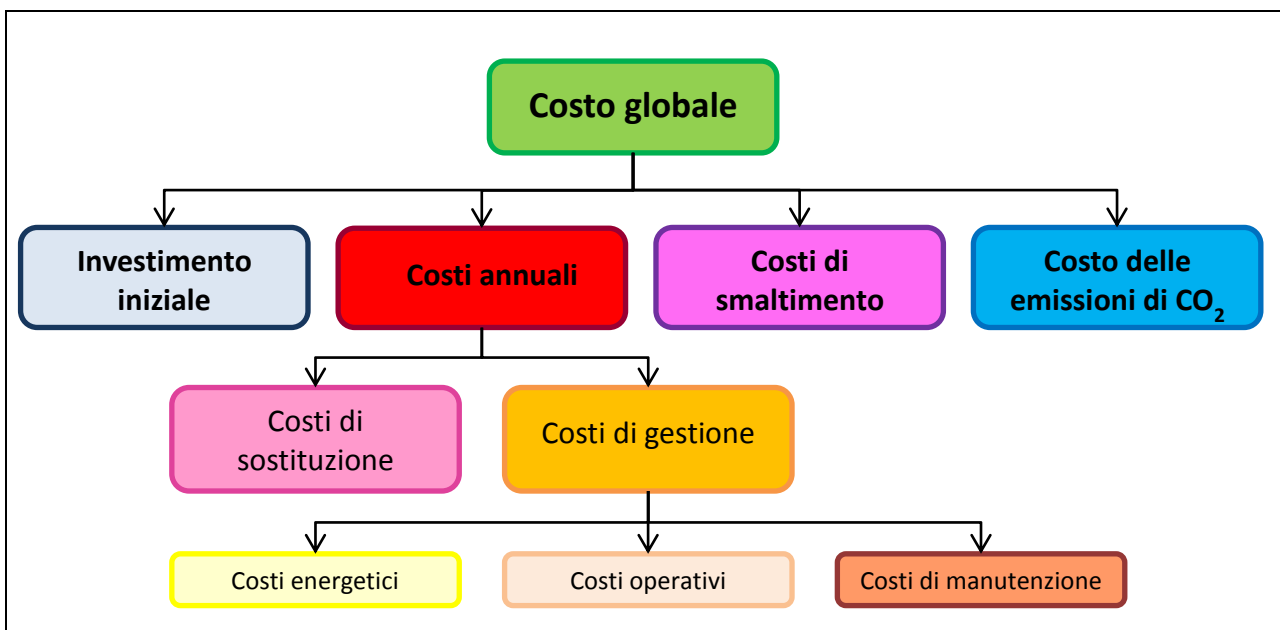


Figura 2.16. Schema delle categorie di costi (fonte: *Linee guida*).

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

d. Prospettiva finanziaria e prospettiva macroeconomica

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

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

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

L'adozione delle due prospettive, ovviamente, comporterà diversi valori di costo globale per lo stesso edificio e pertanto potrebbe dare risultati diversi anche in termini di livello di prestazione ottimale in funzione dei costi. Il *Regolamento* richiede di effettuare il calcolo in entrambi i casi e solo alla fine di scegliere con quale prospettiva completare le verifiche.

Infine per entrambe le prospettive il *Regolamento* richiede che venga fatta un'analisi di sensitività (capitolo 2.3.5), in cui debbono essere testati almeno due tassi di attualizzazione. Il gruppo di lavoro ha deciso di utilizzare i tassi indicati nella Tabella 2.4.

Tabella 2.4. Tassi di attualizzazione utilizzati

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

Per la valutazione del costo globale associato agli interventi di riqualificazione energetica adottati di volta in volta nel processo di ottimizzazione, è stato messo a punto uno specifico foglio di calcolo; in Figura 2.17-18 si riportano alcune schermate (non esaustive) della procedura di imputazione dati e di output di tale strumento.

Input			
Misure riguardanti l'involucro			
n.	Descrizione	Livello	n. livell
1	External wall thermal insulation (exterior insulation)	5	5
2	External wall thermal insulation (Cavity wall insulation)	0	2
3	Roof thermal insulation	2	5
4	Floor thermal insulation	0	5
5	Window thermal insulation	1	5
6	Solar shading systems	1	2
Impianti di riscaldamento, raffrescamento e produzione di ACS			
n.	Descrizione	Livello	
7	High efficiency chiller	1	3
8	Efficiency Heat Generator System	0	5
9	High efficiency systems for DHW	0	3
10	Efficiency Heat Generator System for heating and hot water	2	3
11	Heat pump for heating, cooling and hot water	0	3
Utilizzo attivo della radiazione solare			
n.	Descrizione	Livello	
12	Thermal solar systems	1	3
13	PV system	4	4
Ventilazione			
n.	Descrizione	Livello	
14	Energy recovery ventilation system	1	3
Illuminazione			
n.	Descrizione	Livello	
15	Lighting power density and control system	4	4

Figura 2.17. Schermata di input delle misure di efficienza energetica da considerare durante il processo di ottimizzazione.

		Legenda colori											
Numero edificio	8	cella "collegamento"											
Tipo di calcolo	1	output											
Tasso d'interesse reale	4%	valore ripreso da foglio "collegamento"											
Consumo di gas naturale HVAC [kWh/anno]	1573,878	valore ripreso da foglio "caratteristiche edifici"											
Parte autonoma dei consumi di gas naturale [kWh/anno]	0	cella calcolata											
Parte centralizzata dei consumi di gas naturale	1573,878	dato di input generico											
Consumo netto di energia elettrica HVAC+(L) [kWh/anno]	22948,36	dato ripreso da prezziario DEI											
Parte autonoma dei consumi di energia elettrica [kWh/anno]	0	elaborazione RAVASIO da prezziario DEI											
Parte centralizzata dei consumi di energia elettrica [kWh/anno]	22948,36	elaborazioni RAVASIO da dato ANIT											
Tipologia edificio	4	dato ripreso dal sito dell'AEEG											
Epoca	1	dato fornito da IATAURO (ENEA)											
Località	2	elaborazione Menga da Philips											
Durata calcolo [anni]	20												
		Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Fabbisogno di energia elettrica HVAC (totale) [kWh/mese]		304,9596	278,5769	310,1912	303,2074	2586,894	4744,055	6894,141	6652,154	4942,78	2622,908	296,8628	304,3839
Parte autonoma dei consumi di energia elettrica [kWh/anno]		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Energia prodotta da impianti fotovoltaici [kWh/mese]		411,2554	493,461	703,596	822,3745	962,1274	997,9297	1045,965	1005,054	829,3173	654,1793	479,2795	379,0831
Consumi netti di energia elettrica centralizzati		0	0	0	0	1624,767	3746,125	5848,176	5647,099	4113,463	1968,729	0	0
Output													
Costo g'lobale [€]		659970											
Costo delle misure di efficienza energetica [€]		513348											
Investimento iniziale per le misure di efficienza energetica [€]		415793											
Altri costi dovuti alle misure		97555											
Costo energia + emissioni di CO ₂ [€]		146622											
Costo emissioni di CO ₂ [€]		0											
Costo energia [€]		146622											
Costo energia 2013 [€]		8939											

Figura 2.18. Schermata di sunto della valutazione dei consumi di energia elettrica e di gas, e del costo globale alla fine del processo di ottimizzazione.

Fogli di calcolo "procedura di ottimizzazione" e "collegamento"

I fogli di calcolo dei fabbisogni valutano l'energia primaria per ogni set di misure di efficienza energetica (e rispettivi livelli di prestazione) generato dal foglio di ottimizzazione secondo un processo iterativo definito al capitolo 2.3.3 (Figura 2.19); il medesimo foglio riporta alla fine del processo i valori annuali ed atualizzati del costo dell'energia, dell'investimento iniziale e dei costi di sostituzione e manutenzione (Figura 2.20) ricavati dal foglio del calcolo del costo globale.

Reference Global Cost [€]	Optimal Global Cost [€]	Test Global Cost [€]	Test Cost of EEM [€]	N. of EEM	Start Optimization	Level of EEO									
€ 998.298	€ 771.642	€ 771.642	€ 0	17		1	2	3	4	5					
Reference	Optimum	Test	Parameter value	Cost of EEM [€]	N.	EEM (Italiano)	N. parameters	Parameter Italiano	Symbol	No. EEO	Parameter values				
2	3	3	0,42	€ 0	1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	1	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	5	0,65	0,48	0,42	0,36	0,3
0	0	0		€ 0	2	Isolamento termico della parete esterna (CW-EW): isolamento nell'intercapedine	1	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	0					
2	1	1	0,5	€ 0	3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	1	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _t	5	0,5	0,38	0,35	0,33	0,3
2	2	2	0,49	€ 0	4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	1	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _t	5	0,65	0,49	0,43	0,36	0,3
2	1	1	5,8	€ 0	5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	1	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	5	5,8	3	2,6	2,2	1,8
2	1	1	1	€ 0	6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	1	Trasmittanza di energia solare totale	g _{sp}	2	1	0			
2	1	1	2,7	€ 0	7	High efficiency chiller (CHIL)	1	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	2,7	3	3,5		
0	0	0		€ 0	8	High efficiency generator for space heating (GHS)	1	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{sp}	0					
0	0	0		€ 0	9	High efficiency generator for DHW (HES-DHW)	1	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{sp,PHW}	0					
3	3	3	1,05	€ 0	10	High efficiency combined generator for space heating and hot water	1	Rendimento di generazione in condizioni di progetto	η _{sp}	3	0,88	0,938	1,05		
0	0	0		€ 0	11	Heat pump for heating, cooling and hot water	2	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	3	2,6	3	3,5		
3	1	1	6	€ 0	12	Thermal solar systems (SOL)	1	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	2,5	2,8	3,2		
3	4	4	20	€ 0	13	Superficie dei collettori solari (m ²)	1	Superficie dei collettori solari (m ²)	m ²	3	6	6	6		
2	1	1	0,6	€ 0	14	Sistema fotovoltaico (PV)	1	Potenza di picco installata (kW)	kWp	4	6	12	18	20	
0	0	0		€ 0	15	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	1	Efficienza del recuperatore di calore	η _r	3	0,6	0,7	0,9		
0	0	0		€ 0	16	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	1	Rendimento di regolazione	η _{tr}	0	0,94	0,97	0,995		
2	4	4	4	€ 0	17	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²) (UNI EN 15193)	1	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²) (UNI EN 15193)	PN	4	1	2	3	4	
0	0	0		€ 0	17	Fattore di dipendenza dall'occupazione (e fattore di illuminamento costante) (UNI EN 15193)	1	Fattore di dipendenza dall'occupazione (e fattore di illuminamento costante) (UNI EN 15193)	F _o (F _c)	0					

Figura 2.19. Schermata di sunto del foglio in cui avviene il processo di ottimizzazione, a partire da un set di dati in ingresso.

125859	104140	104140	[kWh]	Primary energy	Yearly
€ 16.432	€ 14.431	€ 14.431	[€/y]	Energy cost	
€ 268.377	€ 242.143	€ 242.143	[€]	Energy cost	Actualised
€ 566.220	€ 431.944	€ 431.944	[€]	Investment cost	
€ 123.701	€ 97.555	€ 97.555	[€]	Operating & Maintenance	

Figura 2.20. Schermata di sunto dei dati di fabbisogno di energia primaria e di costo generati dal processo di ottimizzazione.

Al fine di far dialogare i fogli di calcolo di fabbisogno e di costo con il foglio di ottimizzazione, è stato messo a punto un foglio di collegamento, il quale rileva il set di misure di efficienza energetica da adottare durante il singolo processo di ottimizzazione e riporta i rispettivi livelli di prestazione (sottoforma di parametro energetico) nei vari fogli di valutazione energetica e di calcolo del costo globale, come schematizzato in Figura 2.21.

n.	EEM (inglese)	Symbol	Correlated Parameters	Cell						
1	External wall thermal insulation (EIFS-EW): exterior insulation finishing system	U _p	PT		0,3	PT	-0,05	0,45	0	0,6
			Cm	135						
2	External wall thermal insulation (CWI-EW): Cavity wall insulation	U _p	PT			PT				
			Cm	135						
3	Roof thermal insulation (INS-R)	U _t			0,38					
4	Floor thermal insulation (INS-F)	U _t								
5	Window thermal insulation	U _w	ggl,n	0,85	5,8					
6	Solar shading systems (SHAD)	g _{gl}	ggl+sh		0,27	1				
	Solar shading systems (SHAD): ggl+sh	G1	5							
		G2	10							
		U _{gl}	5,9							
		tau	0,2							
		ro	0,4							
		alfa	0,4							
		G	2,130							

Figura 2.21. Schermata di collegamento del processo di ottimizzazione per i dati di input 11300-1.

Per una esaustiva definizione della procedura di ottimizzazione si rimanda al capitolo 2.3.3 dedicato.

2.3 Rapporto tecnico A.3. “Metodologia di ottimizzazione: descrizione e applicazione ad edifici di riferimento italiani”

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

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

2.3.1 LE MISURE DI EFFICIENZA ENERGETICA E LE OPZIONI DI RISPARMIO ENERGETICO

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

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

L'elenco degli interventi di riqualificazione energetica considerati all'interno della metodologia comparativa sono stati suddivisi in diverse categorie, a seconda della tipologia edilizia di volta in volta considerata: edifici residenziali esistenti, edifici residenziali nuovi, edifici ad uso ufficio esistenti, edifici ad uso ufficio nuovi.

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

Tabella 2.5. Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate.

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

(1) Il numero di livelli N è variabile in funzione dell'edificio di riferimento

(2) Per gli edifici ad uso ufficio la prestazione della schermatura solare viene valutata attraverso il fattore di trasmissione solare della schermatura. Il suo valore è fissato a 0,2 per entrambi i livelli, i quali fanno riferimento a diverse modalità di gestione - fissa (livello 1) e mobile (livello 2) - in accordo con la tecnologia scelta.

Tabella 2.6. Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio monofamiliare, nuovo.

Tipologia: Edificio Monofamiliare									
Epoca: NUOVO									
n.	EEM	Parameter id.	Symbol	N	Level of EEM				
					1	2	3	4	5
1	External wall thermal insulation (EIFS-EW): exterior insulation finishing system (cappotto)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	5	VEDI TABELLA 2.18				
2	External wall thermal insulation (CWI-EW): Cavity wall insulation (insufflazione)			x	x	x	x	x	
3	Roof thermal insulation (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _r	5	VEDI TABELLA 2.18				
4	Floor thermal insulation (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _f	5					
5	Window thermal insulation (INS-W)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	5					
6	Solar shading systems (SHAD)	Trasmittanza di energia solare totale	g _{gl}	4	0,77	0,50	0,20	0,10	-
7	High efficiency chiller (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	2,9	3,5	4,0	-	-
8	Efficiency Heat Generator System (GHS)	Rendimento di generazione	η _{gn}	2	-	-	-	1,7	1,9
9	High efficiency systems for DHW (HES-DHW)	Rendimento del sistema al 100% del carico	η _{gn,Pn,W}	3	0,88	0,93	1,00	-	-
10	Efficiency Heat Generator System for heating and hot water	Rendimento di generazione	η _{gn}	3	0,88	0,93	1,00	-	-
11	Heat pump for heating, cooling and hot water	Coefficiente di prestazione	COP	3	2,5	3,1	4.1	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	2,3	2,9	3,5	-	-
12	Thermal solar systems (SOL)	Superficie deisolari	m ²	3	2	4	5	-	-
13	PV system (PV)	Potenza di picco installata	kWp	4	1	3	4	5	-
14	Energy recovery ventilation system (ERVS)	Rendimento del recuperatore di calore	η _r	3	0,6	0,7	0,9	-	-
15	Improving Control System (ICS)	Rendimento di regolazione e controllo	η _{ctr}	3	0,94	0,97	0,995	-	-
16	Lighting power density (LPD)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN	x	x	x	x	-	-
17	Lighting control systems (LCS)	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O	x	x	x	x	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F _D	x	x	x	x	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F _C	x	x	x	x	-	-

Tabella 2.7. Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio monofamiliare, epoca 1946-1976.

Tipologia: Edificio Monofamiliare									
Epoca: 1946-1976									
n.	EEM	Parameter id.	Symbol	N	Level of EEM				
					1	2	3	4	5
1	External wall thermal insulation (EIFS-EW): exterior insulation finishing system (cappotto)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	5	VEDI TABELLA 2.18				
2	External wall thermal insulation (CWI-EW): Cavity wall insulation (insufflazione)								
3	Roof thermal insulation (INS-R)								
4	Floor thermal insulation (INS-F)								
5	Window thermal insulation (INS-W)								
6	Solar shading systems (SHAD)	Trasmittanza di energia solare totale	g _{gl}	4	0,77	0,50	0,20	0,10	-
7	High efficiency chiller (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	2,9	3,5	4,0	-	-
8	Efficiency Heat Generator System (GHS)	Rendimento di generazione	η _{gn}	2	-	-	-	1,7	1,9
9	High efficiency systems for DHW (HES-DHW)	Rendimento del sistema al 100% del carico	η _{gn,Pn,W}	3	0,88	Tab 2.19	1,00	-	-
10	Efficiency Heat Generator System for heating and hot water	Rendimento di generazione	η _{gn}	3	0,88	Tab 2.19	1,00	-	-
11	Heat pump for heating, cooling and hot water	Coefficiente di prestazione	COP	3	2,5	3,1	4,1	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	2,3	2,9	3,5	-	-
12	Thermal solar systems (SOL)	Superficie deisolari	m ²	3	2	4	5	-	-
13	PV system (PV)	Potenza di picco installata	kWp	4	1	3	4	5	-
14	Energy recovery ventilation system (ERVS)	Rendimento del recuperatore di calore	η _r	x	x	x	x	-	-
15	Improving Control System (ICS)	Rendimento di regolazione e controllo	η _{ctr}	3	0,94	0,97	0,995	-	-
16	Lighting power density (LPD)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN	x	x	x	x	-	-
17	Lighting control systems (LCS)	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O	x	x	x	x	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F _D	x	x	x	x	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F _C	x	x	x	x	-	-

Tabella 2.8. Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio monofamiliare, epoca 1977-1990.

Tipologia: Edificio Monofamiliare									
Epoca: 1977-1990									
n.	EEM	Parameter id.	Symbol	N	Level of EEM				
					1	2	3	4	5
1	External wall thermal insulation (EIFS-EW): exterior insulation finishing system (cappotto)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	5	VEDI TABELLA 2.18				
2	External wall thermal insulation (CWI-EW): Cavity wall insulation (insufflazione)								
3	Roof thermal insulation (INS-R)								
4	Floor thermal insulation (INS-F)								
5	Window thermal insulation (INS-W)								
6	Solar shading systems (SHAD)	Trasmittanza di energia solare totale	g _{gl}	4	0,77	0,50	0,20	0,10	-
7	High efficiency chiller (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	2,9	3,5	4,0	-	-
8	Efficiency Heat Generator System (GHS)	Rendimento di generazione	η _{gn}	2	-	-	-	1,7	1,9
9	High efficiency systems for DHW (HES-DHW)	Rendimento del sistema al 100% del carico	η _{gn,Pn,W}	3	0,88	Tab 2.19	1,00	-	-
10	Efficiency Heat Generator System for heating and hot water	Rendimento di generazione	η _{gn}	3	0,88	Tab 2.19	1,00	-	-
11	Heat pump for heating, cooling and hot water	Coefficiente di prestazione	COP	3	2,5	3,1	4,1	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	2,3	2,9	3,5	-	-
12	Thermal solar systems (SOL)	Superficie deisolari	m ²	3	2	4	5	-	-
13	PV system (PV)	Potenza di picco installata	kWp	4	1	3	4	5	-
14	Energy recovery ventilation system (ERVS)	Rendimento del recuperatore di calore	η _r	x	x	x	x	-	-
15	Improving Control System (ICS)	Rendimento di regolazione e controllo	η _{ctr}	3	0,94	0,97	0,995	-	-
16	Lighting power density (LPD)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN	x	x	x	x	-	-
17	Lighting control systems (LCS)	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O	x	x	x	x	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F _D	x	x	x	x	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F _C	x	x	x	x	-	-

Tabella 2.9. Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio piccolo condominio, nuovo.

Tipologia: Edificio Piccolo Condominio									
Epoca: NUOVO									
n.	EEM	Parameter id.	Symbol	N	Level of EEM				
					1	2	3	4	5
1	External wall thermal insulation (EIFS-EW): exterior insulation finishing system (cappotto)	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_p	5	VEDI TABELLA 2.18				
2	External wall thermal insulation (CWI-EW): Cavity wall insulation (insufflazione)			x	x	x	x	x	x
3	Roof thermal insulation (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_r	5	VEDI TABELLA 2.18				
4	Floor thermal insulation (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_f	5					
5	Window thermal insulation (INS-W)	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	5					
6	Solar shading systems (SHAD)	Trasmittanza di energia solare totale	g_{gl}	4	0,77	0,50	0,20	0,10	-
7	High efficiency chiller (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	3	3,69	4,2	-	-
8	Efficiency Heat Generator System (GHS)	Rendimento di generazione	η_{gn}	5	0,88	Tab 2.19	1,00	1,70	1,90
9	High efficiency systems for DHW (HES-DHW)	Rendimento del sistema al 100% del carico	$\eta_{gn,Pn,W}$	3	0,88	0,93	1,00	-	-
10	Efficiency Heat Generator System for heating and hot water	Rendimento di generazione	η_{gn}	3	0,88	0,93	1,00	-	-
11	Heat pump for heating, cooling and hot water	Coefficiente di prestazione	COP	3	2,5	3,1	4,2	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	2,3	2,9	3,1	-	-
12	Thermal solar systems (SOL)	Superficie deisolari	m^2	3	7	12	17	-	-
13	PV system (PV)	Potenza di picco installata	kWp	4	2,5	5	7,5	10	-
14	Energy recovery ventilation system (ERVS)	Rendimento del recuperatore di calore	η_r	3	0,6	0,7	0,9	-	-
15	Improving Control System (ICS)	Rendimento di regolazione e controllo	η_{ctr}	3	0,94	0,97	0,995	-	-
16	Lighting power density (LPD)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m^2)	PN	x	x	x	x	-	-
17	Lighting control systems (LCS)	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F_O	x	x	x	x	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F_D	x	x	x	x	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F_C	x	x	x	x	-	-

Tabella 2.10. Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio piccolo condominio, epoca 1946-1976.

Tipologia: Edificio Piccolo Condominio									
Epoca: 1946-1976									
n.	EEM	Parameter id.	Symbol	N	Level of EEM				
					1	2	3	4	5
1	External wall thermal insulation (EIFS-EW): exterior insulation finishing system (cappotto)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	5	VEDI TABELLA 2.18				
2	External wall thermal insulation (CWI-EW): Cavity wall insulation (insufflazione)								
3	Roof thermal insulation (INS-R)								
4	Floor thermal insulation (INS-F)								
5	Window thermal insulation (INS-W)								
6	Solar shading systems (SHAD)	Trasmittanza di energia solare totale	g _{gl}	4	0,77	0,50	0,20	0,10	-
7	High efficiency chiller (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	3	3,69	4,2	-	-
8	Efficiency Heat Generator System (GHS)	Rendimento di generazione	η _{gn}	5	0,88	Tab 2.19	1,00	1,70	1,90
9	High efficiency systems for DHW (HES-DHW)	Rendimento del sistema al 100% del carico	η _{gn,Pn,W}	3	0,88	0,93	1,00	-	-
10	Efficiency Heat Generator System for heating and hot water	Rendimento di generazione	η _{gn}	5	0,88	0,93	1,00	-	-
11	Heat pump for heating, cooling and hot water	Coefficiente di prestazione	COP	3	2,5	3,1	4,2	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	2,3	2,9	3,1	-	-
12	Thermal solar systems (SOL)	Superficie deisolari	m ²	3	7	12	17	-	-
13	PV system (PV)	Potenza di picco installata	kWp	4	2,5	5	7,5	10	-
14	Energy recovery ventilation system (ERVS)	Rendimento del recuperatore di calore	η _r	x	x	x	x	-	-
15	Improving Control System (ICS)	Rendimento di regolazione e controllo	η _{ctr}	3	0,94	0,97	0,995	-	-
16	Lighting power density (LPD)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN	x	x	x	x	-	-
17	Lighting control systems (LCS)	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O	x	x	x	x	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F _D	x	x	x	x	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F _C	x	x	x	x	-	-

Tabella 2.11. Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio piccolo condominio, epoca 1977-1990.

Tipologia: Edificio Piccolo Condominio									
Epoca: 1977-1990									
n.	EEM	Parameter id.	Symbol	N	Level of EEM				
					1	2	3	4	5
1	External wall thermal insulation (EIFS-EW): exterior insulation finishing system (cappotto)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	5	VEDI TABELLA 2.18				
2	External wall thermal insulation (CWI-EW): Cavity wall insulation (insufflazione)								
3	Roof thermal insulation (INS-R)								
4	Floor thermal insulation (INS-F)								
5	Window thermal insulation (INS-W)								
6	Solar shading systems (SHAD)	Trasmittanza di energia solare totale	g _{gl}	4	0,77	0,50	0,20	0,10	-
7	High efficiency chiller (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	3	3,69	4,2	-	-
8	Efficiency Heat Generator System (GHS)	Rendimento di generazione	η _{gn}	5	0,88	Tab 2.19	1,00	1,70	1,90
9	High efficiency systems for DHW (HES-DHW)	Rendimento del sistema al 100% del carico	η _{gn,Pn,W}	3	0,88	0,93	1,00	-	-
10	Efficiency Heat Generator System for heating and hot water	Rendimento di generazione	η _{gn}	5	0,88	0,93	1,00	-	-
11	Heat pump for heating, cooling and hot water	Coefficiente di prestazione	COP	3	2,5	3,1	4,2	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	2,3	2,9	3,1	-	-
12	Thermal solar systems (SOL)	Superficie deisolari	m ²	3	7	12	17	-	-
13	PV system (PV)	Potenza di picco installata	kWp	4	2,5	5	7,5	10	-
14	Energy recovery ventilation system (ERVS)	Rendimento del recuperatore di calore	η _r	x	x	x	x	-	-
15	Improving Control System (ICS)	Rendimento di regolazione e controllo	η _{ctr}	3	0,94	0,97	0,995	-	-
16	Lighting power density (LPD)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN	x	x	x	x	-	-
17	Lighting control systems (LCS)	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O	x	x	x	x	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F _D	x	x	x	x	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F _C	x	x	x	x	-	-

Tabella 2.12. Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio grande condominio, nuovo.

Tipologia: Edificio Grande Condominio									
Epoca: NUOVO									
n.	EEM	Parameter id.	Symbol	N	Level of EEM				
					1	2	3	4	5
1	External wall thermal insulation (EIFS-EW): exterior insulation finishing system (cappotto)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	5	VEDI TABELLA 2.18				
2	External wall thermal insulation (CWI-EW): Cavity wall insulation (insufflazione)			x	x	x	x	x	
3	Roof thermal insulation (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _r	5	VEDI TABELLA 3.11				
4	Floor thermal insulation (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _f	5					
5	Window thermal insulation (INS-W)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	5					
6	Solar shading systems (SHAD)	Trasmittanza di energia solare totale	g _{gl}	4	0,77	0,50	0,20	0,10	-
7	High efficiency chiller (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	3,2	3,86	4,2	-	-
8	Efficiency Heat Generator System (GHS)	Rendimento di generazione	η _{gn}	5	0,88	Tab 2.19	1,00	1,70	1,90
9	High efficiency systems for DHW (HES-DHW)	Rendimento del sistema al 100% del carico	η _{gn,Pn,W}	3	0,88	0,93	1,00	-	-
10	Efficiency Heat Generator System for heating and hot water	Rendimento di generazione	η _{gn}	3	0,88	0,93	1,00	-	-
11	Heat pump for heating, cooling and hot water	Coefficiente di prestazione	COP	3	2.5	2.9	3.3	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	2.4	2.8	3.2	-	-
12	Thermal solar systems (SOL)	Superficie deisolari	m ²	3	30	50	70	-	-
13	PV system (PV)	Potenza di picco installata	kWp	4	3,7	7,5	11,2	15	-
14	Energy recovery ventilation system (ERVS)	Rendimento del recuperatore di calore	η _r	3	0,6	0,7	0,9	-	-
15	Improving Control System (ICS)	Rendimento di regolazione e controllo	η _{ctr}	3	0,94	0,97	0,995	-	-
16	Lighting power density (LPD)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN	x	x	x	x	-	-
17	Lighting control systems (LCS)	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O	x	x	x	x	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F _D	x	x	x	x	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F _C	x	x	x	x	-	-

Tabella 2.13. Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio grande condominio, epoca 1946-1976.

Tipologia: Edificio Grande Condominio									
Epoca: 1946-1976									
n.	EEM	Parameter id.	Symbol	N	Level of EEM				
					1	2	3	4	5
1	External wall thermal insulation (EIFS-EW): exterior insulation finishing system (cappotto)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	5	VEDI TABELLA 2.18				
2	External wall thermal insulation (CWI-EW): Cavity wall insulation (insufflazione)								
3	Roof thermal insulation (INS-R)								
4	Floor thermal insulation (INS-F)								
5	Window thermal insulation (INS-W)								
6	Solar shading systems (SHAD)	Trasmittanza di energia solare totale	g _{gl}	4	0,77	0,50	0,20	0,10	-
7	High efficiency chiller (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	3,2	3,86	4,2	-	-
8	Efficiency Heat Generator System (GHS)	Rendimento di generazione	η _{gn}	5	0,88	Tab 2.19	1,00	1,70	1,90
9	High efficiency systems for DHW (HES-DHW)	Rendimento del sistema al 100% del carico	η _{gn,Pn,W}	3	0,88	0,93	1,00	-	-
10	Efficiency Heat Generator System for heating and hot water	Rendimento di generazione	η _{gn}	5	0,88	0,93	1,00	-	-
11	Heat pump for heating, cooling and hot water	Coefficiente di prestazione	COP	3	2.5	2.9	3.3	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	2.4	2.8	3.2	-	-
12	Thermal solar systems (SOL)	Superficie deisolari	m ²	3	30	50	70	-	-
13	PV system (PV)	Potenza di picco installata	kWp	4	3,7	7,5	11,2	15	-
14	Energy recovery ventilation system (ERVS)	Rendimento del recuperatore di calore	η _r	x	x	x	x	-	-
15	Improving Control System (ICS)	Rendimento di regolazione e controllo	η _{ctr}	3	0,94	0,97	0,995	-	-
16	Lighting power density (LPD)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN	x	x	x	x	-	-
17	Lighting control systems (LCS)	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O	x	x	x	x	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F _D	x	x	x	x	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F _C	x	x	x	x	-	-

Tabella 2.14. Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio grande condominio, epoca 1977-1990.

Tipologia: Edificio Grande Condominio									
Epoca: 1977-1990									
n.	EEM	Parameter id.	Symbol	N	Level of EEM				
					1	2	3	4	5
1	External wall thermal insulation (EIFS-EW): exterior insulation finishing system (cappotto)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	5	VEDI TABELLA 2.18				
2	External wall thermal insulation (CWI-EW): Cavity wall insulation (insufflazione)								
3	Roof thermal insulation (INS-R)								
4	Floor thermal insulation (INS-F)								
5	Window thermal insulation (INS-W)								
6	Solar shading systems (SHAD)	Trasmittanza di energia solare totale	g _{gl}	4	0,77	0,50	0,20	0,10	-
7	High efficiency chiller (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	3,2	3,86	4,2	-	-
8	Efficiency Heat Generator System (GHS)	Rendimento di generazione	η _{gn}	5	0,88	Tab 2.19	1,00	1,70	1,90
9	High efficiency systems for DHW (HES-DHW)	Rendimento del sistema al 100% del carico	η _{gn,Pn,W}	3	0,88	0,93	1,00	x	x
10	Efficiency Heat Generator System for heating and hot water	Rendimento di generazione	η _{gn}	5	0,88	0,93	1,00	x	x
11	Heat pump for heating, cooling and hot water	Coefficiente di prestazione	COP	3	2.5	2.9	3.3	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	2.4	2.8	3.2	-	-
12	Thermal solar systems (SOL)	Superficie deisolari	m ²	3	30	50	70	-	-
13	PV system (PV)	Potenza di picco installata	kWp	4	3,7	7,5	11,2	15	-
14	Energy recovery ventilation system (ERVS)	Rendimento del recuperatore di calore	η _r	x	x	x	x	-	-
15	Improving Control System (ICS)	Rendimento di regolazione e controllo	η _{ctr}	3	0,94	0,97	0,995	-	-
16	Lighting power density (LPD)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN	x	x	x	x	-	-
17	Lighting control systems (LCS)	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O	x	x	x	x	-	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F _D	x	x	x	x	-	-
		Fattore di illuminamento costante	F _C	x	x	x	x	-	-

Tabella 2.15. Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio uso ufficio, nuovo.

Tipologia: Edificio uso ufficio									
Epoca: NUOVO									
n.	EEM	Parameter id.	Symbol	N	Level of EEM				
					1	2	3	4	5
1	External wall thermal insulation (EIFS-EW): exterior insulation finishing system (cappotto)	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_p	5	VEDI TABELLA 2.18				
2	External wall thermal insulation (CWI-EW): Cavity wall insulation (insufflazione)			x	x	x	x	x	x
3	Roof thermal insulation (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_r	5	VEDI TABELLA 2.18				
4	Floor thermal insulation (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_f	5					
5	Window thermal insulation (INS-W)	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	5					
6	Solar shading systems (SHAD)	Fattore di trasmissione solare	t_{sh}	2	0,20	0,20	-	-	-
7	High efficiency chiller (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	2,7	3,0	3,5	-	-
8	Efficiency Heat Generator System (GHS)	Rendimento di generazione	η_{gn}	x	x	x	x	x	x
9	High efficiency systems for DHW (HES-DHW)	Rendimento del sistema al 100% del carico	$\eta_{gn,Pn,W}$	x	x	x	x	x	x
10	Efficiency Heat Generator System for heating and hot water	Rendimento di generazione	η_{gn}	5	0,88	Tab 2.19	1,05	-	-
11	Heat pump for heating, cooling and hot water	Coefficiente di prestazione	COP	3	2,6	3,0	3,5	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	2,5	2,8	3,2	-	-
12	Thermal solar systems (SOL)	Superficie deisolari	m^2	3	6	6	6	-	-
13	PV system (PV)	Potenza di picco installata	kWp	4	6	12	18	20	-
14	Energy recovery ventilation system (ERVS)	Rendimento del recuperatore di calore	η_r	3	0,6	0,7	0,9	-	-
15	Improving Control System (ICS)	Rendimento di regolazione e controllo	η_{ctr}	3	0,94	0,97	0,995	-	-
16	Lighting power density (LPD)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m^2)	PN	4	13	13	4,7	4,6	-
17	Lighting control systems (LCS)	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F_o	4	1	0,9	1	0,8	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F_D	4	1	0,9	1	0,9	-
		Fattore di illuminamento costante	F_C	4	1	0,9	1	0,9	-

Tabella 2.16. Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio uso ufficio, epoca 1946-1976.

Tipologia: Edificio uso ufficio									
Epoca: 1946-76									
n.	EEM	Parameter id.	Symbol	N	Level of EEM				
					1	2	3	4	5
1	External wall thermal insulation (EIFS-EW): exterior insulation finishing system (cappotto)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	5	VEDI TABELLA 2.18				
2	External wall thermal insulation (CWI-EW): Cavity wall insulation (insufflazione)								
3	Roof thermal insulation (INS-R)								
4	Floor thermal insulation (INS-F)								
5	Window thermal insulation (INS-W)								
6	Solar shading systems (SHAD)	Fattore di trasmissione solare	τ _{sh}	2	0,20	0,20	-	-	-
7	High efficiency chiller (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	3,5	4,0	5,0	-	-
8	Efficiency Heat Generator System (GHS)	Rendimento di generazione	η _{gn}	x	x	x	x	x	x
9	High efficiency systems for DHW (HES-DHW)	Rendimento del sistema al 100% del carico	η _{gn,Pn,W}	x	x	x	x	x	x
10	Efficiency Heat Generator System for heating and hot water	Rendimento di generazione	η _{gn}	5	0,88	Tab 2.19	1,03	-	-
11	Heat pump for heating, cooling and hot water	Coefficiente di prestazione	COP	3	2,3	2,7	3,1	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	2,1	2,5	2,9	-	-
12	Thermal solar systems (SOL)	Superficie deisolari	m ²	3	2	2	2	-	-
13	PV system (PV)	Potenza di picco installata	kWp	4	3,0	5,0	8,0	10	-
14	Energy recovery ventilation system (ERVS)	Rendimento del recuperatore di calore	η _r	3	0,6	0,7	0,9	-	-
15	Improving Control System (ICS)	Rendimento di regolazione e controllo	η _{ctr}	3	0,94	0,97	0,995	-	-
16	Lighting power density (LPD)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN	4	13	13	4,7	4,6	-
17	Lighting control systems (LCS)	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O	4	1	0,9	1	0,8	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F _D	4	1	0,9	1	0,9	-
		Fattore di illuminamento costante	F _C	4	1	0,9	1	0,9	-

Tabella 2.17. Tabella riepilogativa degli interventi/misure considerate: edificio uso ufficio, epoca 1977-1990.

Tipologia: Edificio uso ufficio									
Epoca: 1977-1990									
n.	EEM	Parameter id.	Symbol	N	Level of EEM				
					1	2	3	4	5
1	External wall thermal insulation (EIFS-EW): exterior insulation finishing system (cappotto)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	5	VEDI TABELLA 2.18				
2	External wall thermal insulation (CWI-EW): Cavity wall insulation (insufflazione)								
3	Roof thermal insulation (INS-R)								
4	Floor thermal insulation (INS-F)								
5	Window thermal insulation (INS-W)								
6	Solar shading systems (SHAD)	Fattore di trasmissione solare	t _{sh}	2	0,20	0,20	-	-	-
7	High efficiency chiller (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	3,5	4,0	5,0	-	-
8	Efficiency Heat Generator System (GHS)	Rendimento di generazione	η _{gn}	x	x	x	x	x	x
9	High efficiency systems for DHW (HES-DHW)	Rendimento del sistema al 100% del carico	η _{gn,Pn,W}	x	x	x	x	x	x
10	Efficiency Heat Generator System for heating and hot water	Rendimento di generazione	η _{gn}	5	0,88	Tab 2.19	1,03	-	-
11	Heat pump for heating, cooling and hot water	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	2,4	2,8	3,2	-	-
12	Thermal solar systems (SOL)	Superficie deisolari	m ²	3	10	10	10	-	-
13	PV system (PV)	Potenza di picco installata	kWp	4	6	12	18	20	
14	Energy recovery ventilation system (ERVS)	Rendimento del recuperatore di calore	η _r	3	0,6	0,7	0,9	-	-
15	Improving Control System (ICS)	Rendimento di regolazione e controllo	η _{ctr}	3	0,94	0,97	0,995	-	-
16	Lighting power density (LPD)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN	4	13	13	4,7	4,6	-
17	Lighting control systems (LCS)	Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O	4	1	0,9	1	0,8	-
		Fattore di dipendenza dal daylight	F _D	4	1	0,9	1	0,9	-
		Fattore di illuminamento costante	F _C	4	1	0,9	1	0,9	-

Tabella 2.18. Parametri identificativi - Valori di trasmittanza termica

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

Tabella 2.19. Potenze e rendimenti dei generatori termici

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

2.3.2 I COSTI DEGLI INTERVENTI

a. I costi degli interventi sull'involucro

Le azioni connesse al miglioramento delle prestazioni energetiche di un edificio possono essere schematizzate in diverse famiglie (ad es. involucro, impianti, fonti rinnovabili, illuminazione).

Gli Orientamenti (Linee Guida) UE n. C115/01 del 19.04.2012 di accompagnamento del Regolamento Delegato UE n. 244/2012 del 16.01.2012 trattano il tema in due momenti:

- al paragrafo 6.2, con una prima distinzione dei costi in macrofamiglie ed identificando tra i costi di investimento le componenti dovute a onorari professionali, costruzione, imposte e imprevisti;
- al paragrafo 6.5, fornendo un elenco di massima di questi costi legati all'investimento iniziale, suddividendoli in:

<i>involucro</i>	<i>elementi opachi</i>	verticali orizzontali o inclinati - copertura finale orizzontali o inclinati – pavimenti verso locali non riscaldati o esterno
	<i>elementi trasparenti</i>	finestre
	<i>schermature</i>	
	<i>impianti</i>	<i>riscaldamento</i> <i>produzione acqua calda sanitaria</i> <i>ventilazione</i> <i>raffreddamento</i> <i>illuminazione</i> <i>controllo e automazione</i> <i>connessione alle forniture di energia</i> <i>energetici basati su fonti rinnovabili.</i>

Prestando attenzione al solo involucro, possiamo passare dal quadro europeo (più generale, poiché ha l'obiettivo di indicare termini riconoscibili in tutti gli Stati Membri) alla realtà italiana, tramite l'osservazione delle tecnologie qui più frequentemente adottate, specificando pertanto "localmente" gli interventi di efficientamento energetico che riguardano elementi edilizi, formulando il seguente quadro sintetico da esaminare:

<i>elementi opachi</i>	<i>pareti verticali</i>	intervento dall'esterno (cappotto) intervento dall'interno intervento in intercapedine
	<i>coperture</i>	piana con isolante interno piana con isolante esterno inclinata con isolante all'intradosso della falda

		inclinata con isolante sotto il manto meteorico all'estradosso non praticabile dell'ultima soletta piana
	<i>pavimenti</i>	isolamento interno di solaio sopra locali non riscaldati isolamento esterno di solaio sopra locali non riscaldati isolamento interno di solaio contro terra e vespai
	<i>elementi trasparenti serramenti</i>	telaio vetro
	<i>schermature.</i>	

Sempre con riferimento all'involucro, in generale il costo totale di investimento può presentare le seguenti voci componenti:

a. attività generali

prestazioni professionali per progettazione e direzione lavori
oneri legati alle autorizzazioni comunali
prestazioni professionali per la certificazione energetica
prestazioni professionali per la sicurezza dei cantieri

b. specifici di costruzione

c. collaterali intervento di costruzione

modifiche di altri elementi edilizi che si rendono indispensabili nel caso di operazioni su edifici esistenti

Tra questi ultimi possono essere identificati:

per interventi su pareti opache

ponteggi
spostamento pluviali
adeguamento davanzali e contorni finestre
spostamenti impianti di facciata
adeguamenti sistemi oscuranti
adeguamento impianti interni
trasporto in discarica delle macerie
oneri di discarica

per interventi su elementi
trasparenti

rimozione serramenti esistenti

trasporto in discarica delle macerie

oneri di discarica

Mentre le categorie di costo di cui alla voce b. possono reperiti in maniera diretta con prezziari, o tramite richiesta di quotazione personalizzata ad operatori del settore, per le voci a. e c. è necessario simulare il costo su casi reali e da qui, tramite la definizione di parametri ritenuti rappresentativi (es. m³ di edificio riscaldato oppure m² di superficie di intervento ecc.) calcolare un indice parametrico (es. €/m³ o €/m² od altro), di possibile utilizzo in altri casi ritenuti simili o riconducibili.

Usualmente per gli elementi opachi, la stessa tipologia di intervento di efficientamento energetico può essere realizzata con materiali isolanti differenti. In Tabella 2.20 è riportato l'elenco dei materiali maggiormente utilizzati in Italia, ricavato dall'analisi dei casi più diffusi.

Tabella 2.20. Materiali isolanti più utilizzati in interventi di efficientamento energetico in Italia.

CODICE	MATERIALE	CONDUCIBILITA' TERMICA MEDIA λ_d (W/mK)
EPS/PSE	Polistirene espanso sinterizzato	0,036
XPS	Polistirene espanso estruso	0,034
LR	Lana di roccia	0,036
LV	Lana di vetro	0,036
LL	Lana di legno	0,065
SUGHERO	Sughero	0,04
FL	Fibra di legno	0,038
PUR	Poliuretano	0,027

Anche per gli elementi trasparenti e per le schermature esistono più variabili, legate ai materiali utilizzati nella costruzione.

In termini generali, i prezzi ricavati dai Bollettini prezzi sono IVA esclusa. Attualmente l'aliquota IVA per interventi di efficientamento energetico è pari al 10%, mentre l'aliquota usuale è pari al 21%.

Diversi sono i fattori in grado di far variare il prezzo effettivamente pattuito tra Committente e Impresa Esecutrice dei lavori. Tra i più importanti, sinteticamente si segnalano le seguenti variabili di cantiere:

- Dimensioni
- Ubicazione
- Vincoli aree circostanti
- Limitazioni sulla viabilità locale circostante
- Connessione con la viabilità principale
- Sub-appalti.

Il bollettino prezzi non contiene tutto ciò che pensa un progettista o un committente, ma solo quelle lavorazioni che la Commissione che cura la redazione del Bollettino reputa le più diffuse e ricava tramite indagine diretta con le Imprese Esecutrici tramite trasmissione dati in maniera periodica. Il Bollettino Prezzi è tanto più lontano dalla realtà o da essa si sgancia rapidamente, tanto più il settore trattato è in evoluzione. L'Efficienza Energetica è uno di questi casi, per cui è facile entrino in voga nuove tipologie di lavorazione o nuovi tipi di materiali e che tutto ciò entri nel Bollettino solo dopo una prima fase di sperimentazione. Possiamo pertanto avere un disallineamento per lavorazioni che devono ancora diffondersi o per lavorazioni che al contrario sono in fase di abbandono.

Componenti opachi_Edifici nuovi

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

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

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

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

La Tabella 2.21 riporta una sintesi dei costi unitari degli interventi su pareti verticali in edifici nuovi.

Tabella 2.21. Edifici nuovi – costi unitari interventi su pareti verticali

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

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

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

La Tabella 2.22 riporta una sintesi dei costi unitari degli interventi sulle coperture finali in edifici nuovi.

Tabella 2.22. Edifici nuovi – costi unitari interventi su coperture finali

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

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

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

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

Tabella 2.23. Edifici nuovi – costi unitari interventi su coperture del primo solaio.

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

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

Gli interventi si basano tramite fornitura e messa in opera;

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

La Tabella 2.24 riporta una sintesi dei costi unitari degli interventi sui solai controterra in edifici nuovi.

Tabella 2.24. Edifici nuovi – costi unitari interventi sui solai contro terra.

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

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

Componenti opachi_Edifici esistenti

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

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

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

La Tabella 2.25 riporta una sintesi dei costi unitari degli interventi su pareti verticali in edifici esistenti.

Tabella 2.25. Edifici esistenti – costi unitari interventi su pareti verticali.

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

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

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

La Tabella 2.26 riporta una sintesi dei costi unitari degli interventi sulle coperture finali in edifici esistenti.

Tabella 2.26. Edifici esistenti – costi unitari interventi su coperture finali.

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

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

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

La Tabella 2.27 riporta una sintesi dei costi unitari degli interventi sul primo solaio in edifici esistenti.

Tabella 2.27. Edifici esistenti – costi unitari interventi sul primo solaio.

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

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

Gli interventi si basano tramite fornitura e messa in opera;

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

La Tabella 2.28 riporta una sintesi dei costi unitari degli interventi sui solai controterra in edifici esistenti.

Tabella 2.28. Edifici esistenti – costi unitari interventi sui solai contro terra.

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

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

Componenti trasparenti

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

Principali variabilità delle singole produzioni:

- telai**
 - legno
 - alluminio

vetri pvc
 misti
 singoli (abbandonati)
 doppi
 tripli.

Altri fattori di variabilità:

telai distanziatori
vetri trattamenti
 spessore camera d'aria
 gas all'interno della camera d'aria.

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

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

Nella Tabella 2.29, sono riportati i costi riferiti alle finestre.

Tabella 2.29. Costi unitari di elementi trasparenti (finestre).

ELEMENTI TRASPARENTI												
NUOVE INSTALLAZIONI												
TIPOLOGIE E COSTI PER ZONE CLIMATICHE E LIVELLI DI PRESTAZIONE												
Località	Livello	TELAIO		VETRO						SERRAMENTO	Costo (€/m ²)	Costo (€/m ²)
		telaio	Uf	strati	intercap	trattamento	spessori	fatt sol	Ug	Uw	senza IVA	parametrizzato
Milano	1	legno duro s=50mm	2,40	1	---	nessuno	4	1	5,70	5,00	195	215
Milano	2	legno duro s=70mm	2,10	2	aria	basso emissivo	4-16-4	0,6	1,60	2,10	306	363
Milano	3	legno duro s=70mm	2,10	2	aria	basso emissivo	4-16-4	0,6	1,45	1,90	311	371
Milano	4	legno duro s=70mm	2,10	2	argon	basso emissivo	4-16-4	0,6	1,20	1,58	317	382
Milano	5	pvc	1,20	3	aria	basso emissivo	4-12-4-12-4	0,45	0,80	1,20	359	435
Palermo	1	legno duro s=50mm	2,40	1	---	nessuno	4	1	5,70	5,00	224	215

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

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

Schermature solari

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

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

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

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

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

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

b. I costi degli interventi sull'impianto

Edifici residenziali

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

L'ampia gamma di modelli e tecnologie presenti sul mercato, nonché le diverse offerte commerciali proposte dalle aziende produttrici, rendono infatti il parametro costi altamente variabile. E' possibile inoltre, che impianti simili in termini di rendimento energetico, abbiano costi sensibilmente diversi, in quanto differenti sotto altri aspetti, quali: tecnologie impiegate, materiali di rivestimento, classe acustica, dispositivi di controllo, marchio commerciale, o altri componenti.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Dalla Tabella 2.30 alla Tabella 2.38, sono elencati i costi globali degli impianti per i diversi edifici residenziali presi in esame, differenziati per tipologie ed epoche di costruzione.

Tabella 2.30. Costi globali degli impianti, edificio monofamiliare nuovo.

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

Tabella 2.31. Costi globali degli impianti, edificio monofamiliare epoca 1946-1976.

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

Tabella 2.32. Costi globali degli impianti, edificio monofamiliare epoca 1977-1990.

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

Tabella 2.33. Costi globali degli impianti, edificio piccolo condominio, nuovo.

Tipologia: EDIFICIO PICCOLO CONDOMINIO					
Epoca: NUOVO					
EEM	Tipologia	Pn (kW)	Impianto e componenti principali	LEEM	Costo (€)
High efficiency chiller	Multisplit aria-aria	6	<i>Multisplit e dispositivi controllo</i>	7.1	15800
	Multisplit aria-aria	6	<i>Multisplit e dispositivi controllo</i>	7.2	19000
	Multisplit aria-aria	6	<i>Multisplit e dispositivi controllo</i>	7.3	22000
Heat generator systems	Caldaia trad.	24	<i>Cald. +Reg 15.1+ Radiatori</i>	8.1	10800
	Caldaia 3 stelle	24	<i>Cald. +Reg 15.2+ Radiatori</i>	8.2	11000
	Caldaia condens.	24	<i>Cald. condens. +Reg 15.2+ Pannelli rad.</i>	8.3	21600
	Pompa di calore aria-acqua	25	<i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil</i>	8.4	22000
	Pompa di calore aria-acqua	25	<i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Pannelli rad.</i>	8.5	29800
Efficiency System for DHW	Caldaia trad.	24	<i>Cald. murale</i>	9.1	4800
	Caldaia 3 stelle	24	<i>Cald. murale</i>	9.2	6000
	Caldaia condens.	24	<i>Cald. murale</i>	9.3	9600
Efficiency Heat Generator System for heating and hot water	Caldaia trad.	24	<i>Cald. murale +Reg 15.1+ Radiatori</i>	10.1	15200
	Caldaia 3 stelle	24	<i>Cald. murale +Reg 15.2+ Radiatori</i>	10.2	16600
	Caldaia condens.	24	<i>Cald murale condens +Reg 15.3+ Pannelli rad.</i>	10.3	30400
44Heat pump for heating, cooling and hot water	Pompa di calore aria-acqua (interne)	25	<i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil</i>	11.1	19800
	Pompa di calore aria-acqua (interne)	25	<i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil</i>	11.2	22000
	Pompa di calore aria-acqua (interne)	25	<i>Pompa di calore +Reg 15.3+ Fan-coil</i>	11.3	24200
Thermal solar systems	Solare termico	7	<i>Collettori +circuito+accumulo</i>	12.1	7000
	Solare termico	12	<i>Collettori +circuito+accumulo</i>	12.2	12000
	Solari termico	17	<i>Collettori +circuito+accumulo</i>	12.3	17000
PV system	Fotovoltaico	2,5	<i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i>	13.1	7600
	Fotovoltaico	5	<i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i>	13.2	15000
	Fotovoltaico	7,5	<i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i>	13.3	22600
	Fotovoltaico	10	<i>Pannelli+ inverter +quadri controllo</i>	13.4	30000
Energy recovery ventilation system	Recuperatori calore	80 m3/h	<i>Scambiatore e canalizzazioni</i>	14.1	21000
	Recuperatori calore	80 m3/h	<i>Scambiatore e canalizzazioni</i>	14.2	24000
	Recuperatori calore	80 m3/h	<i>Scambiatore e canalizzazioni</i>	14.3	30000

Tabella 2.34. Costi globali degli impianti, edificio piccolo condominio, epoca 1946-1976.

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

Tabella 2.35. Costi globali degli impianti, edificio piccolo condominio, epoca 1977-1990.

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

Tabella 2.36. Costi globali degli impianti, edificio grande condominio, nuovo.

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

Tabella 2.37. Costi globali degli impianti, edificio grande condominio, epoca 1946-1976.

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

Tabella 2.38. Costi globali degli impianti, edificio grande condominio, epoca 1977-1990.

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

Edifici uso ufficio

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Dalla Tabella 2.39 alla Tabella 2.41, sono elencati i costi globali degli impianti per i diversi edifici ad uso ufficio relativi alla climatizzazione (HVAC) e alla produzione energetica da fonti rinnovabili.

Tabella 2.39. Costi globali degli impianti, edificio uso ufficio, nuovo.

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

Tabella 2.40. Costi globali degli impianti, edificio uso ufficio, epoca 1946-1976.

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

Tabella 2.41. Costi globali degli impianti, edificio uso ufficio, epoca 1977-1990.

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

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

- Soluzione (1) T5 senza regolazione
- Soluzione (2) T5 con regolazione base
- Soluzione (3) LED Standard senza regolazione
- Soluzione (4) LED PLUS con regolazione avanzata

In Tabella 2.42 sono riportati le soluzioni impiantistiche adottate e i relativi costi; in Tabella 2.43 sono invece riassunte le caratteristiche funzionali dei sistemi di controllo ipotizzati.

Tabella 2.42. Soluzioni impiantistiche adottate e i relativi costi per l'impianto di illuminazione negli edifici ad uso ufficio.

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

Tabella 2.43. Caratteristiche funzionali dei sistemi di controllo ipotizzati per l'impianto di illuminazione negli edifici ad uso ufficio.

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

c. I costi legati all'energia

Il beneficio atteso dall'adozione di misure di efficienza energetica è la riduzione dei consumi energetici e conseguentemente un risparmio nei costi legati all'energia. Lo scopo di questo capitolo è valorizzare questi costi nei casi definiti dalle diverse combinazioni di misure di efficienza energetica selezionate. Si è scelto di utilizzare l'espressione "costi legati all'energia" anziché la più semplice ed immediata "costi energetici"

perché la trattazione che segue non si limita alla valutazione dei costi dei vettori energetici ma comprende anche il costo delle emissioni di CO₂. Per semplicità saranno trattati solo due vettori energetici, l'energia elettrica e il gas naturale. Sono quindi esclusi sia la biomassa che il gasolio. Questa scelta discende da precedenti ipotesi formulate dal gruppo di lavoro nell'applicazione in Italia della *cost-optimal methodology*, ovvero limitare la trattazione a due località geografiche ricadenti in aree metanizzate.

Energia elettrica

L'energia elettrica è uno dei principali vettori energetici. Negli edifici è utilizzata per usi diversissimi che vanno dalla climatizzazione alla cottura, dall'illuminazione all'intrattenimento. Ai fini della *cost-optimal methodology* non si rilevano tutti i consumi elettrici di un edificio, ma esclusivamente quelli collegati ai servizi di riscaldamento, raffrescamento, produzione di acqua calda sanitaria (ACS), ventilazione e, limitatamente agli edifici adibiti ad ufficio, illuminazione. Un esempio, non esaustivo, di utilizzi dell'energia elettrica che rilevano ai fini del presente lavoro è fornito in Tabella 2.44.

Tabella 2.44. Esempi di utilizzi dell'energia elettrica che rilevano ai fini della *cost-optimal methodology*.

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

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

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

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

Il costo sostenuto dal cliente finale per l'energia elettrica consumata è dovuto alle voci illustrate nella Tabella 2.45, raggruppate in servizi di vendita, servizi di rete e oneri generali.

Tabella 2.45. Voci di costo della bolletta elettrica.

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

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

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

Mostriamo nella Tabella 2.46 (tariffa D2), nella Tabella 2.47 (tariffa D3) e nella 2.48 (tariffa BTA con potenza impegnata superiore ai 16,5 kW) il dettaglio delle condizioni tariffarie per le differenti tipologie di utenze che possono rilevare ai fini del presente lavoro. In particolare le tariffe D2 e D3 saranno utilizzate per edifici monofamiliari e per la parte di consumi autonomi di edifici multifamiliari mentre la tariffa BTA sarà utilizzata per i consumi condominiali e per gli edifici adibiti ad ufficio. Ricordiamo che l'AEEG aggiorna trimestralmente queste tariffe; le tabelle mostrate fanno riferimento al primo trimestre del 2013.

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

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

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

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

Tabella 2.46 - Condizioni tariffarie per abitazione di residenza anagrafica con potenza impegnata fino a 3 kW (tariffa D2).

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

Tabella 2.47 - Condizioni tariffarie per abitazione di residenza anagrafica con potenza impegnata superiore a 3 kW o abitazione diversa dalla residenza anagrafica (tariffa D3).

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

Tabella 2.48 - Condizioni tariffarie per utenze non domestiche con potenza disponibile superiore a 16,5 kW (tariffa BTA).

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

Nel caso di tariffa D2, e limitatamente ai servizi di rete per la tariffa D3, è evidente la progressività, ovvero il principio secondo il cui all'aumentare del consumo di energia si ha un costo specifico (€/kWh) maggiore. Si nota, infatti, un costo specifico differente a seconda dello scaglione di consumo. Tale effetto tende a scoraggiare un consumo elevato di energia elettrica.

Ai fini della *cost-optimal methodology*, la progressività delle tariffe D2 e D3 fa sì che, nel caso di edifici residenziali, per poter stimare correttamente il costo dovuto ai consumi di energia elettrica dei servizi, sia

necessario calcolare il costo dei consumi elettrici complessivi dell'utenza e a questo montante sottrarre il costo che sarebbe stato sostenuto per i soli "usi obbligati" (illuminazione ed elettrodomestici). Nel presente lavoro gli usi obbligati saranno stimati pari a 2700 kWh all'anno, su indicazione dell'AEEG che così definisce il consumo di una famiglia tipo. A tale consumo, con le tariffe attualmente in vigore, corrisponde un costo al netto delle imposte pari a 447,68 € .

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

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

L'accisa è applicata alla quantità di energia consumata e ammonta a 0,0227 €/kWh per usi domestici e assimilati (tra i quali figurano anche i servizi condominiali di edifici residenziali), 0,0121 €/kWh per l'illuminazione pubblica, 0,0121 €/kWh per altri usi se i consumi sono inferiori a 1,2 GWh/mese e 0 €/kWh per altri usi se i consumi sono superiori a 1,2 GWh/mese. Inoltre, per i clienti domestici è previsto un sistema di agevolazione per la fornitura nell'abitazione di residenza anagrafica che ne riduce l'importo in caso di bassi consumi. In particolare, nel caso di forniture con potenza impegnata compresa tra 1,5 kW e 3 kW, se si consuma fino a 220 kWh/mese non si paga l'accisa sui primi 150 kWh. Se si consuma di più, i kWh esenti vengono gradualmente ridotti. Questo meccanismo può essere espresso in forma più semplice, ma sostanzialmente uguale, nella maniera descritta in Tabella 2.49.

Tabella 2.49. Accisa per forniture di abitazioni di residenza anagrafica con potenza impegnata compresa tra 1,5 kW e 3 kW.

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

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

Nei paragrafi precedenti si è accennato alla progressività della tariffe per utenze domestiche. Tale meccanismo, utile a calmierare i consumi attraverso un segnale di prezzo, ha, però, l'inconveniente di disincentivare misure di efficienza energetica che prevedono un uso efficiente dell'energia elettrica in sostituzione di consumi energetici di altro tipo (fuel swichting). In particolare, nel caso di pompe di calore installate in luogo di caldaie alimentate a gas naturale o a gasolio, la progressività della tariffa è una barriera alla diffusione giacché i risparmi di energia primaria non si traducono in risparmi economici. Per ovviare a questa criticità è stata introdotta la possibilità di installare un secondo contatore dedicato alla

pompa di calore⁶. Questa soluzione prevede che i consumi dei cosiddetti “usi obbligati” siano contabilizzati con un primo contatore a cui si applica la tariffa D2, mentre i consumi della pompa di calore siano misurati dal secondo contatore a tariffa BTA, la quale è caratterizzata da un prezzo dell’energia indipendente dai consumi ma con variazioni in funzione della potenza impegnata (Tabella 2.50). Tuttavia, c’è da tenere in conto anche il costo da sostenere per avere accesso a questa seconda fornitura (a tal proposito si veda la Tabella 2.51), oltre, nel caso di ristrutturazioni, ad eventuali adeguamenti impiantistici necessari per installare il secondo contatore (stimati pari a 450 €).

Tabella 2.50. Tariffa BTA per utenze con potenza disponibile fino a 16,5 kW. I servizi di vendita, i servizi di rete e gli oneri generali sono stati sommati e mediati sui primi tre mesi del 2013. Il prezzo è stato ricondotto in forma monoraria attraverso una media pesata sul numero di ore di ciascuna fascia.

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

Tabella 2.51. Costi per nuova fornitura.

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

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

$$CAE = CA_{elet} + CI_{elet} \cdot \frac{r}{1 - (1+r)^{-\tau}} \quad (5)$$

Dove:

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

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

r è il tasso di attualizzazione;

τ è il periodo di calcolo.

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

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

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

Il riferimento per questo tipo di valutazione è la norma UNI EN 15459 [9], alla quale si rimanda anche per una trattazione estensiva sugli effetti distorsivi delle tariffe energetiche sull'efficienza. Infine, si ricorda che queste problematiche rilevano solo per le singole utenze domestiche, in quanto le utenze non domestiche (es. alberghi, uffici e servizi) e il contatore centralizzato a disposizione di un condominio sono già di tipo BTA.

Gli impianti solari fotovoltaici, mini-eolici e cogenerativi permettono di produrre energia elettrica all'interno dei confini di un edificio o delle sue pertinenze. Questa energia può essere utilizzata direttamente dall'utente che l'ha prodotta o può essere immessa nella rete elettrica nazionale sotto il rispetto di talune condizioni. Gergalmente, nel primo caso si usa il termine autoconsumo, mentre nel secondo caso si parla di energia esportata.

Conoscere quale frazione dell'energia prodotta è destinata all'autoconsumo e quale all'esportazione è fondamentale per poter determinare i ricavi o i minori costi derivanti da tale produzione. Infatti l'autoconsumo fa sì che diminuisca l'energia prelevata dalla rete elettrica con un immediato beneficio economico. L'energia esportata, invece, può essere valorizzata in maniera differente a seconda delle condizioni a cui ha avuto accesso l'utente. In particolare, uno schema semplificato che vede il sistema elettrico come una sorta di grande accumulo dove un utenza può depositare dell'energia in un determinato istante e riprendersela in un secondo momento è completamente errato ai fini di valutazioni economiche.

Da questa considerazione emerge la necessità di ripartire l'energia prodotta tra le frazioni destinate all'autoconsumo e all'esportazione. Purtroppo, però, il metodo di calcolo adottato consente di valutare esclusivamente l'energia autoprodotta e il fabbisogno di energia elettrica con dettaglio mensile.

Inoltre, in Italia, l'autoproduzione di energia elettrica, soprattutto se da fonte rinnovabile, è spesso incentivata. I meccanismi di incentivazione sono, però, molteplici e soggetti a frequenti aggiornamenti. Ad esempio, per gli impianti fotovoltaici, nel periodo che dal 2005 alla data di stesura di questo rapporto, si è assistito alla comparsa di ben quattro versioni del "conto energia", ognuna delle quali definiva in maniera diversa la forma e/o l'ammontare degli incentivi. Tuttavia, come già detto, in linea con i dettami del Regolamento, nell'applicazione della *cost-optimal methodology* si è deciso di non considerare alcuna forma di incentivazione o sussidio.

Stanti queste premesse il gruppo di lavoro ha deciso di valorizzare l'energia autoprodotta in situ come se fosse interamente destinata all'autoconsumo. Se l'energia autoprodotta dovesse essere superiore al fabbisogno di energia elettrica per i servizi, la quota in eccesso verrebbe trascurata. Tale valutazione sarà fatta su base mensile, in formule:

$$E_{el,del} = \sum_{m=1}^{12} \text{Max}(E_{el,need,m} - E_{el,prod,m}; 0) \quad (6)$$

Dove:

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

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

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

m è il mese considerato.

Una tale valutazione si presenta come una sorta di compromesso. Da un lato considerare l'energia autoprodotta come interamente destinata all'autoconsumo tende a sovrastimare l'eventuale vantaggio economico derivante dall'autoproduzione di energia elettrica, sia in virtù della progressività delle tariffe sia, soprattutto, perché, in assenza di incentivi, il prezzo con cui gli utenti acquistano l'energia elettrica è

decisamente superiore a quello con cui possono venderla. D’altro conto, però, ci sono almeno tre aspetti che bilanciano questo squilibrio:

1. il presente calcolo è neutro rispetto ai consumi elettrici degli usi obbligati. Questo fa sì che l’energia elettrica autoprodotta e utilizzata dall’utente per alimentare gli elettrodomestici e gli impianti di illuminazione (negli edifici residenziali) venga vista come energia esportata;
2. il calcolo è fatto su base mensile. Questo rappresenta uno svantaggio per gli impianti la cui produzione varia sensibilmente con l’alternarsi delle stagioni;
3. all’energia elettrica esportata non è riconosciuto alcun controvalore economico, sebbene, anche in assenza di incentivi, per l’energia immessa nella rete elettrica potrebbe essere riconosciuto l’equivalente del PUN (prezzo unico nazionale), pari a circa 7c€/kWh.

Infine è opportuno mettere in luce che il metodo appena descritto per la valorizzazione dell’energia autoprodotta è coerente con il metodo adottato per il calcolo della prestazione energetica dell’edificio. Tuttavia, nel Regolamento, non è presente nessun vincolo che richieda omogeneità nei due calcoli.

Gas naturale

Il gas naturale è il principale combustibile utilizzato in Italia per il riscaldamento degli ambienti e la produzione di acqua calda sanitaria. Dalla Tabella 2.52 si evince che il 63% degli impianti centralizzati e il 54% degli impianti autonomi sono alimentati con tale combustibile. Queste percentuali sono peraltro in crescita, tant’è che nel periodo 2001-2011 si ha avuto un aumento del numero di impianti alimentati gas naturale del 42% tra i centralizzati e del 24% tra gli autonomi.

Tabella 2.52. Numero di apparecchi di riscaldamento per vettore energetico nel settore residenziale.

Centralizzato	743'422	Autonomo	25'458'978
Gas Naturale	467'193	Gas Naturale	13'827'986
Gasolio	123'110	Gasolio	558'083
GPL	38'016	GPL	1'561'124
Carbone e legna	27'431	Carbone e legna	5'022'907
Energia elettrica	11'752	Energia elettrica	4'020'916
Solare	25'165	Solare	467'961
Teleriscaldamento	50'754		

A partire dal 1° gennaio 2003, i clienti possono liberamente scegliere da quale fornitore e a quali condizioni comprare il gas naturale. Tuttavia, i clienti che ricadono nelle seguenti categorie possono accedere alle condizioni economiche e contrattuali del “servizio di tutela” definite dall’AEEG:

- punti di fornitura nella titolarità di un cliente domestico;
- punti di fornitura relativi a condomini con uso domestico con consumi annui non superiori a 200.000 Sm³ (standard metri cubi);
- punti di fornitura relativi a clienti con usi diversi con consumi non superiori a 200.000 Sm³, solo fino al 30 settembre 2011.

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

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

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

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

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

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

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

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

È presente una differenziazione delle tariffe tra clienti domestici e clienti non domestici. Nella prima categoria rientrano esclusivamente le persone fisiche che utilizzano il gas per alimentare un’abitazione, i locali annessi o pertinenti all’abitazione da un unico punto di prelievo. Tutti gli altri clienti che possono usufruire del servizio di tutela (compresi i condomini) ricadono nella seconda categoria.

Nelle precedenti tabelle si sarà notato che la quota energia dei servizi di vendita è identica in tutti i casi e non dipende dallo scaglione di consumo. Non si tratta di una coincidenza ma ciò avviene anche in tutti gli altri ambiti in cui è suddiviso geograficamente il paese. La quota fissa dei servizi di vendita, invece, è identica in tutti gli ambiti ma varia in funzione del tipo di cliente. Pertanto le differenze tra località e le variazioni di prezzo tra gli scaglioni di consumo dipendono esclusivamente dai servizi di rete. In particolare si osservi che, ad eccezione del primo scaglione (da 0 a 120 Sm³), i servizi di rete hanno struttura inversamente progressiva, ovvero all’aumentare del consumo diminuisce il costo specifico. Questo comportamento è esattamente l’opposto di quanto avviene per l’energia elettrica.

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

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

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

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

<i>Consumo annuo</i>	<i>fino a 120 Sm³</i>	<i>da 121 a 480 Sm³</i>	<i>da 481 a 1560 Sm³</i>	<i>oltre 1560 Sm³</i>
Normale	4,4	17,5	17,0	18,6
Territori ex-Cassa del Mezzogiorno	3,8	13,5	12,0	15,0

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

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

Evoluzione del costo dei vettori energetici

Per quel che concerne l'evoluzione del costo dei vettori energetici il Regolamento suggerisce di fare riferimento alle previsioni fornite dalla Commissione [29] sviluppate con il modello PRIMES [31]. In Tabella 2.56 sono riportati tali dati per l'energia elettrica. Si nota che le previsioni si estendono fino al 2030 e che sono distinte in funzione dal settore di utilizzo. È immediato associare l'evoluzione dei prezzi dell'energia elettrica per gli edifici residenziali e per gli edifici adibiti ad ufficio, rispettivamente, alle categorie "famiglie" e "servizi". Come precedentemente descritto, il periodo di calcolo si estende fino al 2042 per edifici residenziali e al 2032 per edifici adibiti ad uffici. Questo implica la necessità di estrapolare, soprattutto per gli edifici residenziali, l'evoluzione dei prezzi ben oltre il 2030, ultimo anno presente nelle previsioni fornite dalla Commissione. Si è proceduto ad una estrapolazione lineare così come mostrato nella Figura 2.22. Per quanto riguarda il gas naturale, il medesimo studio stima un aumento del 2,8% all'anno fino al 2030. Su indicazione delle Linee guida, questa tendenza è estrapolata fino al termine del periodo di calcolo.

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

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

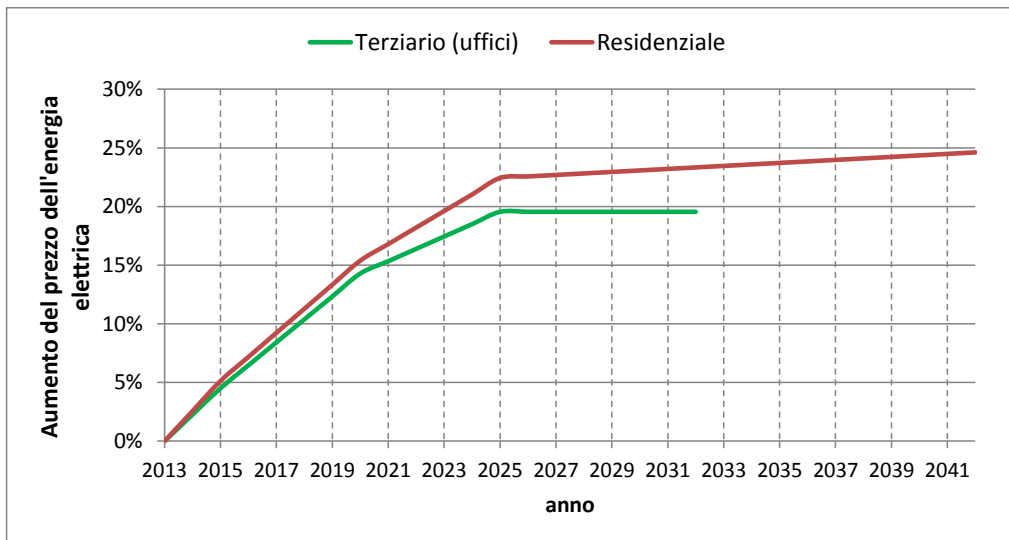


Figura 2.22. Aumento del prezzo dell'energia elettrica, a moneta costante, per edifici residenziali (periodo di calcolo che si estende al 2042) ed edifici adibiti ad ufficio (periodo di calcolo che si estende al 2032).

Emissioni di CO₂

Nella valutazione del costo globale, nella prospettiva macroeconomica, è necessario calcolare il costo delle emissioni di CO₂. Questo studio analizza lo sviluppo del sistema elettro-energetico in Italia fino al 2050. Le ipotesi principali di tale studio sono il rispetto del NREAP (piano d'azione nazionale sulle fonti energetiche rinnovabili) ad eccezione degli impianti fotovoltaici in quanto essi hanno già raggiunto l'obiettivo fissato per il 2020 e dell'abbandono della reintroduzione di impianti nucleari. I risultati sono riassunti in Figura 2.23. Per quanto riguarda il gas naturale si è utilizzato il valore di 55882 g/GJ, corrispondenti a 201 g/kWh.

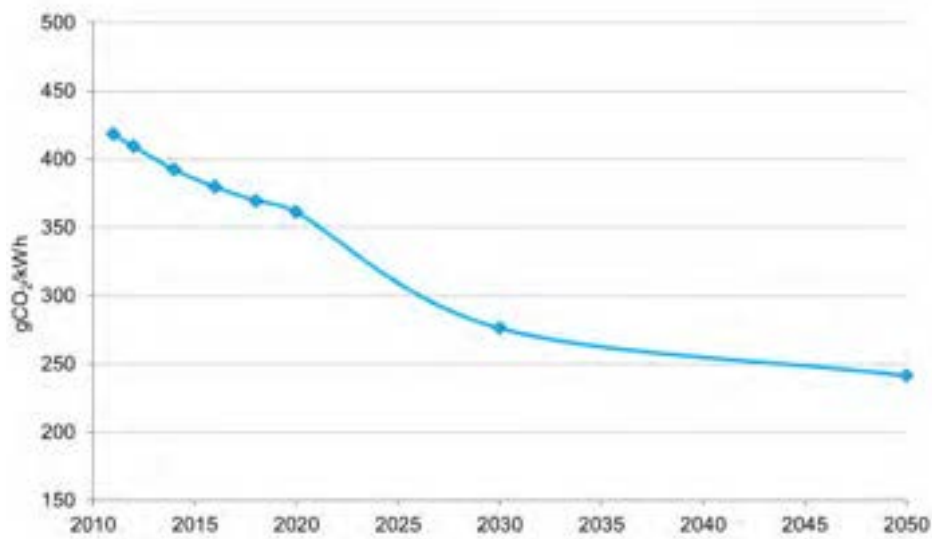


Figura 2.23. Emissioni di CO₂ per kWh di energia elettrica generato.

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

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

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

2.3.3 LA PROCEDURA DI OTTIMIZZAZIONE

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

A tal fine è stata sviluppata una macro di ottimizzazione che si interfaccia con i fogli per il calcolo del fabbisogno di energia (UNI/S 11300-1, -2, -3, -4) e del costo globale. Un foglio ausiliario permette di associare ad ogni pacchetto di interventi individuato dalla procedura di ottimizzazione tutti i dati di input necessari a descrivere l’edificio e a fare i calcoli energetici [25-28].

In Figura 2.24 si riporta un quadro riassuntivo della procedura di ottimizzazione adottata.

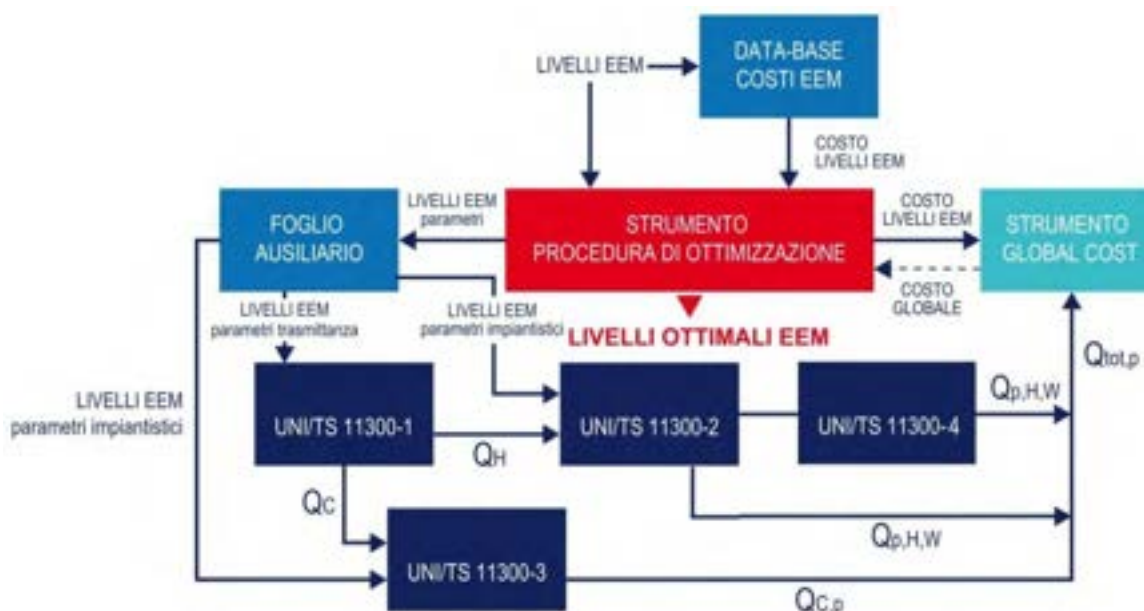


Figura 2.24. La procedura di ottimizzazione.

La metodologia di ottimizzazione considera un numero discreto di opzioni per ogni misura 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 2.25 si riporta il flow-chart della procedura di ottimizzazione.

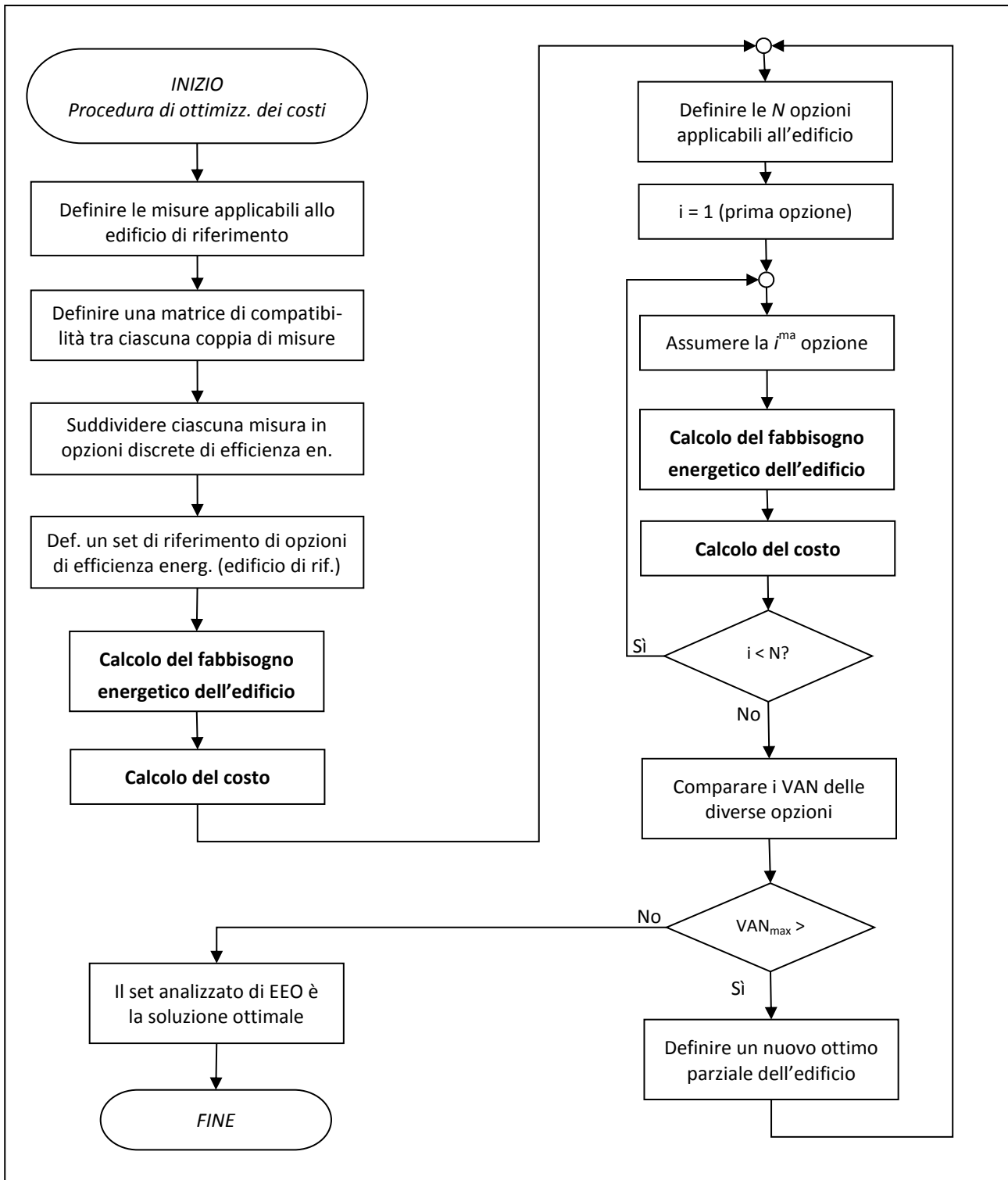


Figura 2.25. Flow-chart della procedura di ottimizzazione.

Nelle successive figure si riportano alcuni risultati ottenuti a seguito dell'applicazione della procedura di ottimizzazione al caso studio "edificio piccolo condominio esistente, 1946-1976" secondo il flow-chart descritto in Figura 2.25.

La Figura 2.26 mostra il percorso di ottimizzazione tramite "ottimi parziali" per due differenti scenari di partenza: il percorso di sinistra è ottenuto partendo da un basso livello di efficienza energetica globale dell'edificio, mentre per lo scenario di destra si sono utilizzati i massimi livelli di efficienza energetica per ogni parametro prestazionale costituente il pacchetto di misure EEM considerato. I risultati mostrano come

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

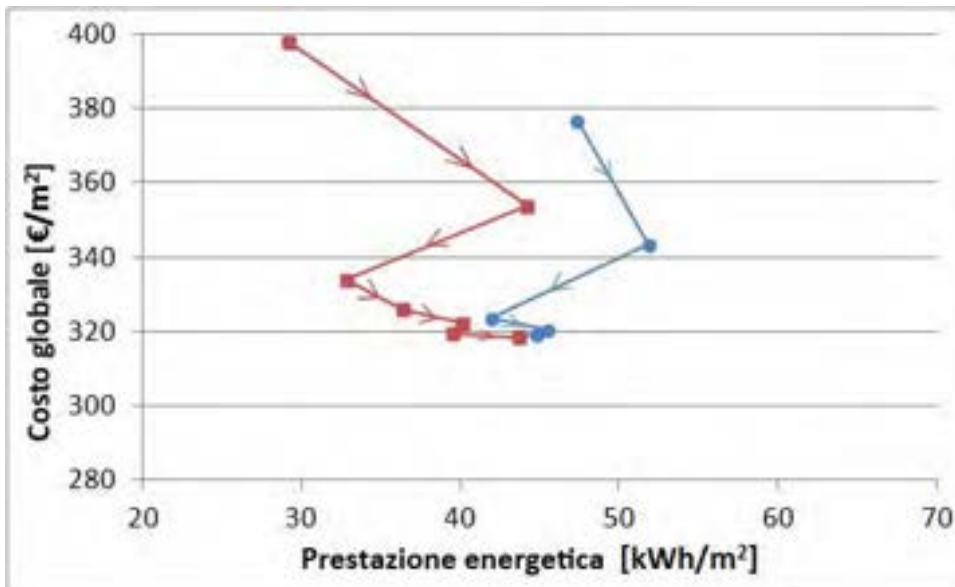


Figura 2.26. Percorso di ottimizzazione per due differenti scenari iniziali di efficienza energetica.

La Figura 2.27 mostra i costi attualizzati (distinti per costo dell’energia, costo d’investimento iniziale e costi operativi e di manutenzione) dei sei ottimi parziali ottenuti dal processo di ottimizzazione, per lo scenario di destra di Figura 9.3. Il sesto ottimo parziale corrisponde al livello ottimale finale.

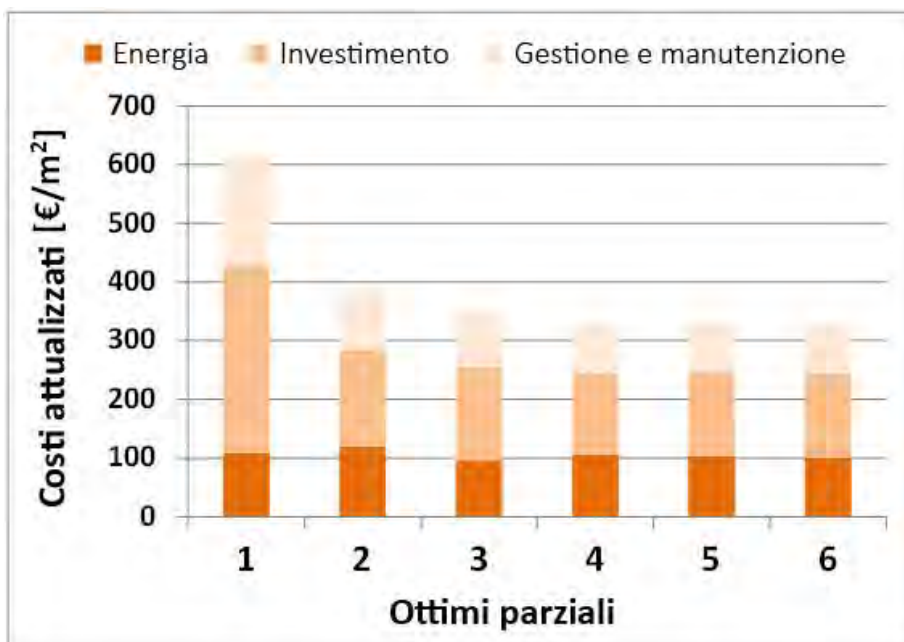


Figura 2.27. Costi attualizzati dei successivi ottimi parziali in un processo di ottimizzazione.

Applicando differenti scenari iniziali al processo di ottimizzazione, si ottiene quanto riportato in Figura 2.28: i punti più bassi corrispondono allo scenario per il quale si ottiene il minore costo globale (circa 300 €/m²), mentre i corrispettivi valori di energia primaria costituiscono un “intervallo ottimale”, che in questo caso specifico varia tra 40 e 47 kWh/m² anno.

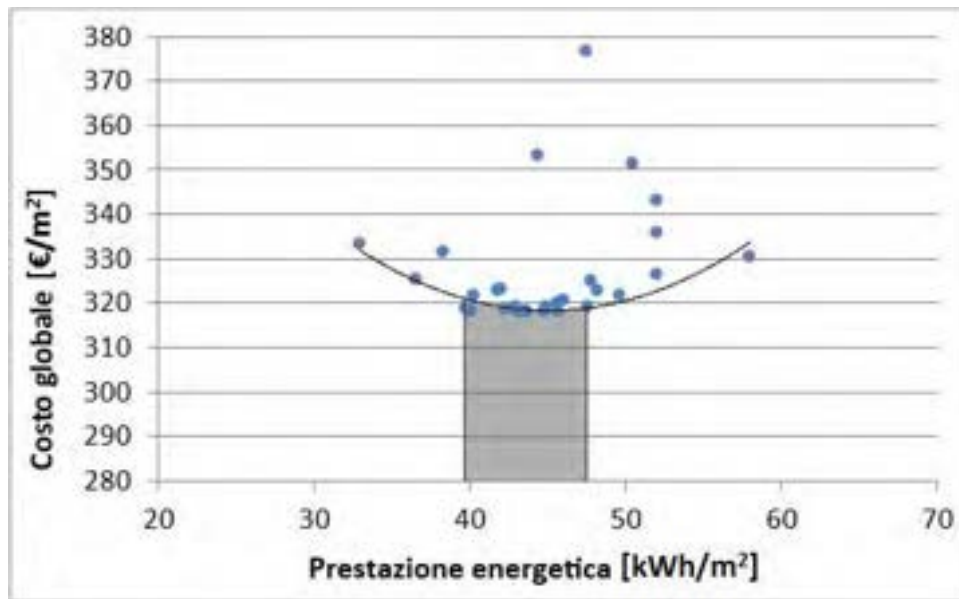


Figura 2.28. Range del livello ottimale in funzione dei costi.

2.3.4 ELABORAZIONI E RISULTATI

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

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

- **Primo grafico. Percorsi di ottimizzazione**

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

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

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

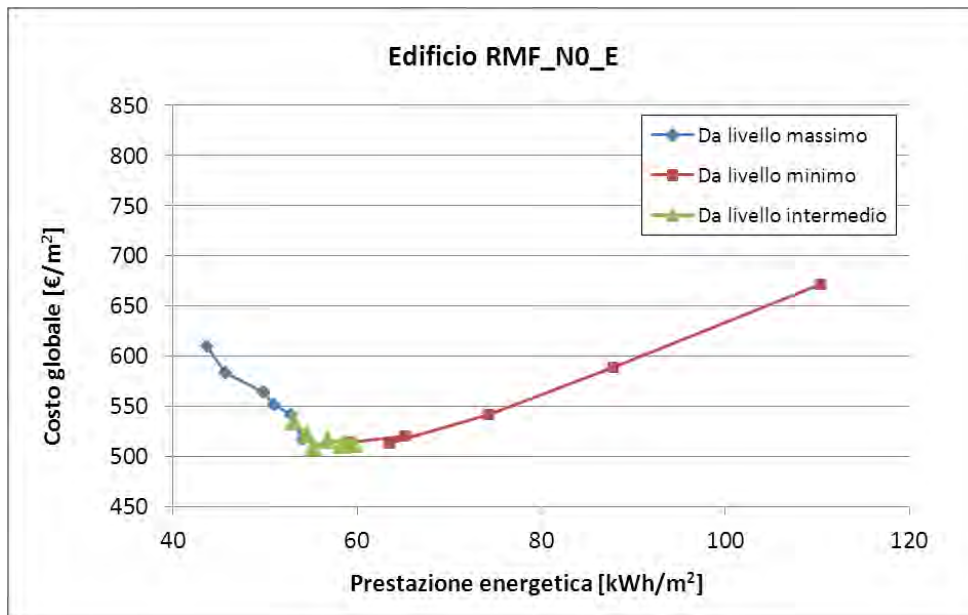
- **Terzo grafico. Intervallo ottimale in funzione dei costi**

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

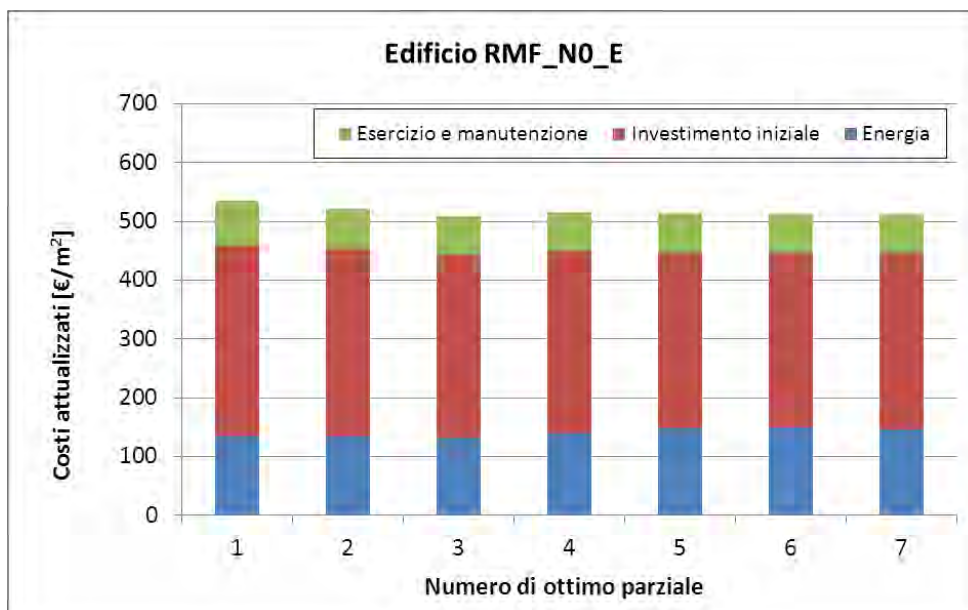
- **Tabella. Valori ottimali dei parametri di progetto**

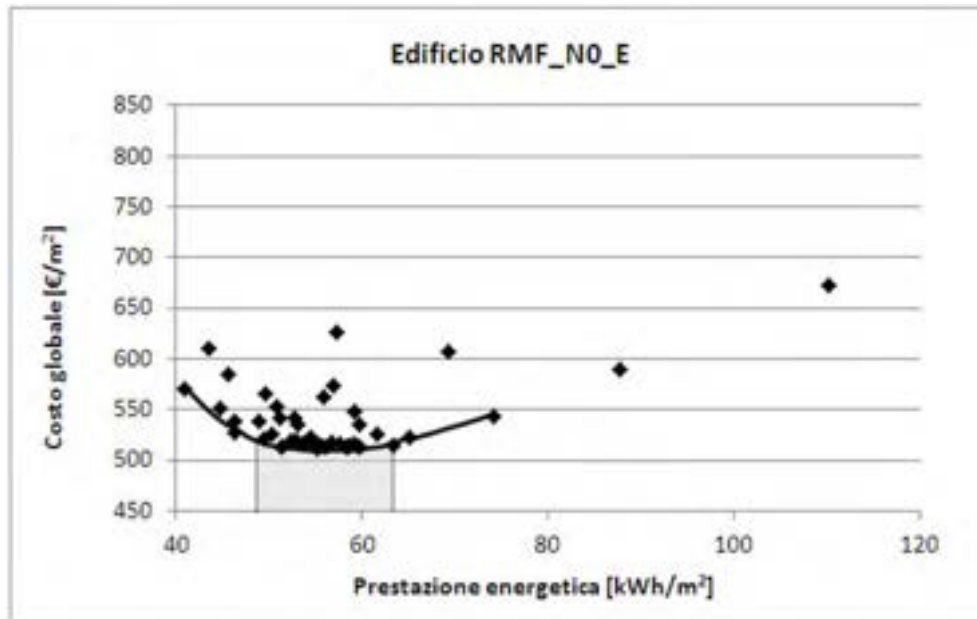
In riferimento allo scenario per il quale si ottiene il minore costo globale, la tabella mostra i valori ottimali dei parametri relativi alle misure di efficienza energetica.

EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE NUOVO – ZONA CLIMATICA E (MILANO)
Percorsi di ottimizzazione



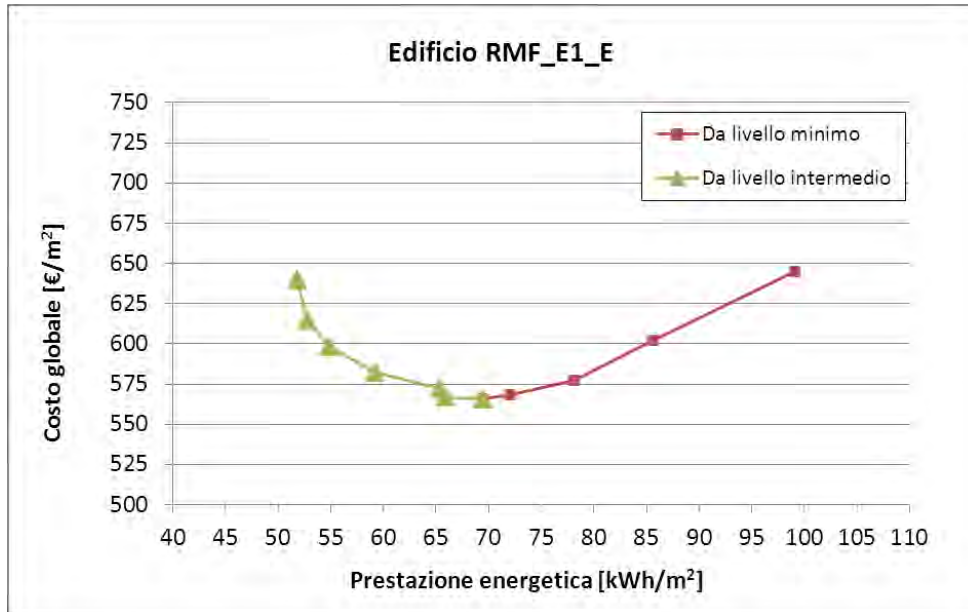
Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



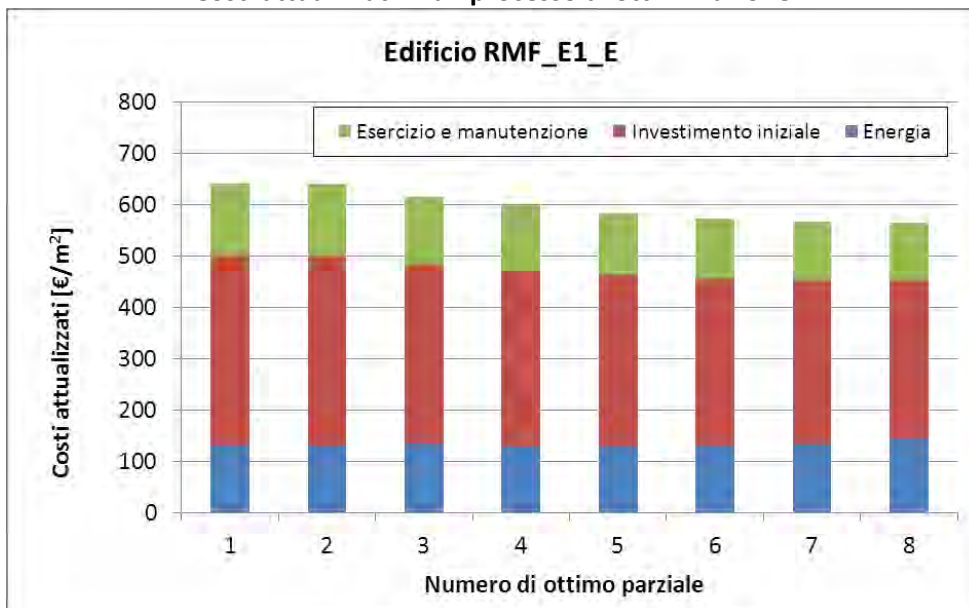
Intervallo ottimale in funzione dei costi

Valori ottimali dei parametri di progetto

RMF_NO_E					
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	0,29	3
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	-	-
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _f	0,3	2
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _f	0,45	1
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	1,9	3
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Trasmittanza di energia solare totale	g _{gl}	0,77	1
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2,9	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn}	1,9	2
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn,Pn,W}	0,88	1
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione in condizioni di progetto	η _{gn}	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m ²)	m ²	4	2
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kW _p	5	4
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η _r	0,9	3
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Rendimento di regolazione	η _{ctr}	0,995	3

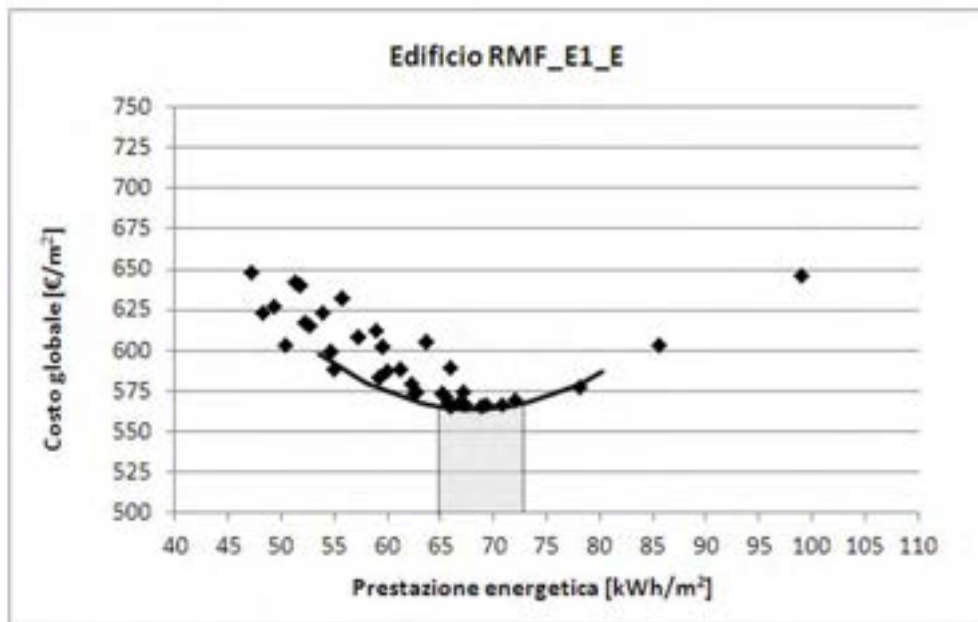
EDIFICIO RESIDENZIALE MONOFAMILIARE (1946-1976) – ZONA CLIMATICA E (MILANO)
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



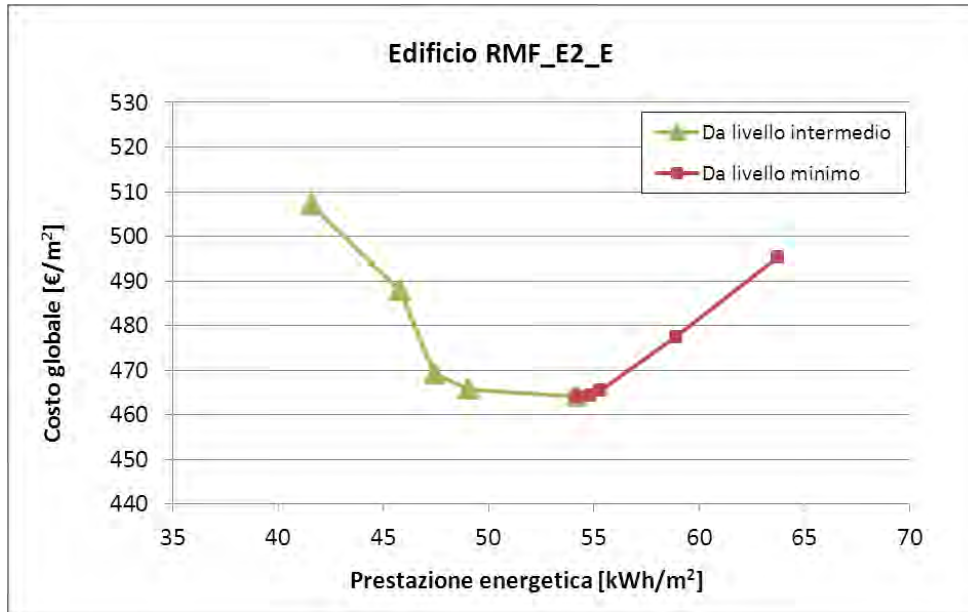
Intervallo ottimale in funzione dei costi



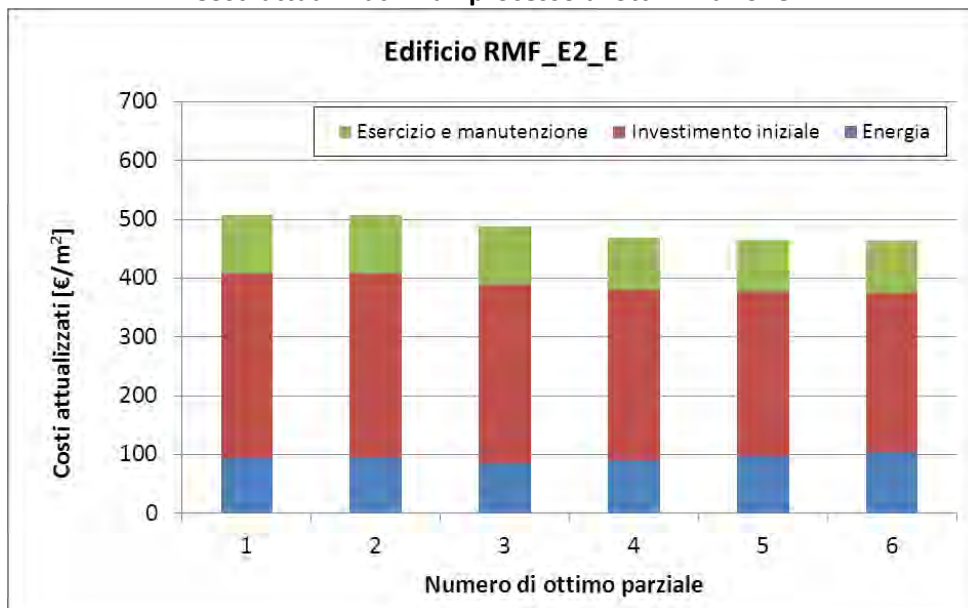
Valori ottimali dei parametri di progetto

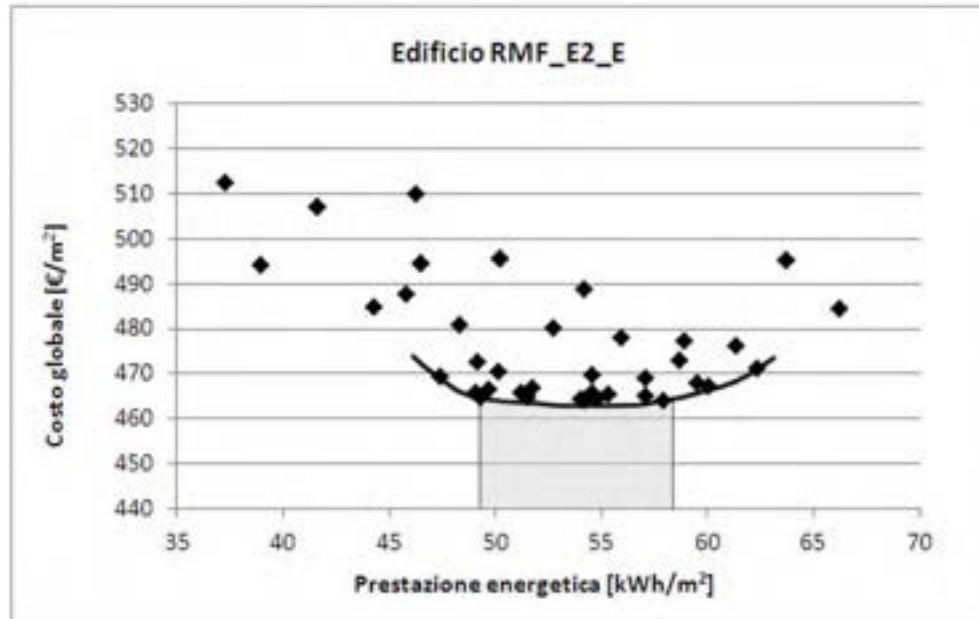
RMF_E1_E					
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_p	0,29	3
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_p	-	-
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_r	0,27	3
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_f	-	-
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	2,2	2
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Trasmittanza di energia solare totale	g_{gl}	0,77	1
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	2,9	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	1,9	2
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	0,96	2
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione in condizioni di progetto	η_{gn}	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m^2)	m^2	2	1
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	1	1
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η_r	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Rendimento di regolazione	η_{ctr}	0,995	3

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



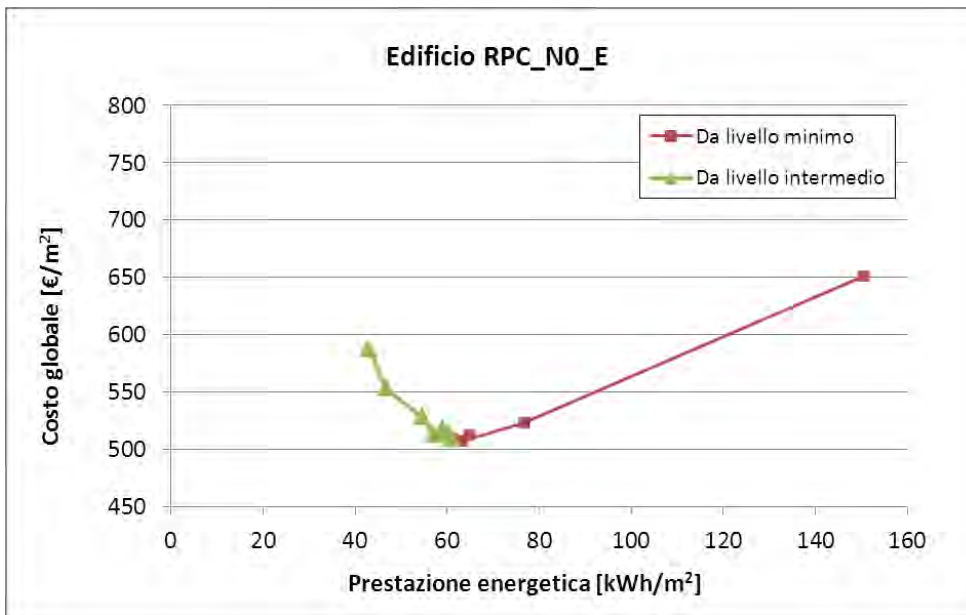
Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



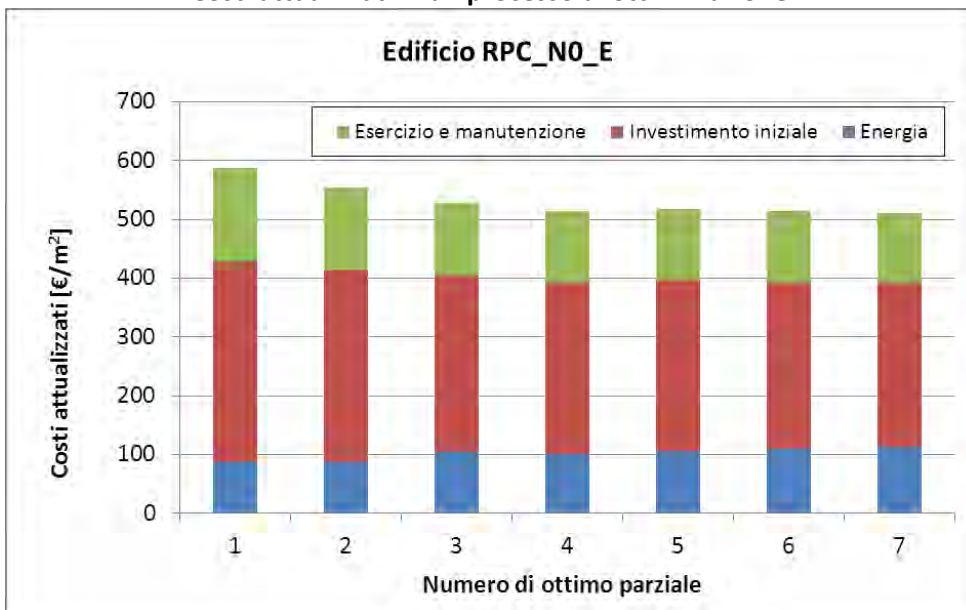
Intervallo ottimale in funzione dei costi

Valori ottimali dei parametri di progetto

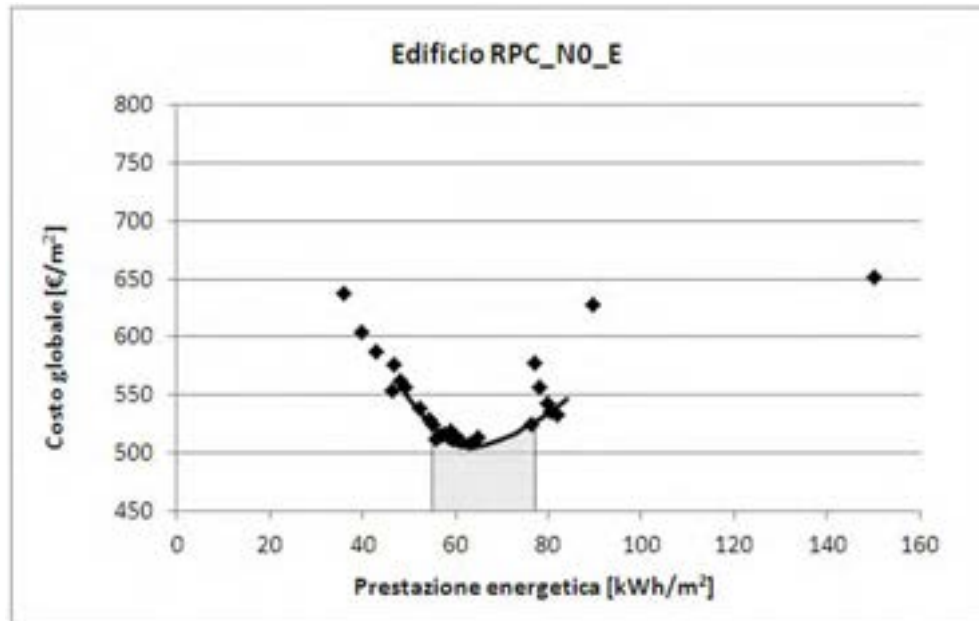
RMF_E2_E					
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_p	-	-
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_p	0,34	2
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_r	0,27	3
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_f	0,33	2
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	2,2	2
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Trasmittanza di energia solare totale	g_{gl}	0,77	1
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3,5	2
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	1,9	2
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	1	3
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione in condizioni di progetto	η_{gn}	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m^2)	m^2	2	1
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	1	1
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η_r	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Rendimento di regolazione	η_{ctr}	0,995	3

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



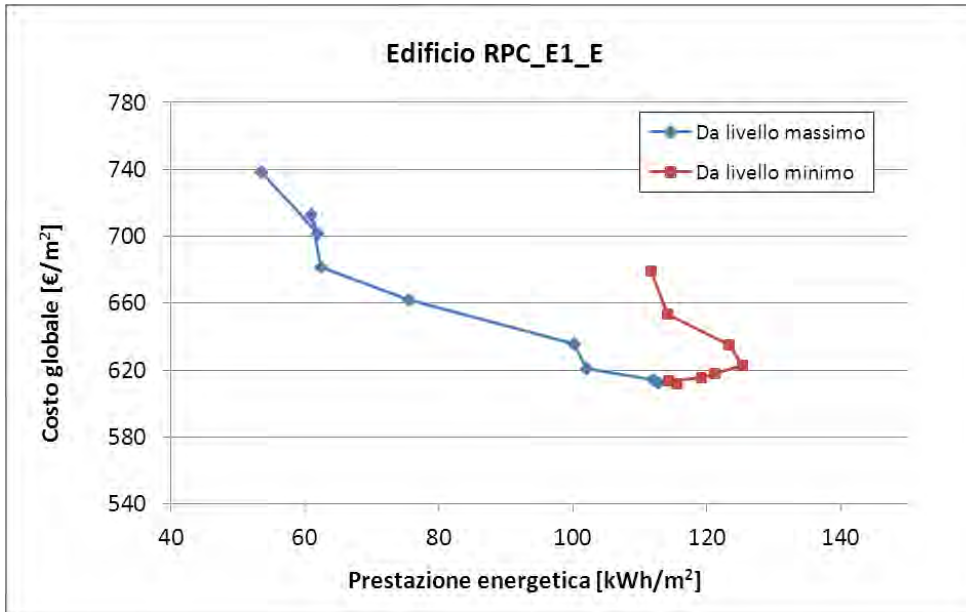
Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



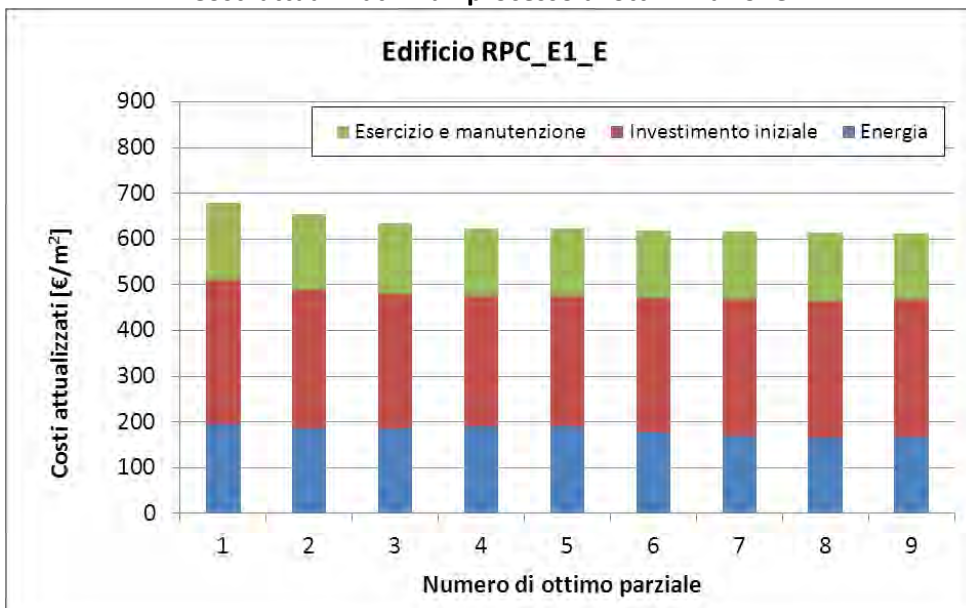
Intervallo ottimale in funzione dei costi

Valori ottimali dei parametri di progetto

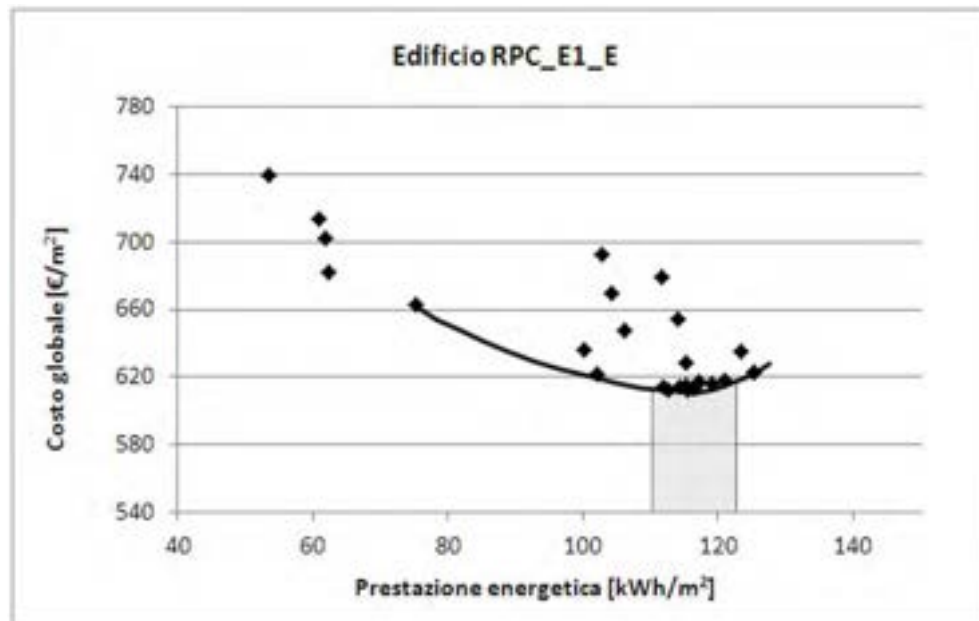
RPC_NO_E					
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_p	0,34	2
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_p	-	-
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_r	0,4	1
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_f	0,45	1
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	2,2	2
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Trasmittanza di energia solare totale	g_{gl}	0,77	1
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	1,9	5
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	0,88	1
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione in condizioni di progetto	η_{gn}	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m^2)	m^2	7	1
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	2,5	1
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERV S)	Efficienza del recuperatore di calore	η_r	0,9	3
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Rendimento di regolazione	η_{ctr}	0,995	3

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



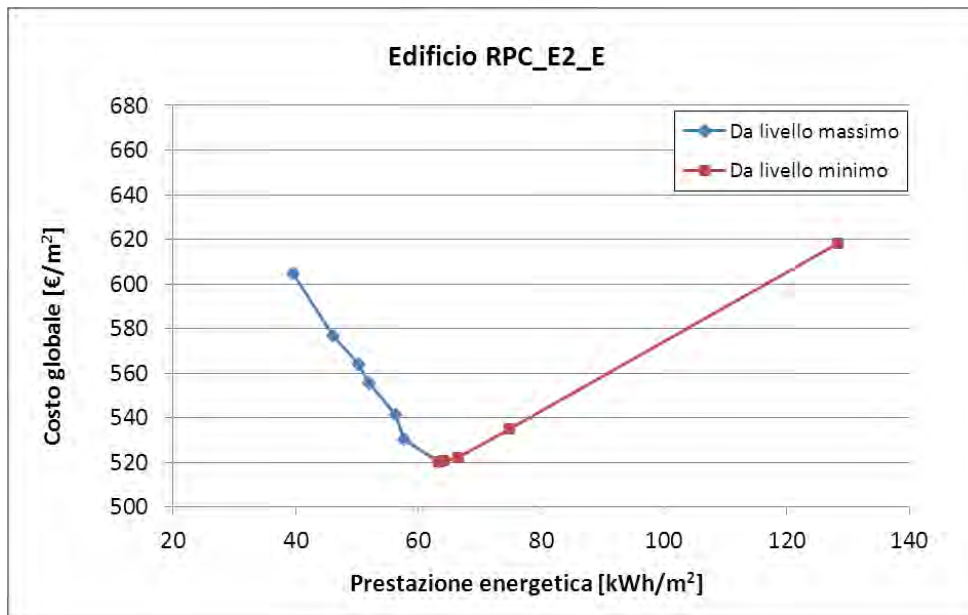
Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



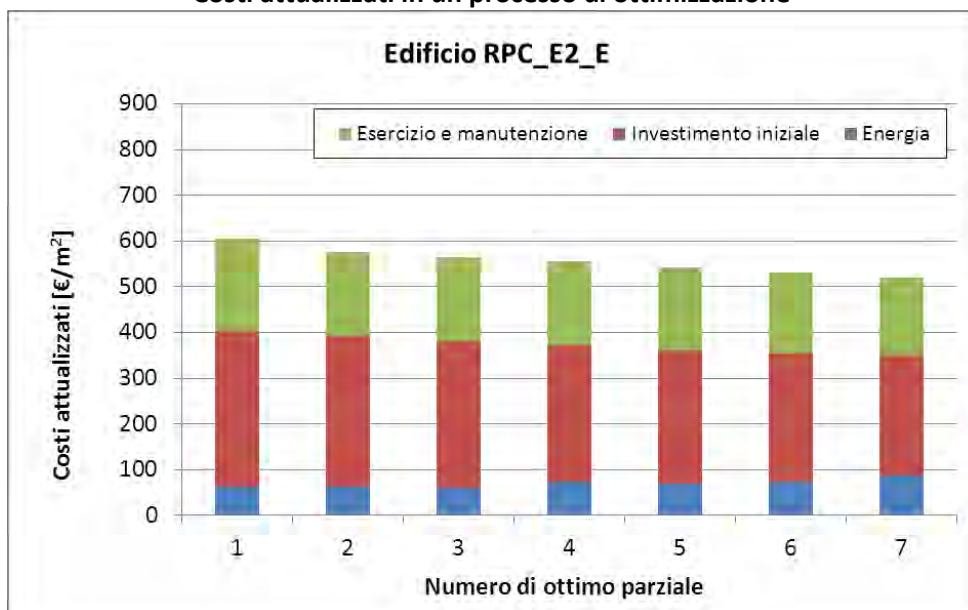
Intervallo ottimale in funzione dei costi

Valori ottimali dei parametri di progetto

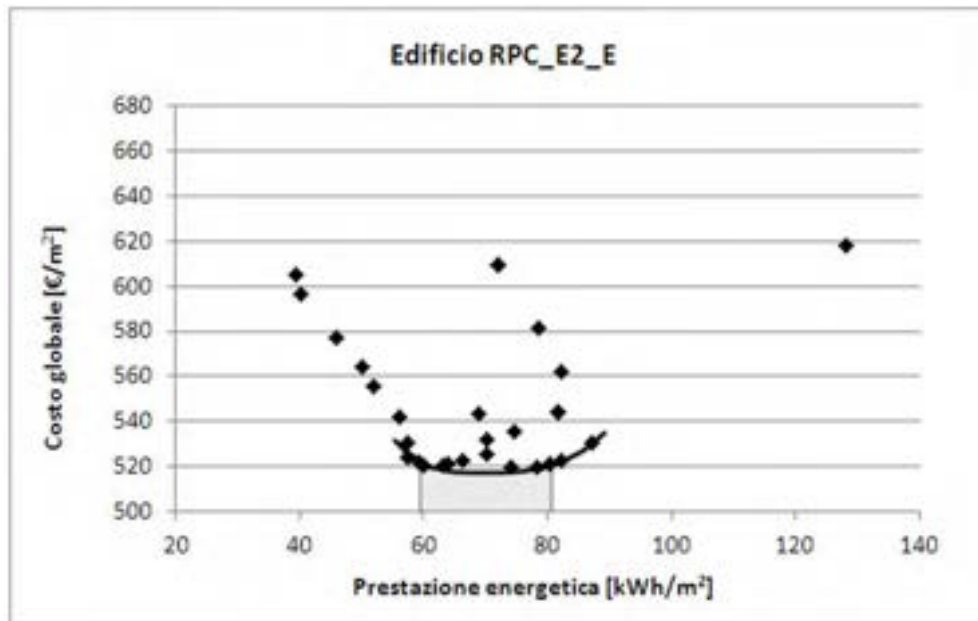
RPC_E1_E					
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	0,25	4
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	-	-
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _f	0,2	5
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _f	0,29	3
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	1,9	3
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Trasmittanza di energia solare totale	g _{gl}	0,77	1
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn}	0,96	2
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-Generator ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn,Pn,W}	0,88	1
10		Rendimento di generazione in condizioni di progetto	η _{gn}	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m ²)	m ²	14	1
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	2	1
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η _r	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Rendimento di regolazione	η _{ctr}	0,97	2

EDIFICIO RESIDENZIALE PICCOLO CONDOMINIO (1977-1990) – ZONA CLIMATICA E (MILANO)
Percorsi di ottimizzazione



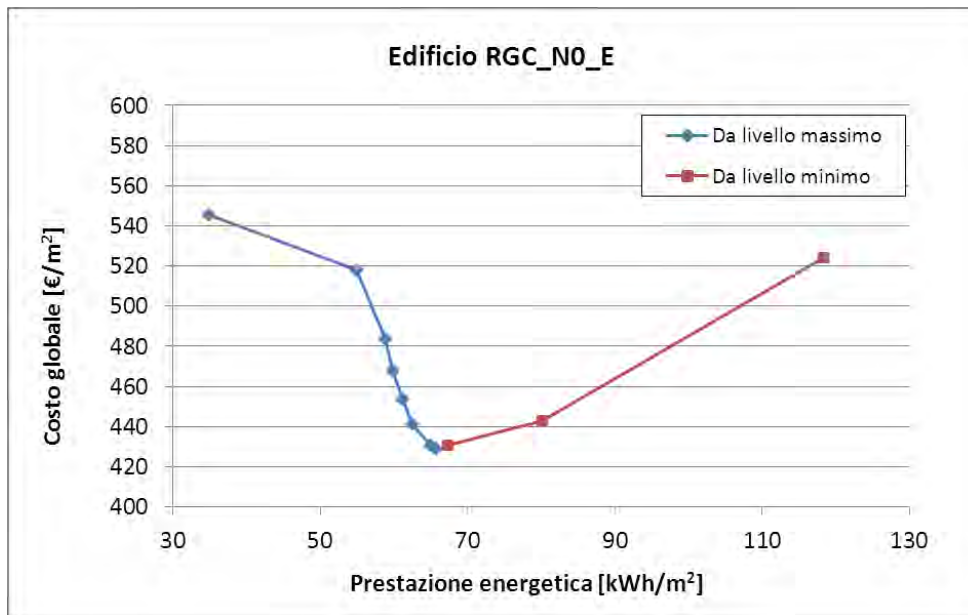
Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



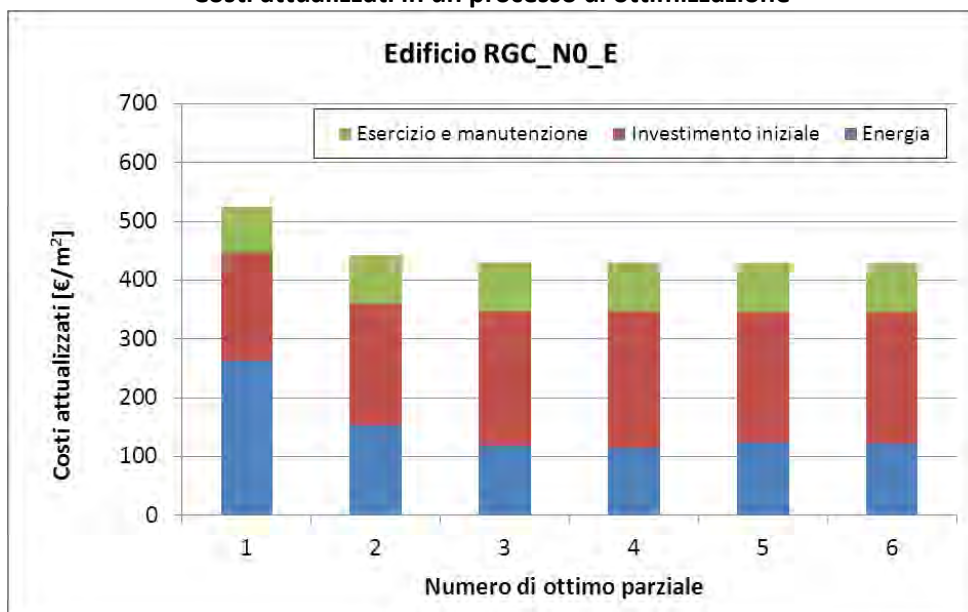
Intervallo ottimale in funzione dei costi

Valori ottimali dei parametri di progetto

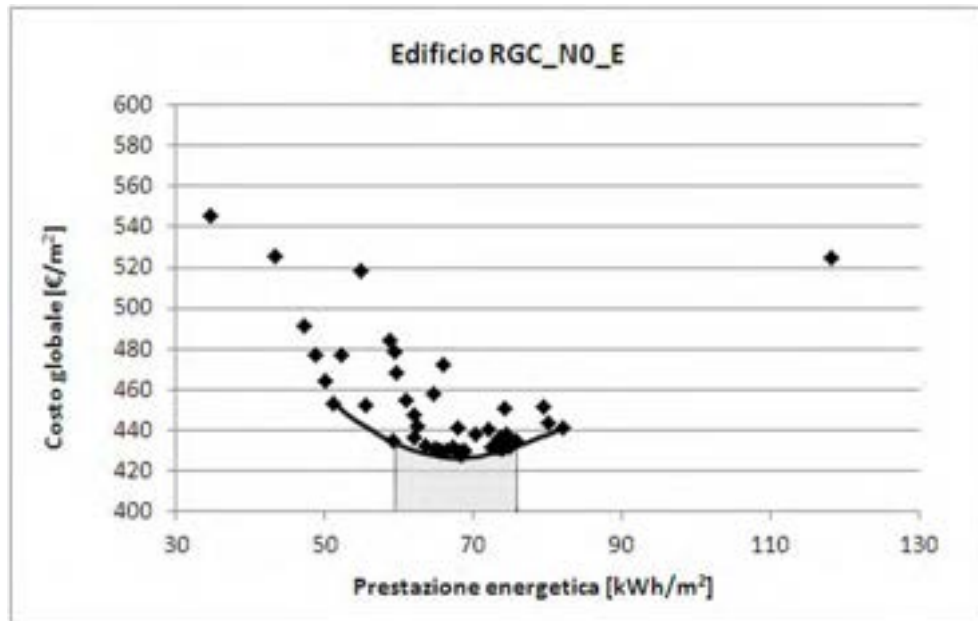
RPC_E2_E					
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_p	0,25	4
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_p	-	-
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_r	0,2	5
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_f	0,2	5
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	1,9	3
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Trasmittanza di energia solare totale	g_{gl}	0,77	1
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	0,96	2
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	0,88	1
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione in condizioni di progetto	η_{gn}	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m^2)	m^2	24	2
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	2,5	1
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η_r	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Rendimento di regolazione	η_{ctr}	0,97	2

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



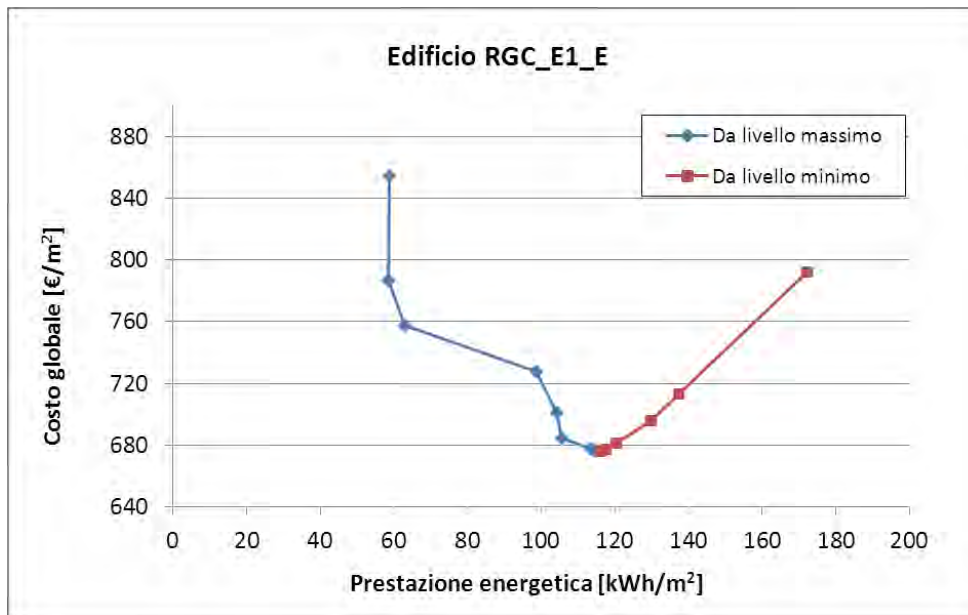
Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



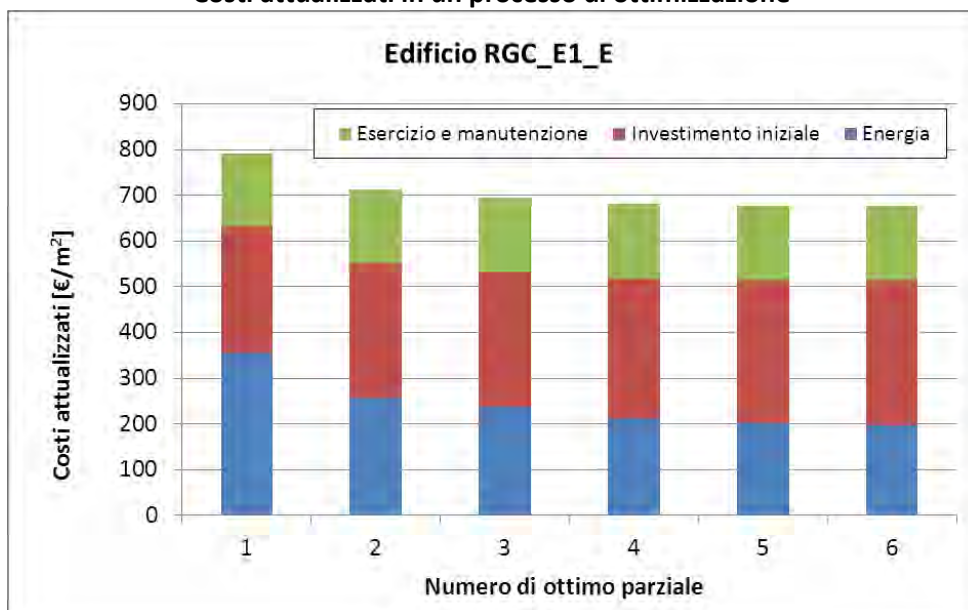
Intervallo ottimale in funzione dei costi

Valori ottimali dei parametri di progetto

RGC_NO_E					
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_p	0,25	4
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_p	-	-
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_r	0,27	3
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_f	0,33	2
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	1,3	5
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Trasmittanza di energia solare totale	g_{gl}	0,77	1
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3,2	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	0,97	2
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	0,88	1
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione in condizioni di progetto	η_{gn}	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m^2)	m^2	29	1
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	4	1
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η_r	0,9	3
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Rendimento di regolazione	η_{ctr}	0,97	2

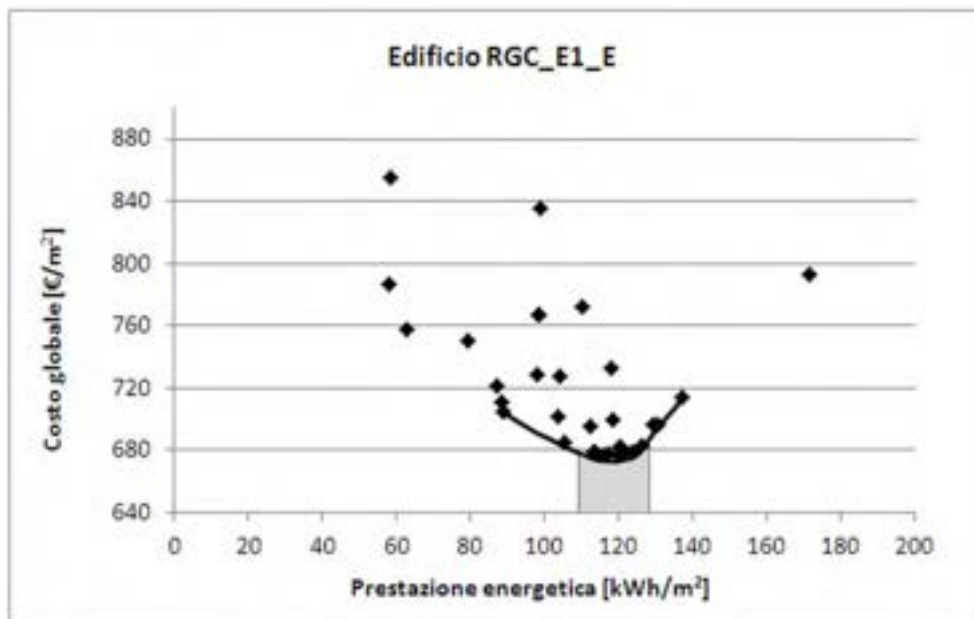
EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO (1946-1976) – ZONA CLIMATICA E (MILANO)
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



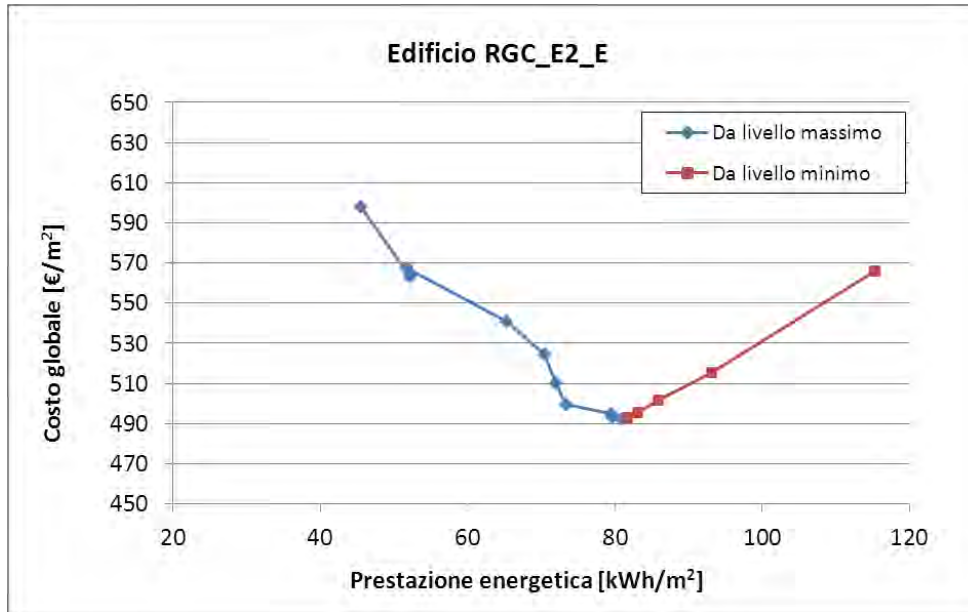
Intervallo ottimale in funzione dei costi



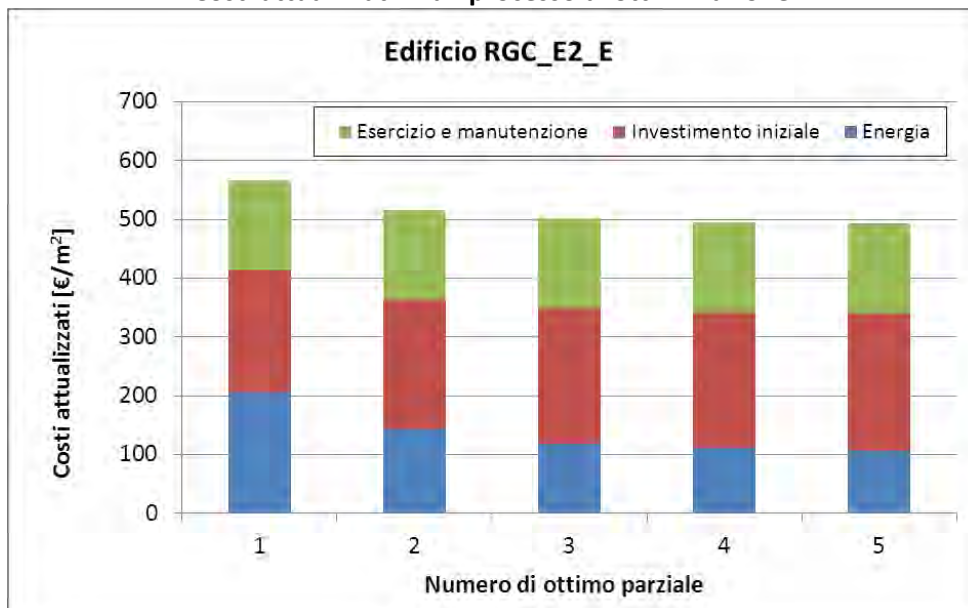
Valori ottimali dei parametri di progetto

RGC_E1_E					
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_p	-	-
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_p	0,34	2
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_r	0,2	5
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_f	0,29	3
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	1,9	3
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Trasmittanza di energia solare totale	g_{gl}	0,77	1
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3,2	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	0,98	2
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	0,88	1
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione in condizioni di progetto	η_{gn}	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m^2)	m^2	29	1
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	3	1
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERV S)	Efficienza del recuperatore di calore	η_r	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Rendimento di regolazione	η_{ctr}	0,97	2

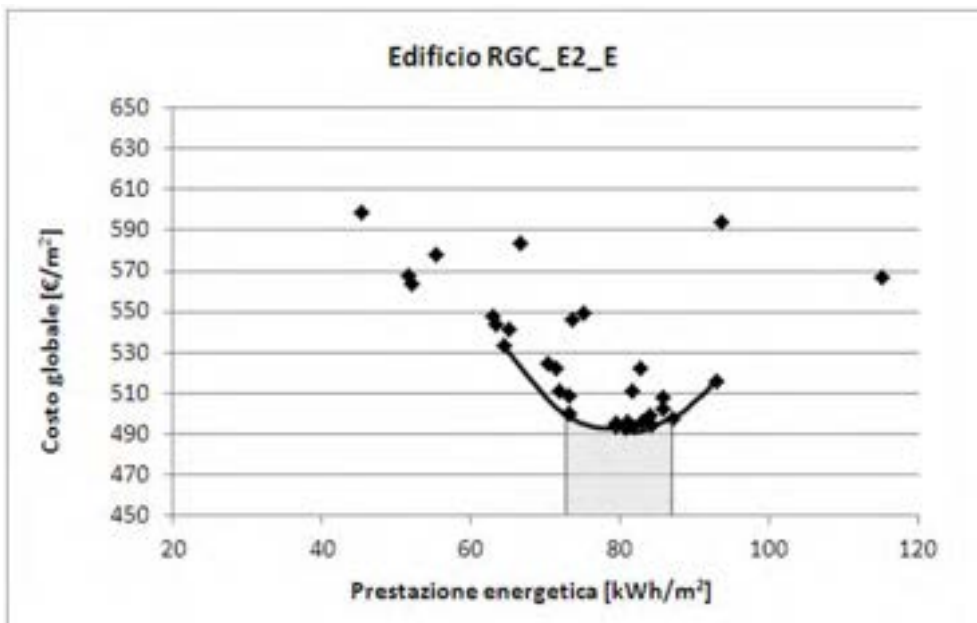
EDIFICIO RESIDENZIALE GRANDE CONDOMINIO (1977-1990) – ZONA CLIMATICA E (MILANO)
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



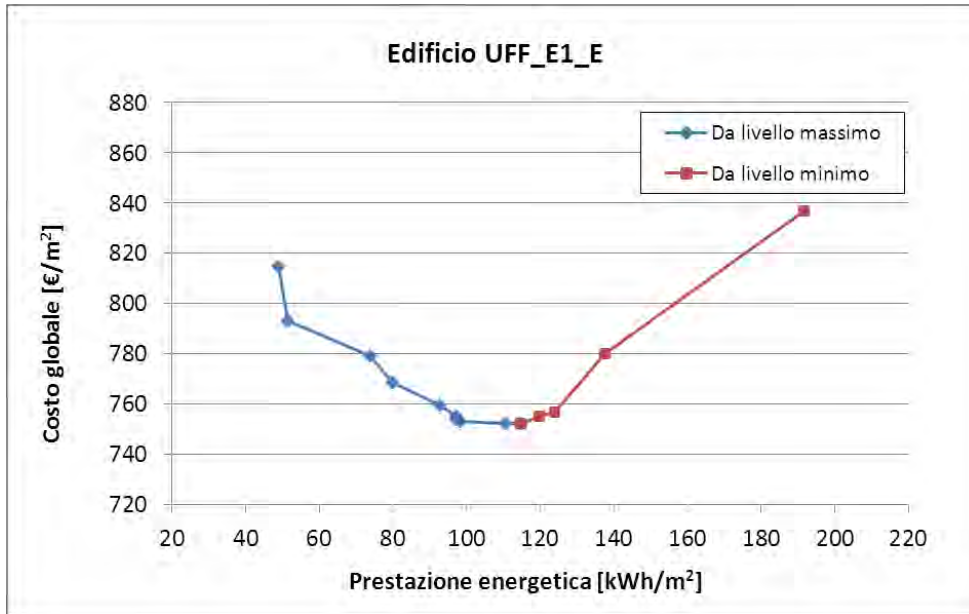
Intervallo ottimale in funzione dei costi



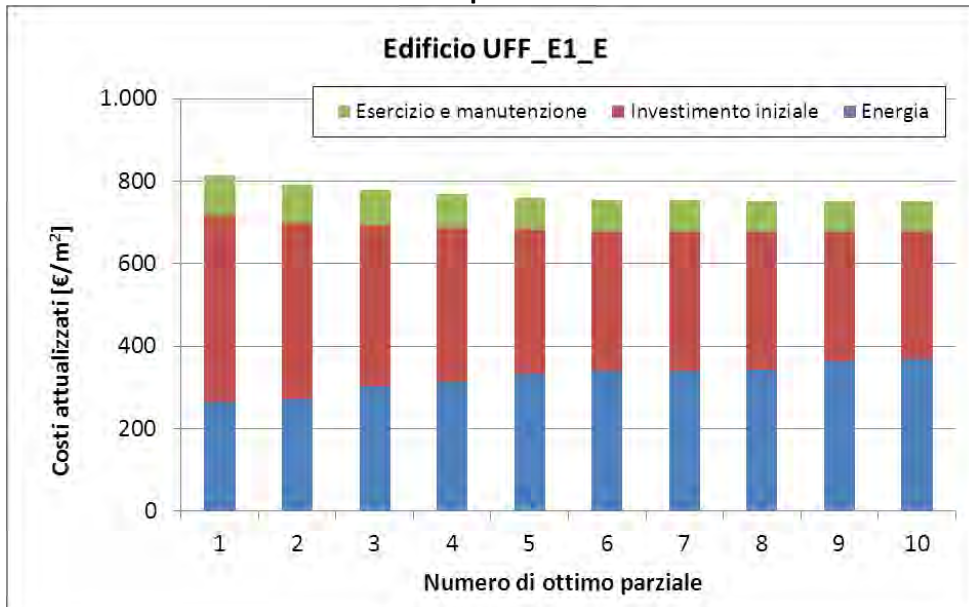
Valori ottimali dei parametri di progetto

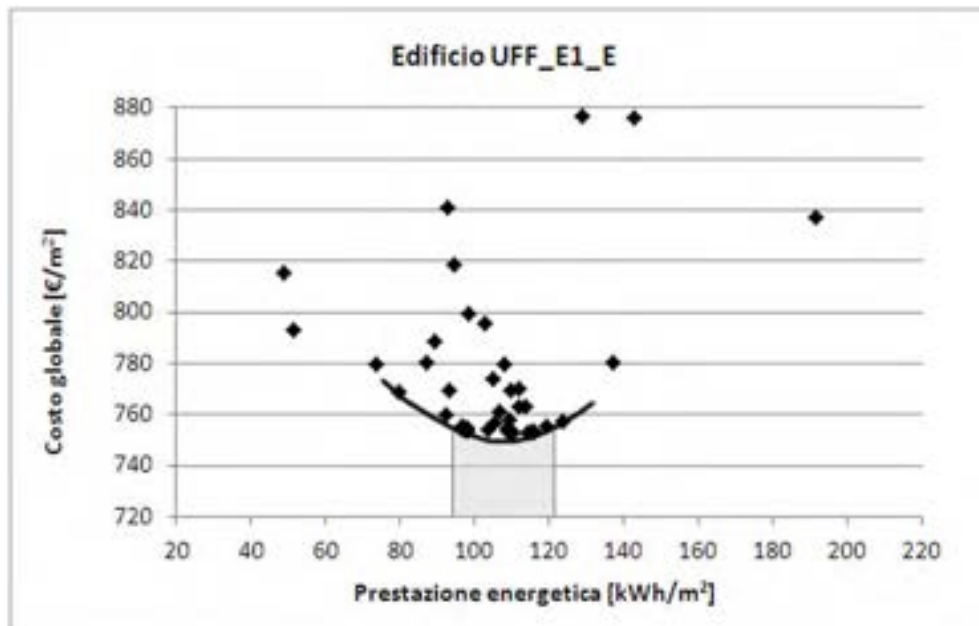
RGC_E2_E					
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_p	0,25	4
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_p	-	-
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_r	0,23	4
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_f	0,33	2
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	1,9	3
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Trasmittanza di energia solare totale	g_{gl}	0,77	1
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3,2	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η_{gn}	0,98	2
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	$\eta_{gn,Pn,W}$	0,88	1
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione in condizioni di progetto	η_{gn}	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m^2)	m^2	58	1
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	4	1
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η_r	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Rendimento di regolazione	η_{ctr}	0,97	2

EDIFICIO AD USO UFFICIO (1946-1976) – ZONA CLIMATICA E (MILANO)
Percorsi di ottimizzazione



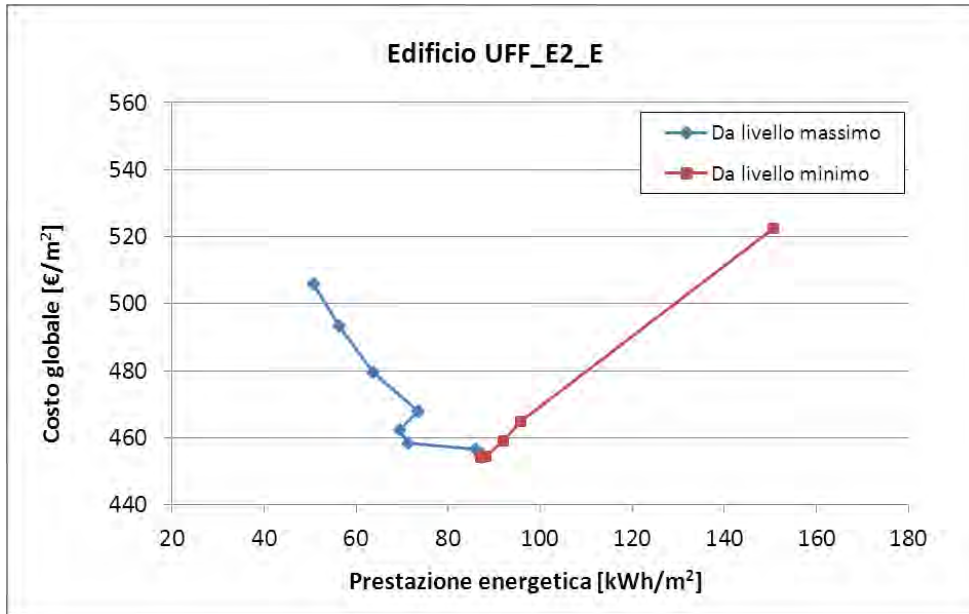
Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



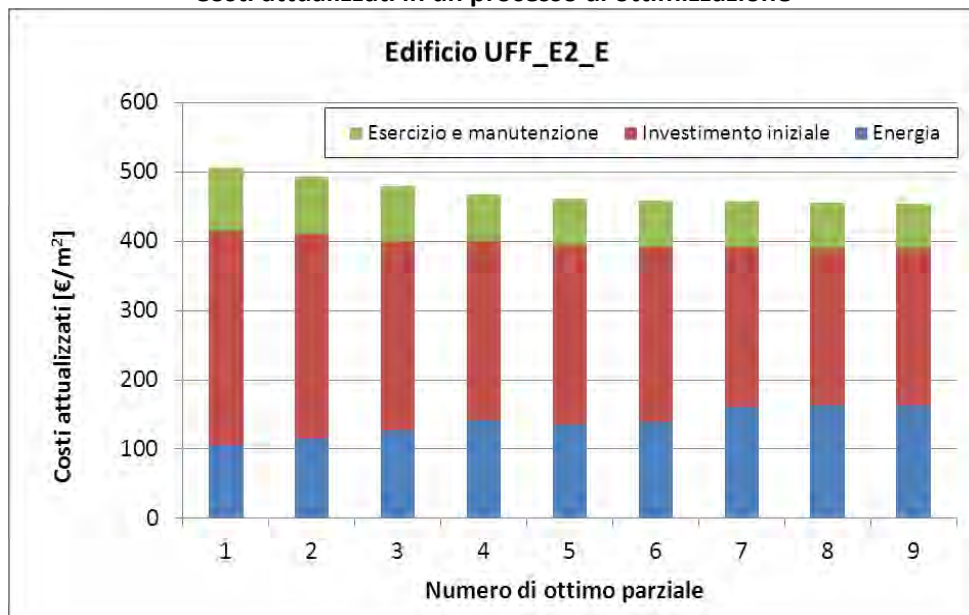
Intervallo ottimale in funzione dei costi

Valori ottimali dei parametri di progetto

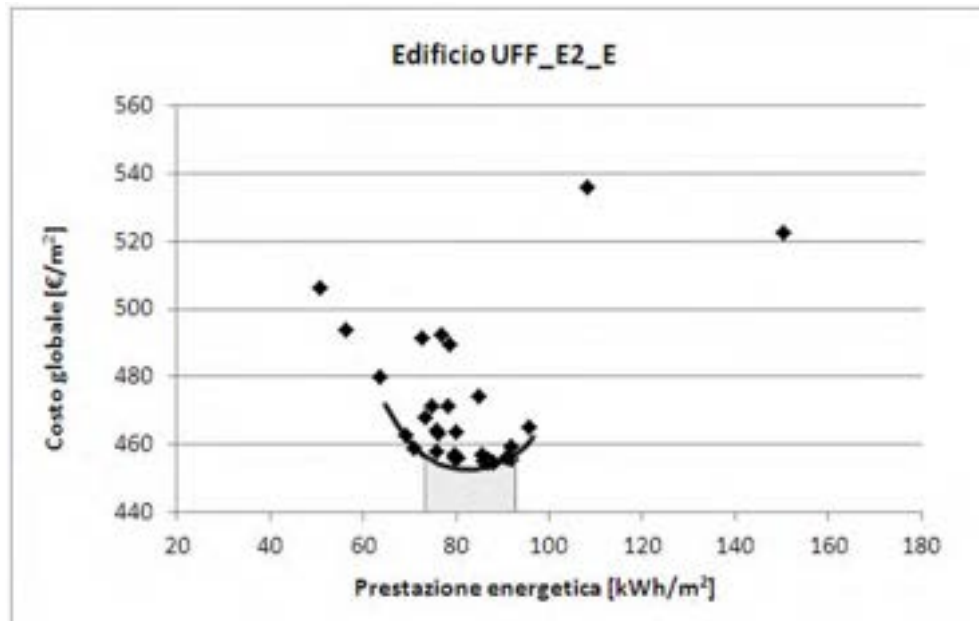
UFF_E1_E					
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna (EIFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	0,34	2
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI/EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	-	-
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _f	0,27	3
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _f	-	-
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	1,9	3
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Trasmittanza di energia solare	τ _{sh}	0,2	1
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3,5	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn}		
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn,Pn,W}		
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione in condizioni di progetto	η _{gn}	1,03	3
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m ²)	m ²	2	1
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	3	1
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η _r	0,6	1
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Rendimento di regolazione	η _{ctr}	0,995	3
16	Riqualficazione dell'impianto di illuminazione (ILL)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN	4,6	4
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O	0,8	4
		Fattore di illuminamento costante (fattore dipendenza luce diurna)	F _C (F _D)	0,9	4

EDIFICIO AD USO UFFICIO (1977-1990) – ZONA CLIMATICA E (MILANO)
Percorsi di ottimizzazione



Costi attualizzati in un processo di ottimizzazione



Intervallo ottimale in funzione dei costi

Valori ottimali dei parametri di progetto

UFF_E2_E					
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	Valore	N. EEO
1	Isolamento termico della parete esterna (EFS-S-EW): sistema a cappotto	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	0,29	3
2	Isolamento termico della parete esterna (CWI-EW): isolamento nell'intercapedine	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	-	-
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _r	0,3	2
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _f	-	-
5	Isolamento termico degli elementi trasparenti	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	1,9	3
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Trasmittanza di energia solare	τ _{sh}	0,2	1
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza (CHIL)	Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	3,5	1
8	Generatore di energia termica ad alta efficienza per il riscaldamento (GHS)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn}		
9	Generatore di energia termica ad alta efficienza per l'acqua calda sanitaria (HES-)	Rendimento del generatore in condizioni di progetto	η _{gn,Pn,W}		
10	Generatore ad alta efficienza combinato per riscaldamento e acqua calda sanitaria	Rendimento di generazione in condizioni di progetto	η _{gn}	0,944	2
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di progetto	COP	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni di progetto	EER	-	-
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m ²)	m ²	10	1
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	6	1
14	Sistema di recupero termico sulla ventilazione (ERVS)	Efficienza del recuperatore di calore	η _r	0,6	1
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Rendimento di regolazione	η _{ctr}	0,97	2
16	Riqualficazione dell'impianto di illuminazione (ILL)	Densità della potenza di illuminazione installata (W/m ²)	PN	4,6	4
		Fattore di dipendenza dall'occupazione	F _O	0,8	4
		Fattore di illuminamento costante (fattore dipendenza luce diurna)	F _C (F _D)	0,9	4

2.3.5 ANALISI DI SENSITIVIT'

In accordo con le Linee Guida di supporto al Regolamento, in questo capitolo si riportano i risultati di un'analisi di sensitività condotta su alcuni edifici campione tra quelli analizzati al precedente capitolo 2.3.4. L'analisi di sensitività ha lo scopo di prendere in considerazione differenti scenari di prezzo per i vettori energetici e per i tassi di sconto utilizzati per il calcolo dei costi macroeconomici e finanziari ottimali. Di seguito i risultati si riferiscono ad un'analisi finanziaria, in accordo con le precedenti valutazioni effettuate: si utilizza un tasso di sconto del 3%, 4% e 5% (Tabella 2.4) ed una evoluzione dei prezzi che tengo conto di un incremento annuo del 2,8% (Figura 2.22) fino al 2042 per gli edifici residenziali e fino al 2032 per gli edifici ad uso ufficio.

Gli edifici campione sui quali è effettuata l'analisi di sensitività sono:

- monofamiliare, epoca 1977-90, codice RMF_E2_E
- piccolo condominio, epoca 1977-90, codice RPC_E2_E;
- grande condominio, epoca 1977-90, codice RGC_E2_E.

Le Figure da 2.29 a 2.31 mostrano la variazione del costo globale attualizzato dell'intervento (suddiviso per esercizio e manutenzione, investimento iniziale ed energia) al variare del tasso di sconto, per i tre edifici campione, a seguito dell'ottimizzazione. Si osserva che per tutti i casi, all'aumentare del tasso di sconto si ha una riduzione dei costi totali attualizzati, ma che tale riduzione non risulta mai essere superiore a 100 €/m².

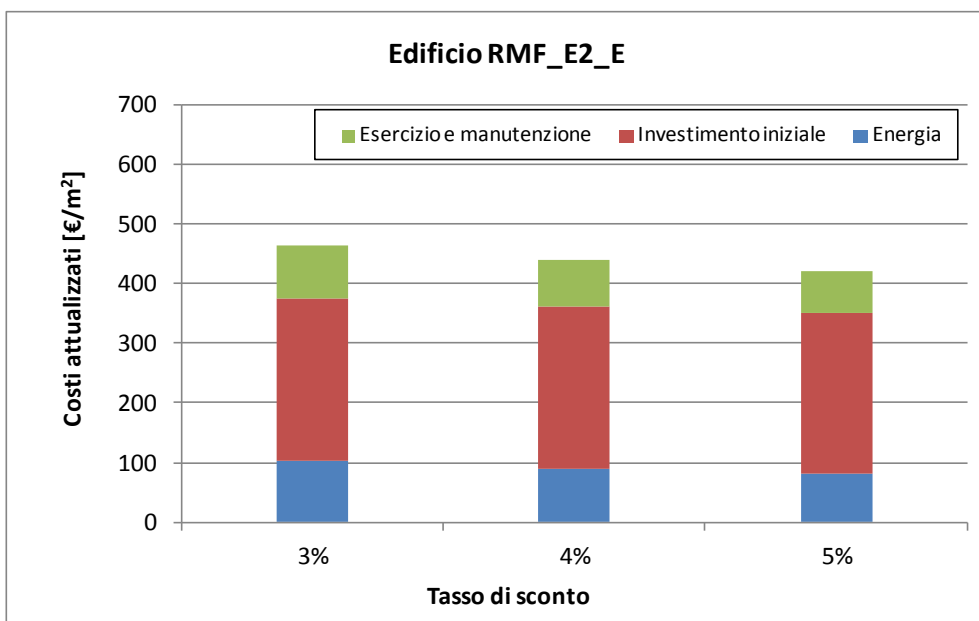


Figura 2.29. Variazione dei costi ottimali al variare del tasso di sconto, edificio monofamiliare.

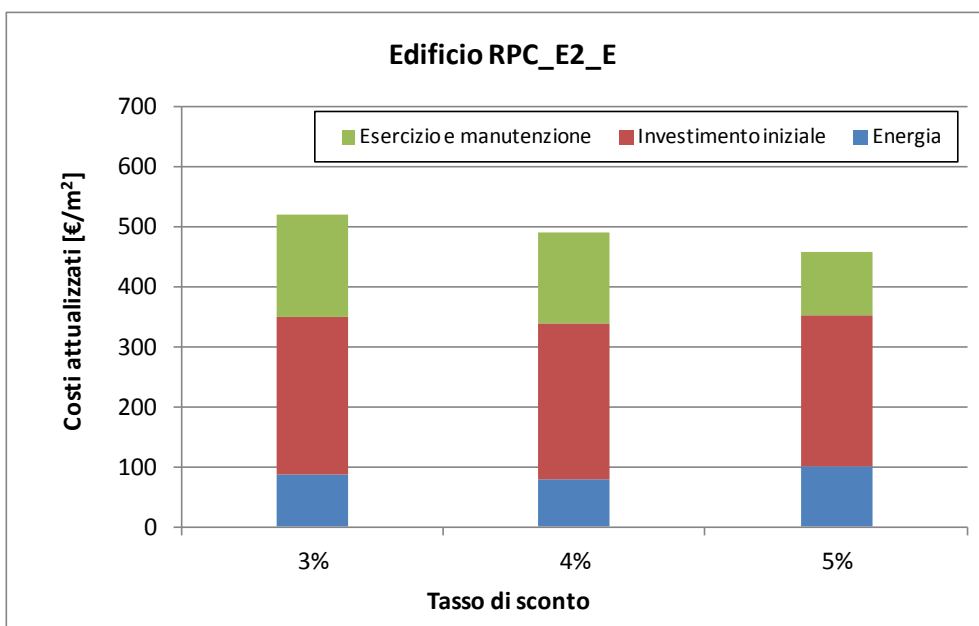


Figura 2.30. Variazione dei costi ottimali al variare del tasso di sconto, edificio piccolo condominio.

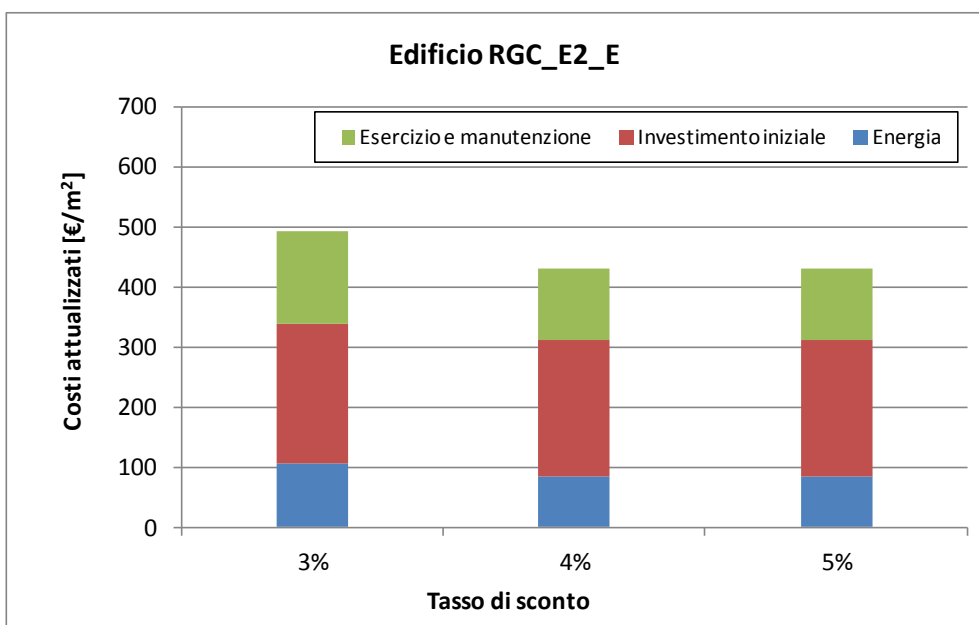


Figura 2.31. Variazione dei costi ottimali al variare del tasso di sconto, edificio grande condominio.

Il grafico di Figura 2.32 mostra per i tre edifici campione la variazione del valore ottimale (prestazione energetica in rapporto al costo globale) a seguito dell'incremento del tasso di sconto. Si osserva che all'aumento del tasso di sconto corrisponde una riduzione del costo globale dai 40 ai 70 €/m² a seconda della tipologia edilizia; a tale riduzione di costo corrisponde una minima riduzione della prestazione energetica.

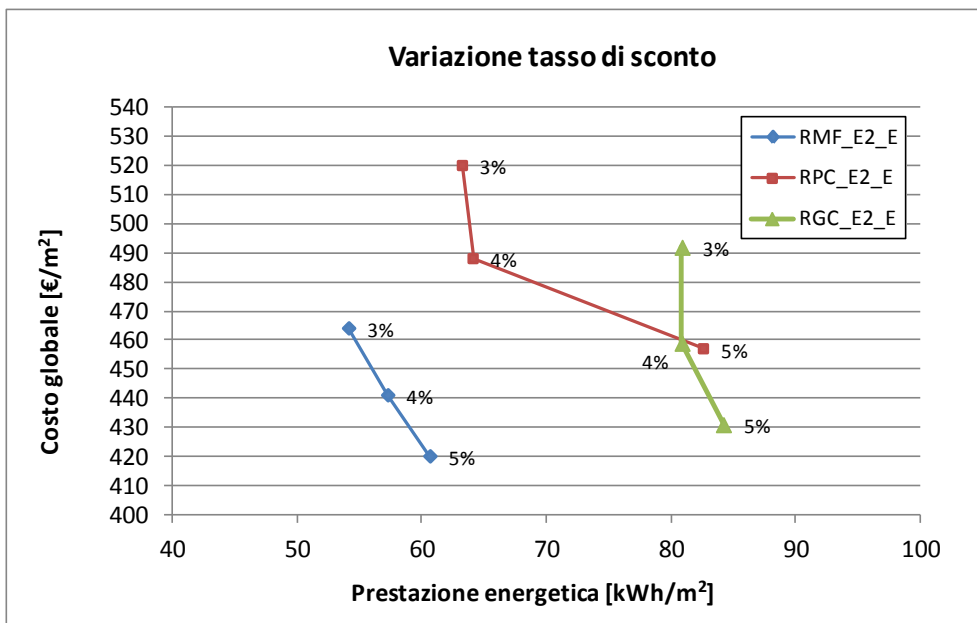


Figura 2.32. Livelli ottimali in funzione dei costi al variare del tasso di sconto, per i tre edifici campione.

Infine, nelle Tabelle dalla 2.58 alla 2.60 si riportano per gli edifici campione i livelli ottimali delle misure di efficienza energetica al variare del tasso di sconto. Si nota che i livelli delle misure di efficienza energetica non subiscono notevoli variazioni, e che all'aumento del tasso di sconto al più corrisponde una riduzione del livello ottimale di prestazione energetica per lo specifico intervento.

RMF_E2_E - N. EEO						
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	3%	4%	5%
1	Isolamento termico della parete esterna	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	-	-	-
2	Isolamento termico della parete esterna	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _p	2	2	2
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _r	3	3	2
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _f	2	1	1
5	Isolamento termico degli elementi	Trasmittanza termica (W/m ² K)	U _w	2	2	2
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Trasmittanza di energia solare totale	g _{gl}	1	1	1
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni	EER	2	1	3
8	Generatore di energia termica ad alta	Rendimento del generatore in condizioni di	η _{gn}	2	2	2
9	Generatore di energia termica ad alta	Rendimento del generatore in condizioni di	η _{gn,Pn,W}	3	3	3
10	Generatore ad alta efficienza combinato per	Rendimento di generazione in condizioni di	η _{gn}	-	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di	COP	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni	EER	-	-	-
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m ²)	m ²	1	1	1
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	1	1	1
14	Sistema di recupero termico sulla	Efficienza del recuperatore di calore	η _r	-	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Rendimento di regolazione	η _{ctr}	3	3	3
16	Densità della potenza di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione	PN	-	-	-
17	Sistemi di regolazione dell'illuminazione	Fattore di dipendenza dall'occupazione (e	F _o (F _c)	-	-	-

Tabella 2.58. Livelli ottimali dei parametri di progetto al variare del tasso di sconto, edificio monofamiliare.

RPC_E2_E - N. EEO						
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	3%	4%	5%
1	Isolamento termico della parete esterna	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_p	4	2	4
2	Isolamento termico della parete esterna	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_p	-	-	-
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_r	5	1	4
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_f	5	2	4
5	Isolamento termico degli elementi	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	3	2	2
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Trasmittanza di energia solare totale	g_{gl}	1	1	1
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni	EER	1	1	1
8	Generatore di energia termica ad alta	Rendimento del generatore in condizioni di	η_{gn}	2	5	2
9	Generatore di energia termica ad alta	Rendimento del generatore in condizioni di	$\eta_{gn,Pn,W}$	1	1	1
10	Generatore ad alta efficienza combinato per	Rendimento di generazione in condizioni di	η_{gn}	-	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di	COP	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni	EER	-	-	-
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m^2)	m^2	2	1	1
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	1	1	1
14	Sistema di recupero termico sulla	Efficienza del recuperatore di calore	η_r	-	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Rendimento di regolazione	η_{ctr}	1	3	2
16	Densità della potenza di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione	PN	0	0	0
17	Sistemi di regolazione dell'illuminazione	Fattore di dipendenza dall'occupazione (e	$F_o(F_c)$	0	0	0

Tabella 2.59. Livelli ottimali dei parametri di progetto al variare del tasso di sconto, edificio piccolo condominio.

RGC_E2_E - N. EEO						
N. EEM	Misura di efficienza energetica (EEM)	Parametro	Simbolo	3%	4%	5%
1	Isolamento termico della parete esterna	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_p	4	4	-
2	Isolamento termico della parete esterna	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_p	-	-	2
3	Isolamento termico della copertura (INS-R)	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_r	4	4	3
4	Isolamento termico del pavimento (INS-F)	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_f	2	2	2
5	Isolamento termico degli elementi	Trasmittanza termica (W/m^2K)	U_w	3	3	3
6	Sistemi di schermatura solare (SHAD)	Trasmittanza di energia solare totale	g_{gl}	1	1	1
7	Macchina frigorifera ad alta efficienza	Indice di efficienza energetica in condizioni	EER	1	1	1
8	Generatore di energia termica ad alta	Rendimento del generatore in condizioni di	η_{gn}	2	2	2
9	Generatore di energia termica ad alta	Rendimento del generatore in condizioni di	$\eta_{gn,Pn,W}$	1	1	1
10	Generatore ad alta efficienza combinato per	Rendimento di generazione in condizioni di	η_{gn}	-	-	-
11	Pompa di calore per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria	Coefficiente di prestazione in condizioni di	COP	-	-	-
		Indice di efficienza energetica in condizioni	EER	-	-	-
12	Impianto solare termico (SOL)	Superficie dei collettori solari (m^2)	m^2	1	1	1
13	Sistema fotovoltaico (PV)	Potenza di picco installata (kW)	kWp	1	1	1
14	Sistema di recupero termico sulla	Efficienza del recuperatore di calore	η_r	-	-	-
15	Sistema di regolazione avanzato (ICS)	Rendimento di regolazione	η_{ctr}	2	2	2
16	Densità della potenza di illuminazione	Densità della potenza di illuminazione	PN	-	-	-
17	Sistemi di regolazione dell'illuminazione	Fattore di dipendenza dall'occupazione (e	$F_o(F_c)$	-	-	-

Tabella 2.60. Livelli ottimali dei parametri di progetto al variare del tasso di sconto, edificio grande condominio.

2.4 Rapporto Tecnico A.4. “La simulazione dinamica”

Nel presente Rapporto vengono presentati i risultati dell’applicazione della Cost Optimal Methodology in cui il calcolo dei consumi energetici globali è stato effettuato attraverso l’uso della simulazione termoenergetica dinamica. In particolare, sono stati analizzati due dei casi studio in precedenza studiati secondo la metodologia descritta nei Rapporti Tecnici A.1 e A.2:

- il grande condominio, epoca 1946-76, codice RGC_E1_E;
- l’edificio per uffici esistente, epoca 1976-91, codice UFF_E2_E.

La scelta di analizzare due edifici esistenti è determinata dal fatto che questi costituiscono la maggior parte del patrimonio edilizio italiano e perciò forniscono informazioni maggiormente utili ed interessanti per le politiche energetiche nazionali.

Nelle analisi di seguito presentate e per entrambi i casi studio, l’edificio al suo stato attuale privo di efficientamenti energetici verrà indicato come *Reference Building*. La descrizione dettagliata dei due *Reference Building* è riportata nelle schede in allegato.

Per entrambi i *Reference Building* considerati sono state individuate diverse misure di efficientamento energetico (*Energy Efficiency Measures, EEMs*), la cui ricaduta a livello di consumi energetici è stata stimata attraverso l’uso del software di simulazione termodinamica EnergyPlus, sviluppato dal *Department of Energy* degli Stati Uniti (US DOE) [33]. Esso è basato sulla simulazione integrata dell’ambiente e dell’impianto di climatizzazione. Data la logica di simulazione deterministica di un software di questo tipo e dato il tempo di calcolo necessario per ogni singolo run di simulazione, a differenza degli studi eminentemente parametrici descritti nel Rapporto Tecnico A.3, è stato analizzato un numero finito di misure di efficientamento scelte in base alla loro fattibilità tecnica. In particolare, la definizione di tali misure è stata svolta in due fasi: la prima caratterizzata da interventi di riqualificazione energetica a livello di involucro edilizio e la seconda a livello impiantistico.

Successivamente le varie EEMs sono state valutate dal punto di vista economico attraverso l’applicazione del metodo del costo globale descritto dalla norma UNI EN 15459 [9]. Anche al *Reference Building* è stato associato un costo globale, che rappresenta la somma dei costi necessari a mantenere l’edificio così com’è durante il periodo di calcolo fissato. La valutazione è stata condotta basandosi sulla prospettiva finanziaria, ovvero dell’investitore privato che decide, in questo caso, di ristrutturare il suo edificio. Di seguito sono riportate le ipotesi di calcolo fatte per le due analisi economiche eseguite.

Il periodo di calcolo, trattandosi di edifici esistenti, è stato fissato pari a 30 anni. Il tasso di sconto reale è stato assunto pari al 4% seguendo le indicazioni delle Linee Guida che accompagnano Il Regolamento **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

Per ciò che riguarda i costi di investimento, essi sono stati valutati per ciascun intervento di efficientamento energetico facendo riferimento al prezziario della Regione Piemonte, essendo l’edificio localizzato in zona climatica E.

Per quanto concerne le parti costituenti l’involucro edilizio, si è ipotizzato di sostituire solo i serramenti, per i quali è stata considerata una vita media di 25 anni. Nel caso del *Reference Building* tuttavia, trattandosi di un edificio esistente, si è ipotizzato di sostituirli dopo 13 anni. Per ciò che concerne i dati relativi alla durata dei componenti impiantistici invece si è fatto riferimento all’Appendice A della EN 15459:2007 [9].

Nelle analisi è stato considerato il costo di manutenzione solo dei componenti impiantistici, mentre sono stati ignorati i costi relativi agli elementi di involucro. Per i primi si è fatto riferimento all’Appendice A della EN 15459:2007, che ne riporta il valore espresso in termini percentuali rispetto al costo del componente stesso [9].

Per quanto riguarda i costi legati al consumo energetico, nel caso dell’edificio residenziale sono stati analizzati i costi relativi al consumo di gas metano per il riscaldamento ambientale e di energia elettrica per gli ausiliari dell’impianto di riscaldamento, per l’illuminazione e le apparecchiature elettriche; nel caso dell’edificio per uffici quelli relativi al consumo di gas metano per riscaldamento ambientale e di energia

elettrica per il raffrescamento ambientale, per gli ausiliari dell'impianto di riscaldamento e raffrescamento, per l'illuminazione e per le apparecchiature elettriche. Si è ipotizzato un incremento annuo dei prezzi dei vettori energetici pari al 2,8% **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** Per i costi energetici sono stati assunti i seguenti valori:

- costo del gas naturale: pari a 0,552 €/Smc (da 1561 a 5000) e pari a 0,527 €/Smc (da 5001 a 80000 Smc/anno) nel caso dell'edificio residenziale e pari a 0,553 €/Smc (da 1561 a 5000) e pari a 0,528 €/Smc (da 5001 a 80000 Smc/anno) nel caso dell'edificio per uffici; inoltre, è stato fissato un valore di quota fissa annuale pari a 83,97 €/anno per l'edificio residenziale e 99,03 €/anno per l'edificio per uffici [5];
- costo dell'energia elettrica: pari a 0,185 €/kWh (da 1801 a 2640 kWh/anno) e pari a 0,249 €/kWh (da 2641 a 4440 kWh/anno) per l'edificio residenziale; pari a 0,17 €/kWh per l'edificio per uffici; inoltre, è stato assunto una quota fissa pari a 21,6 €/anno per l'edificio residenziale e pari a 225,7 €/anno per l'edificio per uffici, e una quota potenza pari a 5,74 €/kW anno per l'edificio residenziale e pari a 31,788 €/kW anno per l'edificio per uffici [5].

A fronte della considerazione nei calcoli dei consumi di energia elettrica per gli ausiliari, l'illuminazione e le apparecchiature, sono stati introdotti nel calcolo economico gli incentivi legati all'impianto fotovoltaico, nelle EEMs in cui questo è stato inserito. Nello specifico sono state formulate le seguenti ipotesi:

- il prezzo di vendita dell'energia immessa in rete è assunto pari a 0,157 €/kWh (25 kW_p) nel caso dell'edificio residenziale e pari a 0,171 €/kWh (11 kW_p) o 0,157 €/kWh (21 e 38 kW_p) nel caso di quello per uffici per i primi 20 anni [6]; dal ventunesimo anno in poi è pari a 0,03 €/kWh in entrambi i casi;
- il valore dell'incentivo del GSE (Gestore Servizi Energetici) per l'energia autoconsumata in situ è assunto, per i primi 20 anni, pari a 0,075 €/kWh (25 kW_p) per l'edificio residenziale e pari a 0,089 €/kWh (11 kW_p) o 0,075 €/kWh (21 e 38 kW_p) per quello per uffici secondo quanto indicato dal Quinto Conto Energia per il secondo semestre di applicazione [6].

Infine, è stato tracciato il grafico del costo globale in funzione dei consumi. Nello specifico, nel grafico vengono riportati sull'asse delle ordinate i valori di costo globale, espressi in €/m², del *Reference Building* e delle diverse misure di efficientamento energetico in funzione dell'energia primaria, espressa in kWh/m²anno e riportata sull'asse delle ascisse.

Sul grafico i diversi punti rappresentano le differenti misure di efficientamento EEMs. In base alla disposizione dei punti estremi inferiori del grafico è stato possibile tracciare una curva, che rappresenta la cosiddetta *cost curve*, il cui minimo rappresenta il *cost optimal level*.

Nel grafico del costo globale di entrambi i casi studio analizzati, in corrispondenza del *Reference Building* è stata tracciata una linea verticale che rappresenta il massimo consumo possibile. Infatti, i consumi delle diverse misure di efficientamento energetico applicate al *Reference Building* non possono ricadere a destra di tale linea verticale.

2.4.1 LA COST OPTIMAL METHODOLOGY APPLICATA AL GRANDE CONDOMINIO

Le misure di efficientamento energetico

Le misure di efficientamento energetico dell'involucro edilizio ipotizzate consistono in un incremento dell'isolamento termico dello stesso, in funzione di tre livelli di miglioramento della trasmittanza termica dei componenti edilizi. Avendo simulato l'edificio in zona climatica E (Torino), tali livelli sono stati fissati con riferimento alla normativa regionale piemontese sul risparmio energetico. Nel dettaglio, i primi due livelli, EEM1 e EEM2 sono stati rispettivamente fissati in conformità col livello "vigente" e "convenzionato" dell'Allegato 3 della Delibera n.46-11968 del 4 Agosto 2009 della Regione Piemonte [7]. Il terzo livello EEM3, definito "avanzato", è caratterizzato da trasmittanze termiche molto basse (inferiori rispetto al livello "convenzionato") al fine di ridurre fortemente il fabbisogno per riscaldamento ambientale dell'edificio. Queste prime tre misure di efficientamento sono di tipo cosiddetto omogeneo, ovvero

prevedono l'incremento dell'isolamento termico dell'intero involucro edilizio. Le misure dalla EEM4 alla EEM10 sono di tipo disomogeneo, in quanto applicate a singoli/combinati componenti dello stesso. In Tabella 2.61 sono riportate le misure di efficientamento riguardanti l'involucro edilizio.

Tabella 2.61. Misure di efficientamento energetico applicate all'involucro edilizio.

Tipologia: EDIFICIO GRANDE CONDOMINIO					
Epoca: 1946-1976					
EEM (Energy Efficiency Measure)		U [W/m ² K]			
		Pareti	Finestre	Solaio Superiore	Solaio inferiore
RB		1,15	4,9	1,65	1,30
INTERVENTI OMOGENEI	EEM1	0,33	2,00	0,30	0,30
	EEM2	0,25	1,70	0,23	0,23
	EEM3	0,18	1,70	0,16	0,16
INTERVENTI DISOMOGENEI	EEM4	0,33	2,00	1,65	1,30
	EEM5	0,33	4,90	0,30	0,30
	EEM6	1,15	2,00	1,65	1,30
	EEM7	0,25	4,9	1,65	1,30
	EEM8	0,25	4,9	0,23	0,23
	EEM9	0,18	1,70	1,65	1,30
	EEM10	0,18	4,90	1,65	1,30

Una volta analizzati i costi globali dei primi 10 interventi di riqualificazione energetica, sono stati scelti per la fase di analisi successiva, oltre al Reference Building, l'EEM1 e l'EEM3: questi due casi sono stati scelti in quanto rappresentano la miglior combinazione tra il minor consumo energetico e il minor costo globale.

La seconda fase di analisi ha visto l'applicazione ai casi sopra selezionati di misure di riqualificazione impiantistica; tali misure sono state combinate tra loro a formare diversi pacchetti di interventi.

Le singole misure di efficientamento hanno previsto:

- la sostituzione della caldaia esistente con una caldaia a condensazione maggiormente efficiente ($\eta_g = 0,99$);
- l'aumento dell'efficienza del sistema di distribuzione, andando ad isolare le tubazioni presenti nello scantinato;
- l'installazione delle valvole termostatiche sui radiatori esistenti;
- la sostituzione dei radiatori con dei pannelli radianti a pavimento;
- l'inserimento di un impianto di ventilazione meccanica controllata con recuperatore di calore ($\eta = 0,70$);

- la realizzazione di un impianto fotovoltaico sulla falda orientata a sud-est del tetto dell'edificio; questo è caratterizzato da una superficie effettiva installata di circa 240 m² con una potenza installata pari a 25 kW_p.

Il primo pacchetto di interventi (da EEM11 a EEM13) ha previsto la sostituzione della caldaia, l'inserimento delle valvole termostatiche e l'isolamento delle tubazioni.

Il secondo pacchetto di interventi (da EEM14 a EEM16) ha previsto la sostituzione della caldaia, l'isolamento delle tubazioni e l'inserimento dei pannelli radianti.

Il terzo pacchetto di interventi (da EEM17 a EEM19) ha previsto l'installazione dell'impianto fotovoltaico (PV).

Il quarto pacchetto di interventi (da EEM20 a EEM22) ha previsto l'applicazione delle stesse misure del primo pacchetto combinate con l'installazione dell'impianto fotovoltaico.

Il quinto pacchetto di interventi (da EEM23 a EEM25) ha previsto l'applicazione delle stesse misure del secondo pacchetto combinate con l'installazione dell'impianto fotovoltaico.

Il sesto pacchetto di interventi (da EEM26 a EEM28) ha previsto l'applicazione delle stesse misure del primo pacchetto combinate con l'inserimento dell'impianto di ventilazione meccanica controllata (VM).

Il settimo pacchetto di interventi (da EEM29 a EEM31) ha previsto l'applicazione delle stesse misure del secondo pacchetto combinate con l'inserimento dell'impianto di ventilazione meccanica controllata.

L'ottavo pacchetto di interventi (da EEM32 a EEM34) ha previsto l'applicazione delle stesse misure del sesto pacchetto combinate con l'installazione dell'impianto fotovoltaico sul tetto.

Il nono pacchetto di interventi (da EEM35 a EEM37) ha previsto l'applicazione delle stesse misure del settimo pacchetto combinate con l'installazione dell'impianto fotovoltaico sul tetto.

Di seguito in Tabella 2.62 vengono riassunti i diversi pacchetti di efficientamento energetico apportati al *Reference Building*, all'EEM1 e all'EEM3. Nella colonna denominata "EEM di applicazione" viene riportato il caso a cui vengono applicate le misure di efficientamento, mentre nella colonna denominata "ID EEM" viene indicato l'identificativo con cui ci si riferirà all'intervento.

Tabella 2.62. Misure impiantistiche di efficientamento energetico.

Tipologia: EDIFICIO GRANDE CONDOMINIO			
Epoca: 1946-1976			
ID Pacchetto	ID EEM	EEM di applicazione	Descrizione EEM
Pacchetto 1	EEM11	RB	caldaia condensazione + valvole termostatiche + isolamento tubi distribuzione
	EEM12	EEM1	
	EEM13	EEM3	
Pacchetto 2	EEM14	RB	caldaia condensazione + isolamento tubi distribuzione + pannelli radianti
	EEM15	EEM1	
	EEM16	EEM3	
Pacchetto 3	EEM17	RB	PV
	EEM18	EEM1	
	EEM19	EEM3	
Pacchetto 4	EEM20	RB	caldaia condensazione + valvole termostatiche + isolamento tubi distribuzione + PV
	EEM21	EEM1	
	EEM22	EEM3	
Pacchetto 5	EEM23	RB	caldaia condensazione + isolamento tubi distribuzione + pannelli radianti + PV
	EEM24	EEM1	
	EEM25	EEM3	
Pacchetto 6	EEM26	RB	caldaia condensazione + valvole termostatiche + isolamento tubi distribuzione + VM
	EEM27	EEM1	
	EEM28	EEM3	
Pacchetto 7	EEM29	RB	caldaia condensazione + isolamento tubi distribuzione + pannelli radianti + VM
	EEM30	EEM1	
	EEM31	EEM3	
Pacchetto 8	EEM32	RB	caldaia condensazione + valvole termostatiche + isolamento tubi distribuzione + PV + VM
	EEM33	EEM1	
	EEM34	EEM3	
Pacchetto 9	EEM35	RB	caldaia condensazione + isolamento tubi distribuzione + pannelli radianti + PV + VM
	EEM36	EEM1	
	EEM37	EEM3	

Si è deciso di non apportare modifiche all'impianto di produzione di acqua calda sanitaria. Pertanto nelle successive analisi economiche non è stato preso in considerazione, né dal punto di vista del costo dell'energia derivante dai relativi consumi né per ciò che riguarda costi di sostituzione e di manutenzione.

Non si sono apportate misure di efficientamento neanche all'impianto d'illuminazione ed a quello relativo agli usi elettrici obbligati; i consumi, e i relativi costi (conteggiati nel calcolo del costo globale), di queste due utenze sono stati considerati diminuiti della quota di autoconsumo coperta dall'energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico.

Il modello termoenergetico

La modellizzazione dell'edificio all'interno del codice di calcolo ha richiesto una serie di semplificazioni, in particolare a livello geometrico. L'edificio è stato suddiviso in 12 zone termiche riscaldate e 4 zone non

riscaldare, costituite dai due vani scala, dal sottotetto e dal piano interrato (Figura 2.33). Nello specifico, in considerazione delle medesime condizioni al contorno, i due piani intermedi, il 2° e 3°, sono stati unificati al fine di semplificare il modello termoen energetico.

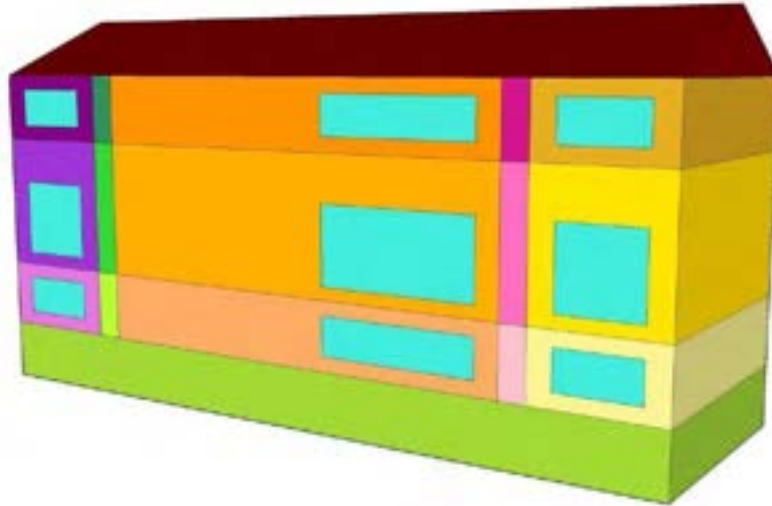


Figura 2.33. Modellizzazione dell'edificio residenziale.

In merito alla definizione dei profili di utilizzo dell'edificio ed agli apporti interni gratuiti ad essi connessi, lo studio di TABULA non fornisce informazioni a riguardo, essendo l'analisi condotta basata sul metodo di calcolo quasi stazionario. La presente ricerca ha condotto invece un'analisi della prestazione energetica dell'edificio basata su simulazioni energetiche in regime dinamico tramite l'ausilio del codice di calcolo EnergyPlus, richiedendo pertanto un maggior grado di dettaglio nella definizione del modello del Reference Building. A tale proposito è stato utilizzato un indice di affollamento di 0,04 pers/m², in conformità con la norma UNI 10339 [18]. I carichi interni relativi all'illuminazione ed all'utilizzo di apparecchiature elettriche sono rispettivamente pari a 5,35 W/m² e 8 W/m². Tali valori sono associati ad appositi profili di utilizzo ed occupazione estratti dal modello di Reference Building del Department of Energy (DOE) degli Stati Uniti per edifici multi-familiari, noto come Mid-rise apartment, adeguatamente contestualizzato alle abitudini del nostro Paese [33].

L'impianto è stato considerato in funzione durante il periodo di riscaldamento dal 15 Ottobre al 15 Aprile in conformità con l'UNI/TS 11300-1 [16]. La temperatura di progetto dell'ambiente interno è fissata a 21°C dalle ore 07:00 alle ore 22:00, ed a 18°C nelle restanti ore. La ventilazione è assunta come naturale con un tasso di ricambio pari a 0,5 vol/ora.

La Figura 2.34 riporta le principali assunzioni fatte nella modellizzazione.

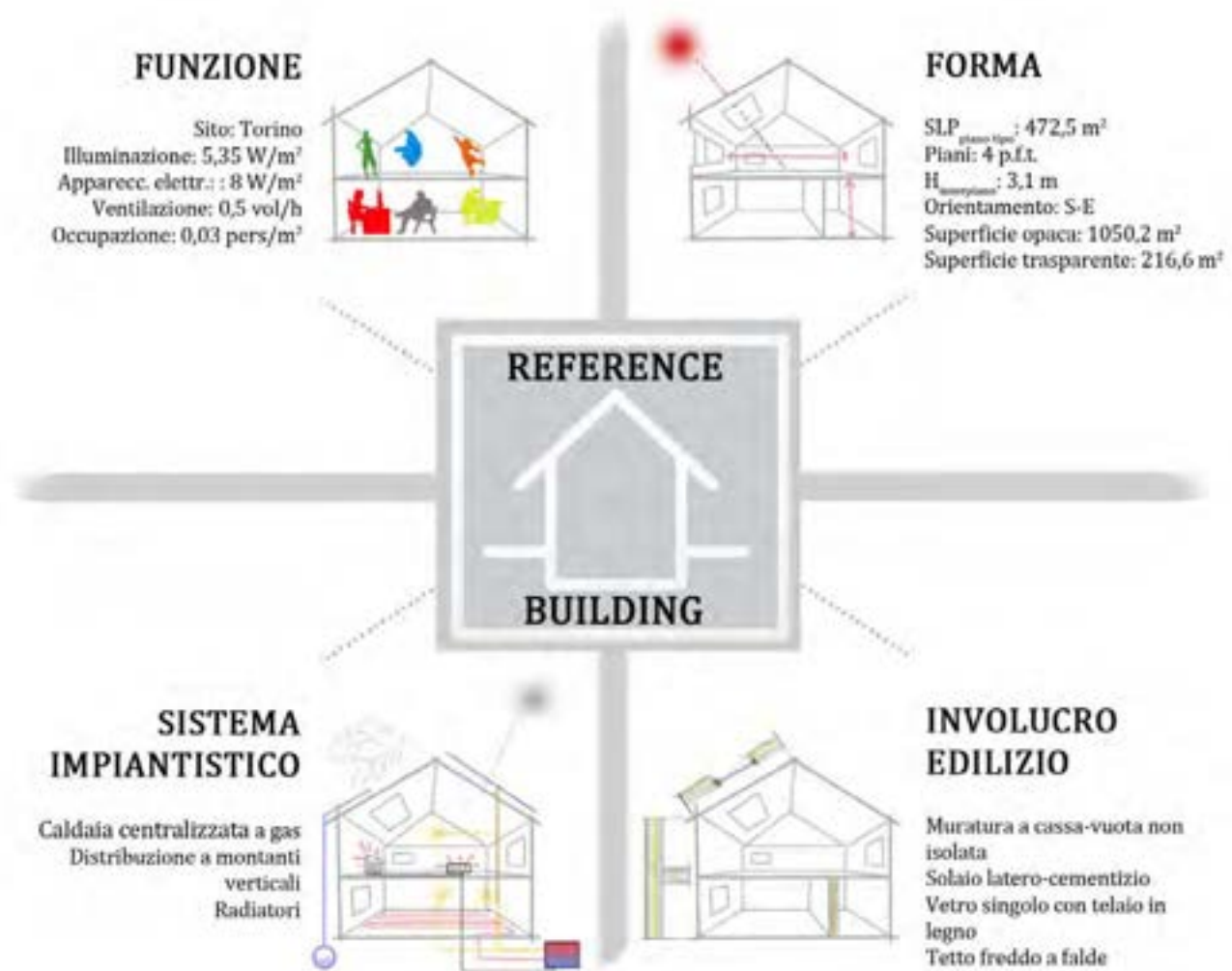


Figura 2.34. Caratteristiche del *Reference Building*.

I consumi energetici

Di seguito si riportano i consumi di energia primaria relativi alle ipotesi di riqualificazione riguardanti l'involucro edilizio, vale a dire le prime 10 EEM. Il fabbisogno di energia per riscaldamento prende in considerazione il rendimento dell'impianto e l'impiego del metano come combustibile. I consumi di energia elettrica sono costituiti dall'energia relativa all'illuminazione ed agli usi elettrici obbligati. Il fattore di conversione in energia primaria per il gas metano è stato fissato pari a 1, mentre quello per l'energia elettrica è pari a 2.1748, secondo la Delibera dell'Autorità per l'Energia Elettrica e Gas.

Le caratteristiche degli impianti a servizio dell'edificio si mantengono inalterate per tutte le dieci EEM e sono le medesime del *Reference Building*. Come si evince dalla Figura 2.35, i consumi di energia elettrica sono invariati in tutte le ipotesi di intervento in quando i carichi interni sono costanti e non sono stati presi in considerazione interventi di controllo dell'illuminazione né di efficientamento delle apparecchiature elettriche impiegate nel *Reference Building*.

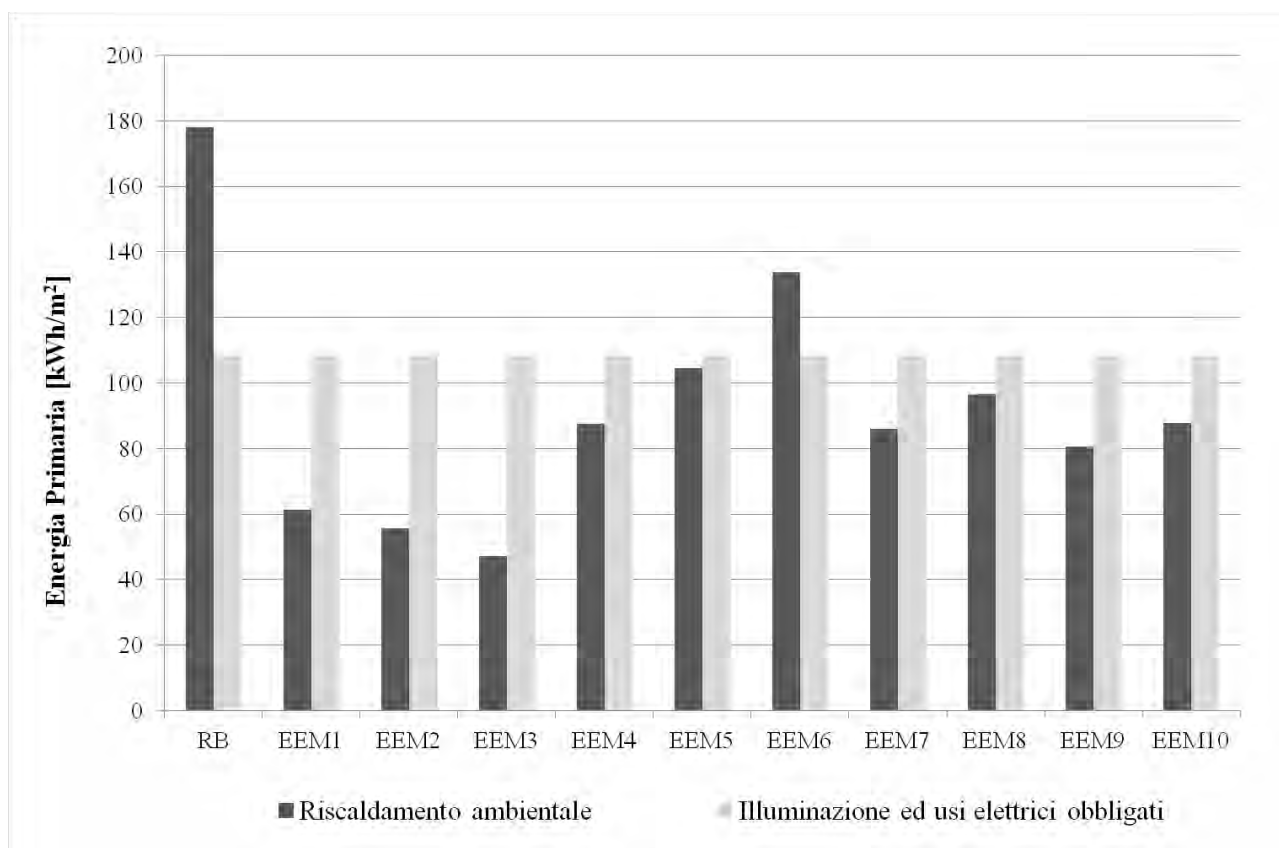


Figura 2.35. Consumi energetici annuali.

Dalle prime tre ipotesi omogenee di intervento, EEM1, EEM2 e EEM3 si può constatare come all’aumentare dell’isolamento termico dei componenti di involucro corrisponda una riduzione dei fabbisogni di energia primaria, rispettivamente pari al 65%, 69% e 73% rispetto al Reference Building. In particolare l’EEM3, caratterizzata da trasmittanze termiche molto basse, richiede il minor consumo di energia primaria tra tutte le 10 ipotesi di riqualificazione dell’involucro edilizio.

Tra gli interventi non omogenei, l’ipotesi con il consumo maggiore è la EEM6, che prevede la sola sostituzione dei serramenti a livello “vigente” ed un risparmio a livello energetico del 24%. Le ipotesi EEM4, EEM7 e EEM9 si caratterizzano per valori affini di consumi energetici, con un risparmio energetico conseguibile pari rispettivamente al 51%, 52% e 54%. Tutte e tre le ipotesi prevedono, infatti, la riqualificazione dei componenti verticali opachi e trasparenti dell’involucro ai tre livelli di trasmittanza termica in precedenza citati.

Per quanto riguarda la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, il 14% dell’energia prodotta in situ dall’impianto viene immessa in rete; mentre la percentuale di autoconsumo è pari all’86%. Per calcolare tale percentuale è stato simulato con EnergyPlus il fabbisogno orario di energia elettrica dell’edificio e la produzione oraria dell’impianto fotovoltaico: in tal modo è stato poi possibile determinare la percentuale di copertura del fabbisogno fornita dall’impianto. Nella Tabella 2.63 vengono riportati i dati di produzione relativi all’impianto fotovoltaico.

Tabella 2.63. Dati relativi all'impianto fotovoltaico.

Energia elettrica richiesta (illuminazione, usi elettrici obbligati, ausiliari impianto di riscaldamento)	69.013	kWh/anno
Energia elettrica prodotta da PV	26.118	kWh/anno
Energia elettrica immessa in rete	3.595	kWh/anno
Energia elettrica prelevata dalla rete	46.475	kWh/anno
Energia elettrica autoconsumata	22.522	kWh/anno

La valutazione economica

In Figura 2.36 viene riportato il grafico del costo globale in funzione dei consumi di energia primaria relativo al caso residenziale. Nella quota di energia primaria riportata in ascisse sono compresi i consumi per il riscaldamento ambientale, per gli ausiliari elettrici dell'impianto di riscaldamento, per l'illuminazione e per gli usi elettrici obbligati.

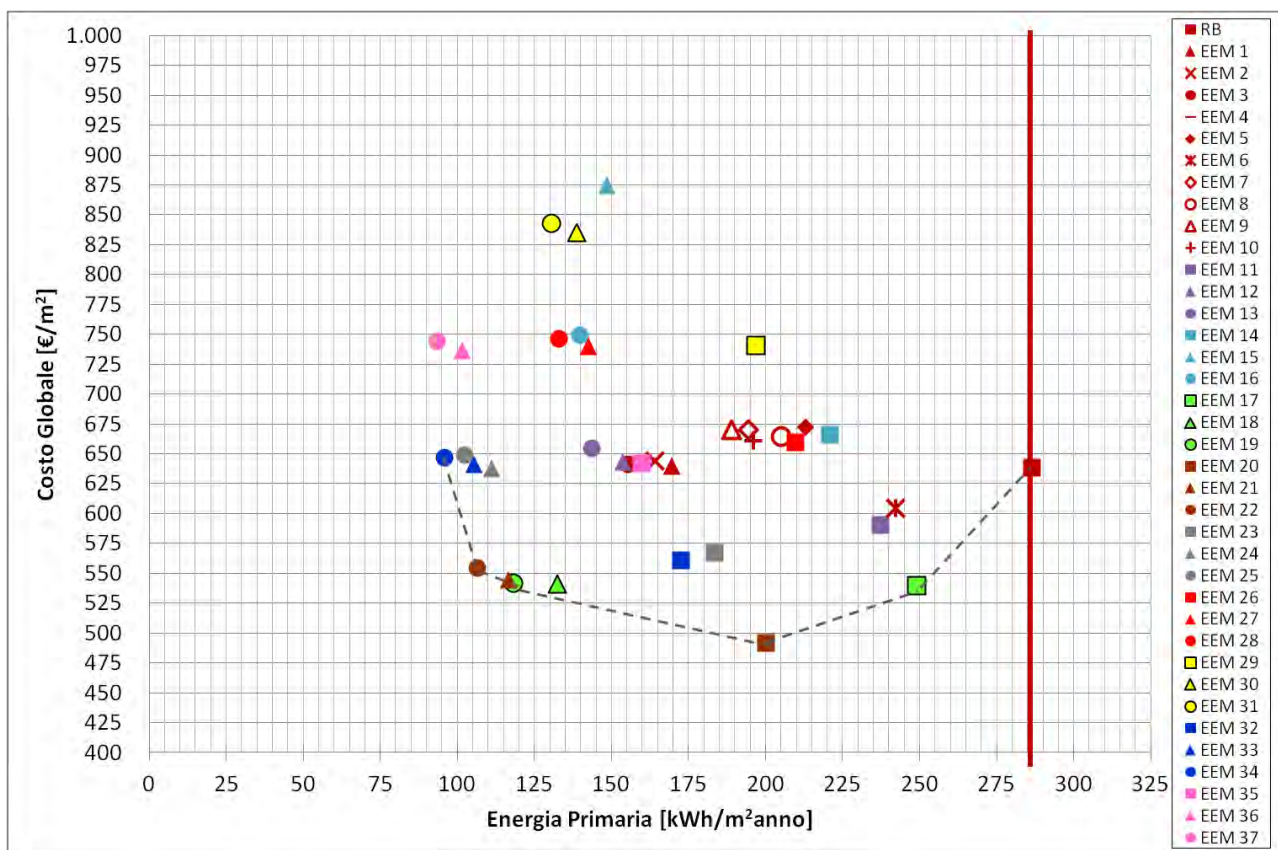


Figura 2.36. Grafico del costo globale del Reference Building e delle differenti EEMs espresso in funzione del consumo di energia primaria (grande condominio).

Le misure di efficientamento consentono di risparmiare in termini assoluti di energia primaria da 37 kWh/m²/anno (EEM 17; 593 €/m²) a 193 kWh/m²/anno (EEM 37; 744 €/m²); in termini percentuali il risparmio è compreso tra il 13 e il 67%. Il minimo risparmio in termini di energia primaria si ottiene con la EEM 17 che prevede la sola installazione dell'impianto fotovoltaico sul tetto del Reference Building. Il minimo valore di consumo è rappresentato dalla misura EEM37, che prevede un efficientamento a livello di involucro molto elevato (con trasmittanze inferiori al livello "convenzionato") e l'applicazione di tutte le misure impiantistiche ipotizzate.

Per quanto riguarda i costi globali si evidenzia dal grafico che le diverse misure di efficientamento presentano valori sia inferiori sia superiori rispetto a quello del *Reference Building*. I valori di costo globale maggiore sono determinati dal fatto che le spese d'investimento per i diversi tipi di intervento non riescono ad essere ripagate dai risparmi economici legati ai risparmi energetici ottenuti, come si può notare dal grafico di Figura 2.37 riportante per ognuna delle EEMs le singole voci di costo attualizzate.

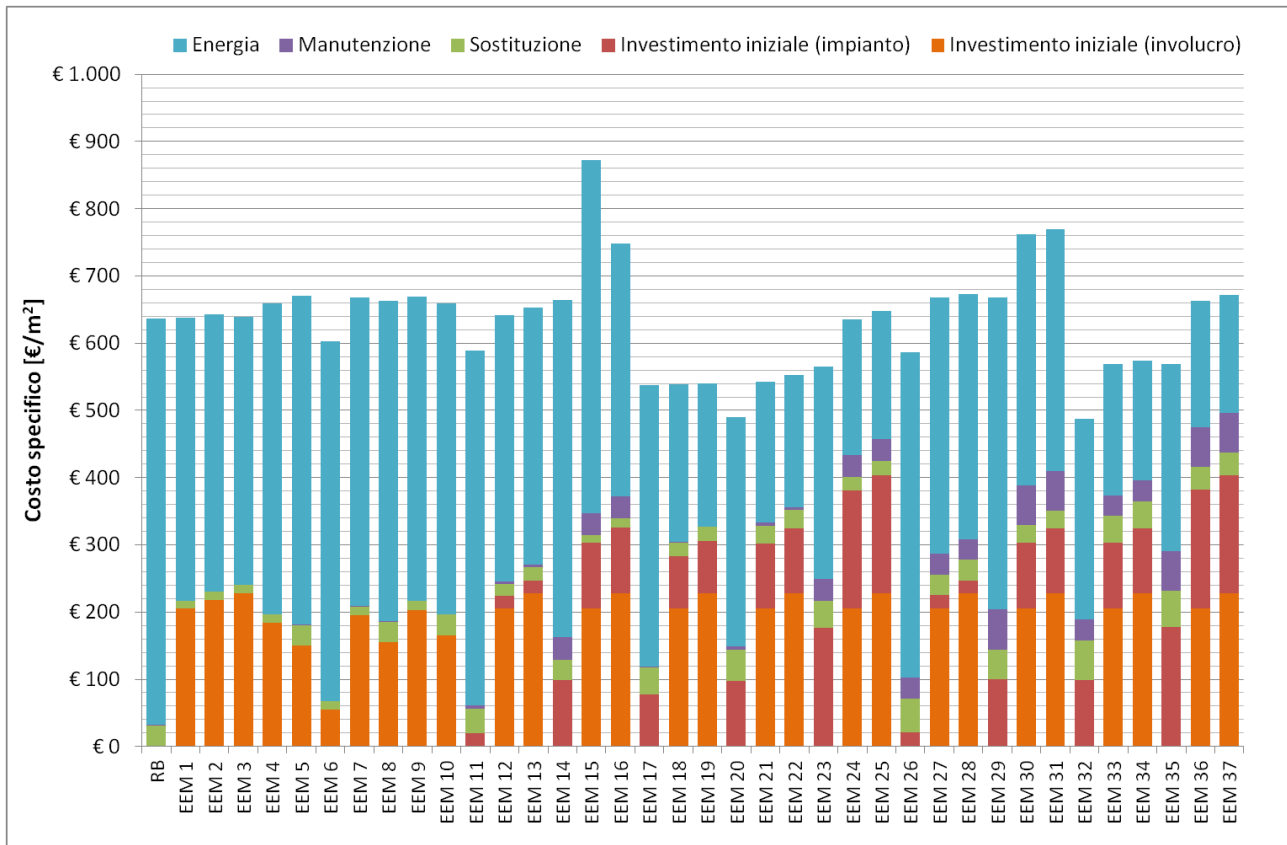


Figura 2.37. Grafico riportante la suddivisione dei costi per il *Reference Building* e per le diverse EEMs (grande condominio).

Da Figura 2.37 è possibile osservare che il maggior valore di costo globale è rappresentato dalla EEM 15 (148 kWh/m²anno; 874 €/m²) che è costituita dall'isolamento dell'intero involucro edilizio a livello "vigente", dalla sostituzione della caldaia esistente con quella a condensazione, dall'isolamento delle tubazioni dell'impianto di distribuzione e dall'installazione dei pannelli radianti.

Ci sono inoltre diverse EEMs che presentano un valore di costo globale molto vicino a quello minimo, rappresentato dalla EEM20 (200 kWh/m²anno; 492 €/m²). Tale misura di efficientamento non prevede nessun efficientamento a livello di involucro edilizio, ma solo misure a livello impiantistico, ed in particolare, ipotizza la sostituzione della caldaia esistente con quella a condensazione, l'inserimento delle valvole termostatiche, l'isolamento delle tubazioni dell'impianto di distribuzione e l'installazione dell'impianto fotovoltaico sul tetto. Infatti, la EEM 18 (132 kWh/m²anno; 541 €/m²), la EEM 19 (118 kWh/m²anno; 542 €/m²), la EEM 21 (117 kWh/m²anno; 545 €/m²) e la EEM 22 (106 kWh/m²anno; 554 €/m²) presentano valori di costo globale pressoché uguali, associati ad un risparmio in termini di energia primaria compreso tra il 54 e il 63% rispetto al *Reference Building*. In particolare, esse prevedono un incremento dell'isolamento dell'intero involucro a livello "vigente" (EEM 18 e EEM 21) e a livello "avanzato" (EEM 19 e EEM 22), mentre a livello impiantistico sono tutte caratterizzate dall'installazione dell'impianto fotovoltaico e, nel caso della EEM 21 e della EEM22, prevedono la sostituzione della caldaia esistente con

quella a condensazione, l'inserimento delle valvole termostatiche e l'isolamento delle tubazioni dell'impianto di distribuzione.

2.4.2 LA COST OPTIMAL METHODOLOGY APPLICATA ALL'EDIFICIO PER UFFICI

Le misure di efficientamento energetico

Essendo l'edificio stato simulato in zona climatica E (Torino), le misure di efficientamento sono state definite nel rispetto della normativa regionale piemontese sul risparmio energetico. Nello specifico le misure sono state in prima istanza finalizzate al miglioramento della prestazione dell'involucro edilizio, e successivamente all'incremento dell'efficienza del sistema impiantistico ed alla produzione in situ di energia da fonti rinnovabili.

In particolare le prime 12 misure di efficientamento sono state organizzate in funzione di tre livelli di miglioramento della trasmittanza termica dei componenti edilizi. I livelli EEM1 e EEM2 sono stati rispettivamente definiti, in maniera analoga al caso studio residenziale, in conformità col livello "vigente" e "convenzionato" dell'allegato 3 della Delibera n.46-11968 del 4 Agosto 2009 della Regione Piemonte [7]. Il livello EEM3 "incentivato" è invece stato definito nel rispetto dell'Allegato energetico-ambientale al regolamento edilizio della città di Torino e caratterizzato da trasmittanze termiche molto basse al fine di ridurre fortemente il fabbisogno per riscaldamento ambientale dell'edificio [8]. Le misure sono state infine distinte in ipotesi di efficientamento di tipo omogeneo (EEM1, EEM2 e EEM3) e di tipo disomogeneo (dalla EEM4 alla EEM10): le prime prevedono l'incremento dell'isolamento termico dell'intero involucro edilizio mentre le seconde sono applicate solamente a singoli/combinati componenti dello stesso. In Tabella 2.64 sono riportate le misure di efficientamento a livello dell'involucro edilizio.

Tabella 2.64. Misure di efficientamento energetico applicate all’involucro edilizio.

Tipologia: EDIFICIO AD USO UFFICIO					
Epoca: 1976-1991					
EEM (Energy Efficiency Measure)		U [W/m ² K]			
		Pareti	Finestre	Tetto	Solaio inferiore
RB		0,75	3,19	0,81	1,45
INTERVENTI OMOGENEI	EEM1	0,33	2,00	0,29	0,30
	EEM2	0,24	1,50	0,22	0,26
	EEM3	0,14	1,20	0,15	0,16
INTERVENTI DISOMOGENEI	EEM4	0,75	2,00	0,81	1,45
	EEM5	0,75	3,19	0,29	0,30
	EEM6	0,33	2,00	0,81	1,45
	EEM7	0,75	1,5	0,81	1,45
	EEM8	0,75	3,19	0,22	0,26
	EEM9	0,24	1,50	0,81	1,45
	EEM10	0,75	1,2	0,81	1,45
	EEM11	0,75	3,19	0,15	0,16
	EEM12	0,14	1,2	0,81	1,45

Successivamente, per l’applicazione degli interventi di efficientamento a livello impiantistico, sono stati selezionati oltre al *Reference Building*, l’EEM3 e l’EEM8 in quanto rappresentativi della miglior combinazione tra il minor consumo energetico e il minor costo globale.

Le misure di riqualificazione a livello impiantistico considerate riguardano l’installazione di sistemi di controllo dell’illuminazione artificiale attraverso il posizionamento di sensori di misura dell’illuminamento sul piano di lavoro e la realizzazione di un impianto fotovoltaico sulla copertura piana. In particolare sono state definite tre differenti configurazioni dell’impianto fotovoltaico, definite come segue:

- installazione dell’impianto sulla totalità della superficie di copertura (38 kW_p);
- installazione dell’impianto su ½ della superficie di copertura (21 kW_p);
- installazione dell’impianto su ¼ della superficie di copertura (11 kW_p).

Le singole misure di riqualificazione sono state in seguito combinate tra loro al fine di formare sette diversi pacchetti di intervento, riportati di seguito.

Il primo pacchetto di interventi (da EEM13 a EEM15) ha previsto l’inserimento di sistemi di controllo dell’illuminazione artificiale (artificial lighting control –ALC).

Il secondo pacchetto di interventi (EEM16) si contraddistingue per l’installazione dell’impianto fotovoltaico (PV:100%) sulla totalità della superficie di copertura sul Reference Building.

Il terzo pacchetto di interventi (EEM17) ha previsto l'installazione dell'impianto fotovoltaico (PV:50%) sulla ½ della superficie di copertura sul Reference Building.

Il quarto pacchetto di interventi (EEM18) ha previsto l'installazione dell'impianto fotovoltaico (PV:25%) sulla ¼ della superficie di copertura sul Reference Building.

Il quinto pacchetto di interventi (EEM19, EEM20) ha previsto la combinazione delle misure del primo e del secondo pacchetto.

Il sesto pacchetto di interventi (EEM21, EEM22) ha previsto l'applicazione delle misure del primo pacchetto combinate con le misure del terzo pacchetto.

Il settimo pacchetto di interventi (EEM23, EEM24) ha previsto l'applicazione delle misure del primo pacchetto combinate con le misure del quarto pacchetto.

Di seguito in Tabella 2.65 vengono riassunti i diversi pacchetti di efficientamento energetico applicati al *Reference Building*, all'EEM3 e all'EEM8. Nella colonna denominata "EEM di applicazione" viene riportato il caso a cui vengono applicate le misure di efficientamento, mentre nella colonna denominata "ID EEM" viene indicato l'identificativo con cui ci si riferirà all'intervento.

Tabella 2.65. Misure impiantistiche di efficientamento energetico.

Tipologia: EDIFICIO AD USO UFFICIO			
Epoca: 1976-1991			
ID Pacchetto	ID EEM	EEM di applicazione	Descrizione EEM
Pacchetto 1	EEM13	RB	ALC
	EEM14	EEM3	
	EEM15	EEM8	
Pacchetto 2	EEM16	RB	PV: 100%
Pacchetto 3	EEM17	RB	PV: 50%
Pacchetto 4	EEM18	RB	PV: 25%
Pacchetto 5	EEM19	RB	ALC + PV:100%
	EEM20	EEM3	
Pacchetto 6	EEM21	RB	ALC + PV:50%
	EEM22	EEM3	
Pacchetto 7	EEM23	RB	ALC + PV:25%
	EEM24	EEM3	

Il modello termoenergetico

Il processo di modellazione dell'edificio, in particolare a livello geometrico, ha richiesto alcune semplificazioni per la definizione dello stesso edificio all'interno del programma di simulazione dinamica. Nello specifico a livello geometrico ciascun piano dell'edificio è stato diviso in 5 zone termiche (una centrale e quattro perimetrali) per un totale di 25 zone termiche riscaldate ed una zona non riscaldata costituita dal piano interrato (Figura 2.38). Le partizioni interne, divisorie dei singoli uffici, non state modellate geometricamente ma inserite all'interno del modello come massa interna.



Figura 2.38. Piano tipo dell'edificio per uffici con la suddivisione in zone termiche.

I profili di utilizzo e gli apporti interni gratuiti ad essi connessi sono stati applicati al modello in funzione con la destinazione d'uso dell'edificio. A tale proposito è stato utilizzato un indice di affollamento per gli uffici a cellula di $0,06 \text{ pers/m}^2$, in conformità con la norma UNI 10339 [18]. I carichi interni relativi all'illuminazione ed all'utilizzo di apparecchiature elettriche sono stati inoltre distinti per ambienti ad uso ufficio e per zone di distribuzione e servizio. Gli apporti relativi all'illuminazione sono stati quindi fissati pari a 13 W/m^2 per gli uffici e 7 W/m^2 per le zone di servizio. In maniera analoga i carichi interni relativi all'utilizzo di apparecchiature elettriche sono pari a 10 W/m^2 per gli uffici e $2,9 \text{ W/m}^2$ per le zone di servizio. Tali valori sono associati ad appositi profili di utilizzo ed occupazione opportunamente definiti in funzione della destinazione d'uso dell'edificio. In particolare il profilo di occupazione dell'edificio è stato estratto dalla norma europea EN 15232 su sistemi di automazione e controllo applicati all'edificio [19]. Il profilo di utilizzo dell'illuminazione è stato definito sulla base di un algoritmo "Lightswitch-2002" che, su base probabilistica, stima l'utilizzo dell'illuminazione artificiale in ambienti di tipo ufficio [32]. Infine per quanto concerne l'impiego di apparecchiature elettriche, il relativo profilo è stato estratto dal modello di riferimento di edifici per uffici di medie dimensioni (Reference Building Medium Office) sviluppato dai laboratori di ricerca del Dipartimento di Energia Statunitense [33].

Per quanto riguarda il controllo della radiazione solare, l'attivazione delle schermature solari è stata fissata per valori della radiazione solare, incidente sulla superficie trasparente di ciascuna finestra, superiori a 300 W/m^2 . Il controllo dell'illuminazione artificiale, con una regolazione on/off, è effettuato attraverso la misura in ciascuna zona termica dell'illuminamento dovuto alla luce naturale sul piano di lavoro.

Essendo stato l'edificio simulato in zona climatica E, l'impianto di riscaldamento, in conformità con l'UNI/TS 11300-1, è stato considerato in funzione durante il periodo dal 15 Ottobre al 15 Aprile [16]. A causa degli elevati carichi dovuti agli apporti interni gratuiti, si è scelto di mantenere attivo l'impianto di raffrescamento durante il rimanente periodo, dal 16 Aprile al 14 Ottobre. Durante i giorni feriali, la temperatura di progetto dell'ambiente interno dalle ore 05:00 alle ore 19:00 è fissata rispettivamente a $21,5^\circ\text{C}$ per il riscaldamento ed a 26°C per il raffrescamento. La ventilazione durante i giorni feriali è fissata con un tasso di ricambio pari a 11 l/s per persona [18].

In Figura 2.39 sono riportate le principali caratteristiche del *Reference Building*.

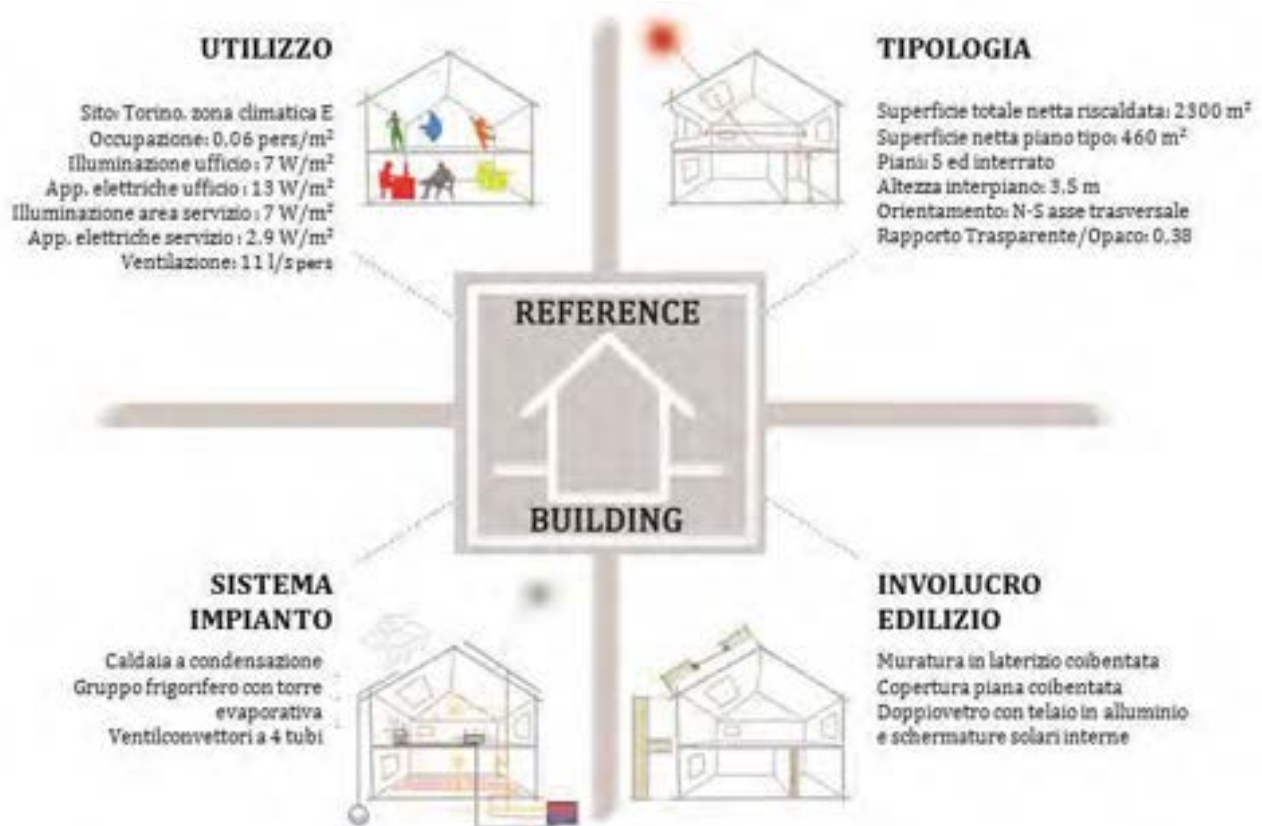


Figura 2.39. Caratteristiche del *Reference Building*.

I consumi energetici

Di seguito si riportano i consumi di energia primaria relativi alle ipotesi di riqualificazione riguardanti l'involucro edilizio (fino ad EEM12) e all'applicazione su alcune EEMs selezionate di sistemi di controllo dell'illuminazione artificiale (EEM13, EEM14 e EEM15). Ad esclusione del sistema di controllo di illuminazione artificiale, le altre caratteristiche impiantistiche si mantengono inalterate ed identiche a quelle del *Reference Building*. Il fabbisogno di energia per riscaldamento prende in considerazione il rendimento della caldaia a condensazione e l'impiego del metano come combustibile. Il fabbisogno di energia per il raffrescamento prende in considerazione l'efficienza del gruppo frigorifero e l'impiego dell'energia elettrica come vettore energetico.

Come si evince dalla Figura 2.40, i consumi di energia elettrica relativa all'illuminazione sono invariati nelle ipotesi di intervento fino alla EEM12 in quando i carichi interni sono costanti e non sono stati presi in considerazione interventi di controllo dell'illuminazione. Nelle EEM13, EEM14 e EEM15 si può invece notare, come a fronte di una riduzione dei consumi di energia elettrica per l'illuminazione si registri un incremento dei consumi per il riscaldamento dovuto ad una diminuzione dei carichi interni gratuiti relativi per l'appunto all'illuminazione artificiale.

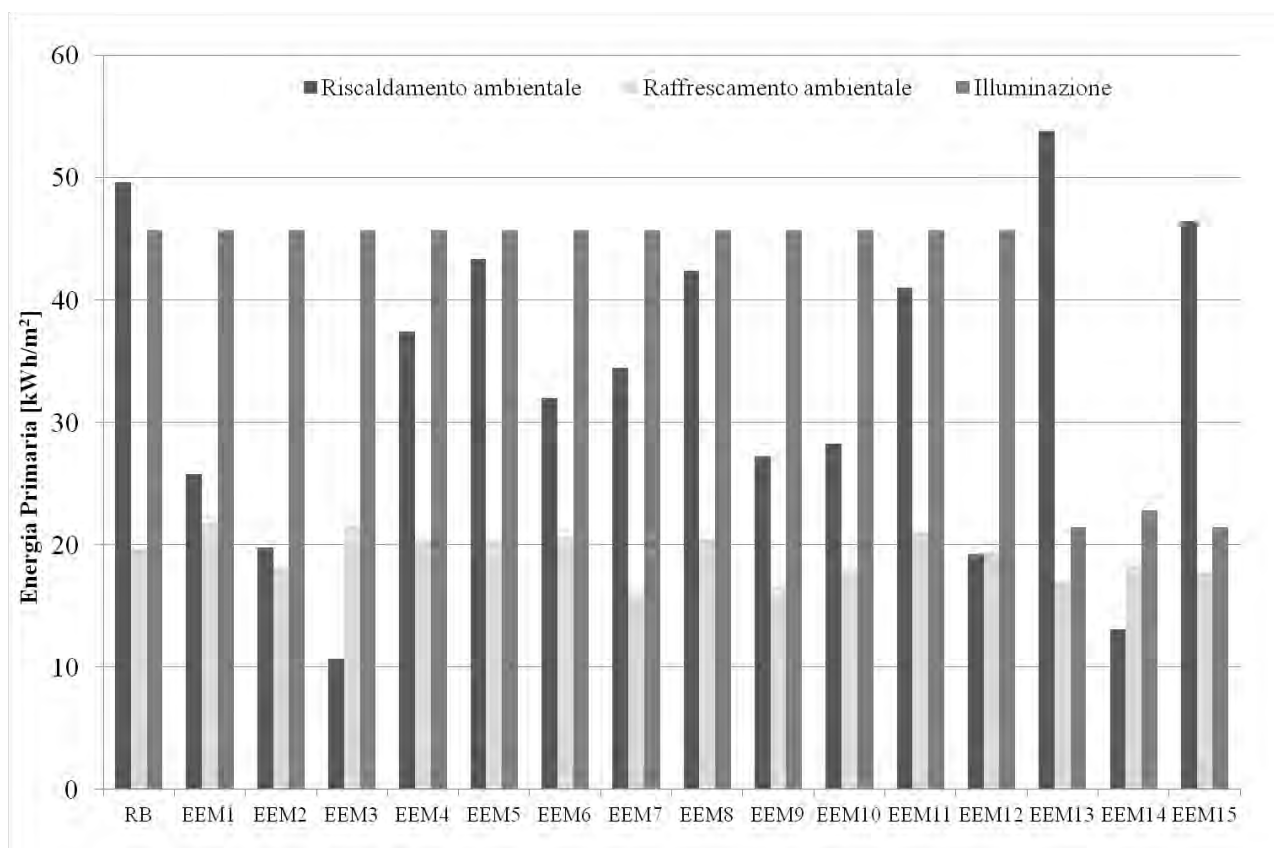


Figura 2.40. Consumi energetici annuali.

Dalle prime tre ipotesi omogenee di intervento, EEM1, EEM2 e EEM3 si registra rispetto al Reference Building una crescente riduzione dei consumi di energia primaria per riscaldamento ambientale proporzionale all'incremento dell'isolamento termico dei componenti edilizi. Il particolare il valore minimo di energia primaria per riscaldamento è raggiunto con l'EEM3, pari a circa 10 kWh/m² anno.

Tra gli interventi non omogenei, i due interventi per i quali si registrano consumi più elevati sono l'EEM5 e l'EEM8, che prevedono rispettivamente la sostituzione dei serramenti a livello "vigente" (EEM5) e l'incremento dell'isolamento della copertura e del solaio inferiore a livello "convenzionato" (EEM8). Nelle ipotesi EEM7, EEM9 e EEM10 si registrano invece le maggiori riduzioni dei consumi di energia per raffrescamento. Tutte e tre le ipotesi sono disomogenee. In particolare l'EEM7 e l'EEM10 prevedono la sostituzione dei serramenti rispettivamente a livello "convenzionato" ed a livello "incentivato". L'EEM9 riguarda invece la sostituzione dei serramenti e l'incremento dell'isolamento nella muratura verso l'esterno a livello "convenzionato".

Per ciò che riguarda le misure che prevedono l'inserimento del sistema di controllo dell'illuminazione artificiale (EEM13, 14 e 15) si registra in tutte e tre un incremento del consumo per riscaldamento e una diminuzione di quello per raffrescamento conseguenti alla diminuzione degli apporti gratuiti legati all'illuminazione.

La valutazione economica

In Figura 2.41 è riportato il grafico del costo globale in funzione dei consumi di energia primaria relativo al caso dell'edificio per uffici. Il consumo di energia primaria, riportato in ascisse, comprende quello per il riscaldamento e il raffrescamento ambientale, quello per gli ausiliari, quello per illuminazione e quello per le apparecchiature elettriche.

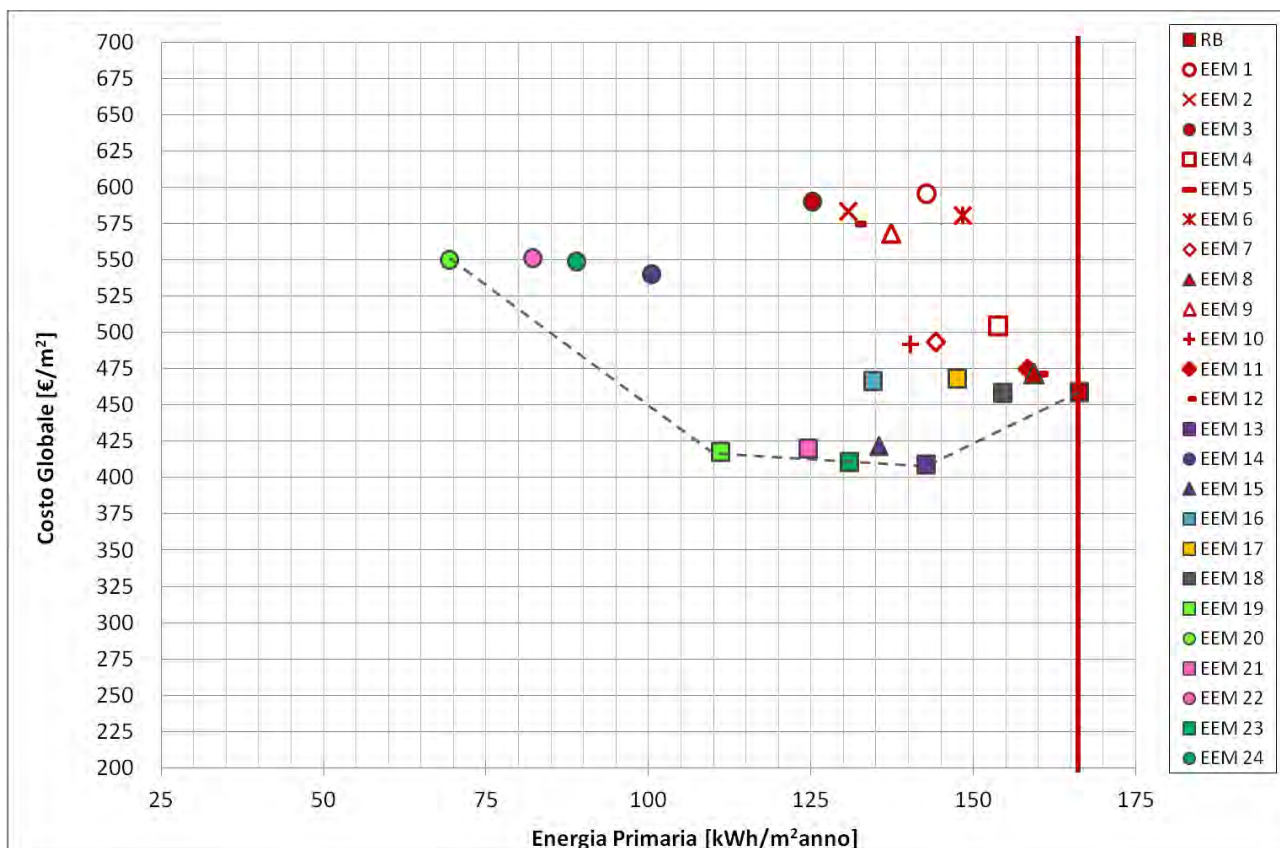


Figura 2.41. Grafico del costo globale del Reference Building e delle differenti EEMs espresso in funzione del consumo di energia primaria (edificio per uffici).

Le ipotesi di efficientamento illustrate portano a risparmi, in termini di energia primaria, in valore assoluto da un minimo di 6 kWh/m²anno (EEM5; 471 €/m²) ad un massimo di 97 kWh/m²anno (EEM20; 550 €/m²) ed in valore percentuale da un minimo del 4% ad un massimo del 58%. In particolare, le ipotesi EEM5, EEM8 e EEM11 raggiungono il minor risparmio energetico conseguibile, con un consumo energetico di circa 160 kWh/m²anno ed un costo globale di 472 €/m²; esse prevedono l'incremento dell'isolamento della copertura e del solaio inferiore a livello rispettivamente "vigente", "convenzionato" e "incentivato". Il minor consumo conseguibile è invece ottenuto con l'ipotesi EEM20, che prevede la combinazione del più alto livello di isolamento termico esteso a tutto l'involucro (livello "incentivato"), l'inserimento del controllo dell'illuminazione artificiale (ALC) e l'installazione di un impianto fotovoltaico su tutta la superficie di copertura dell'edificio.

Per quanto concerne il costo globale, indicato sull'asse delle ordinate, i due valori estremi sono rappresentati dalle ipotesi EEM1 e EEM13 rispettivamente con dei valori di 595 €/m² e di 409 €/m², e che presentano lo stesso valore di consumo energetico pari a 143 kWh/m²anno. L'ipotesi EEM1 è un intervento di tipo omogeneo mirato all'incremento dell'isolamento termico di tutto l'involucro edilizio in conformità con il livello "vigente". Le ipotesi EEM13, EEM15, EEM 19, EEM21 e EEM23 registrano circa lo stesso valore di costo globale, tra 409 e 421 kWh/m²anno. La EEM13 consiste nella sola applicazione del controllo dell'illuminazione artificiale all'interno degli ambienti, escludendo interventi di efficientamento a livello di involucro edilizio. La EEM15 riguarda l'incremento, a livello "convenzionato", dell'isolamento termico della copertura e del solaio inferiore dell'edificio e l'inserimento dell'ALC. Le EEM 19, EEM21 e EEM23 riguardano invece l'installazione di differenti configurazioni dell'impianto fotovoltaico e l'inserimento del ALC.

Inoltre, il valore del costo globale varia assumendo valori inferiori e superiori rispetto a quello del Reference Building. In particolare i primi indicano quella categoria di ipotesi di intervento, tipicamente le misure di efficientamento dell'involucro edilizio, che hanno degli elevati costi di investimento che non riescono ad

essere ripagati dal risparmio economico relativo alla diminuzione dei consumi energetici conseguibili (Figura 2.42). Le EEM con valori di costo globale inferiori al Reference Building invece sono tipicamente misure di efficientamento del sistema impiantistico dell'edificio.

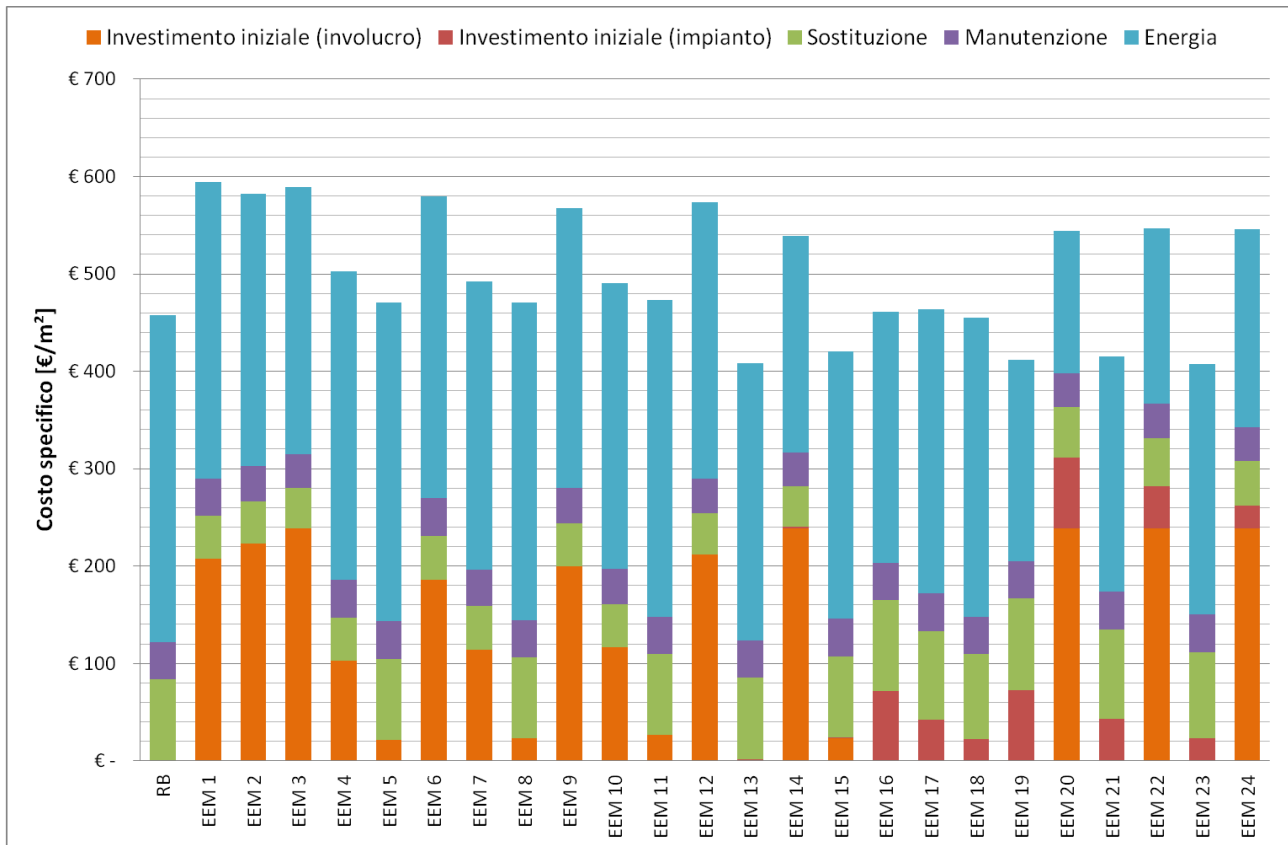


Figura 2.42. Grafico riportante la suddivisione dei costi per il Reference Building e per le diverse EEMs (edificio per uffici).

2.4.3 ANALISI DI SENSITIVITA'

A seguito delle analisi effettuate, seguendo le indicazioni delle Linee Guida a supporto del Regolamento **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** sono state effettuate alcune analisi di sensitività andando a variare il tasso di sconto, precedentemente assunto pari al 4%, e ponendolo pari al 3% e al 5%. In particolare, per l'edificio residenziale in Figura 2.43 e 2.44 sono riportati i grafici del costo globale e della suddivisione dei costi con un tasso di sconto pari al 3%, mentre in Figura 2.45 e 2.46 gli stessi grafici con un tasso di sconto pari al 5%.

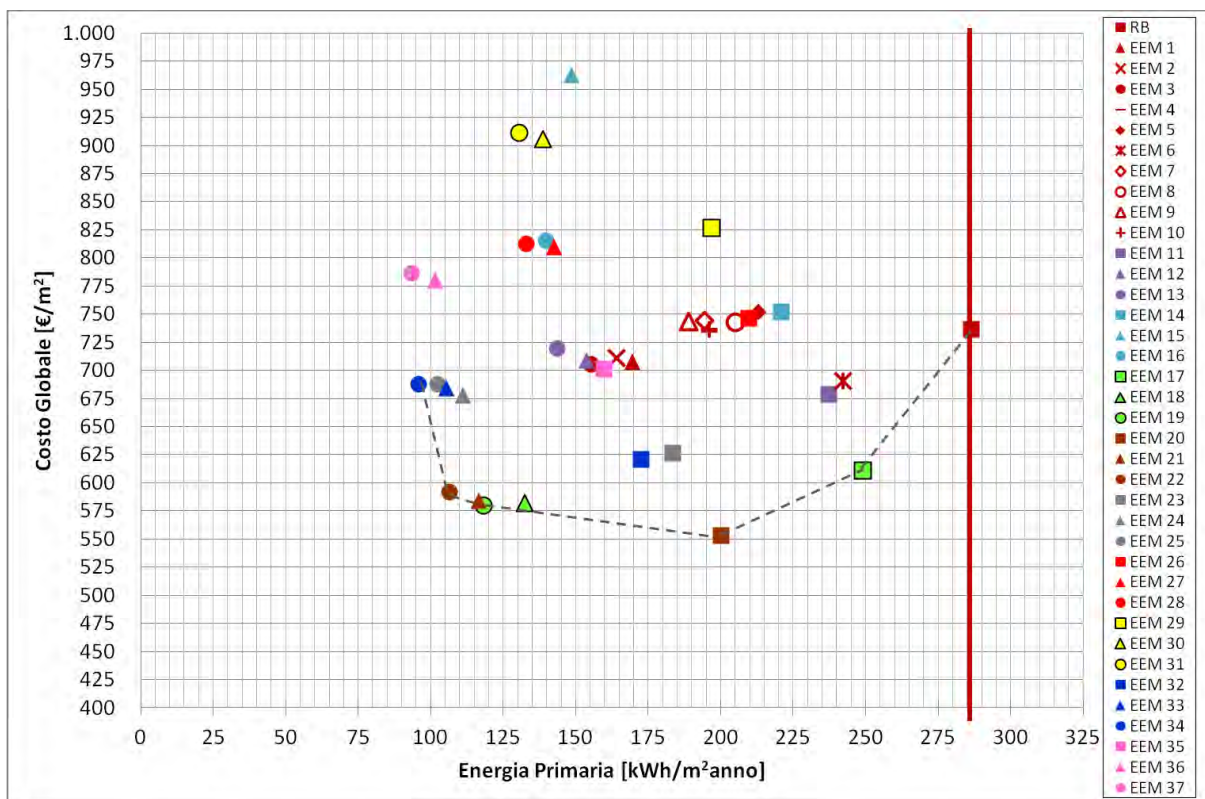


Figura 2.43. Grafico del costo globale del Reference Building e delle differenti EEMs con un tasso di sconto del 3% (grande condominio).

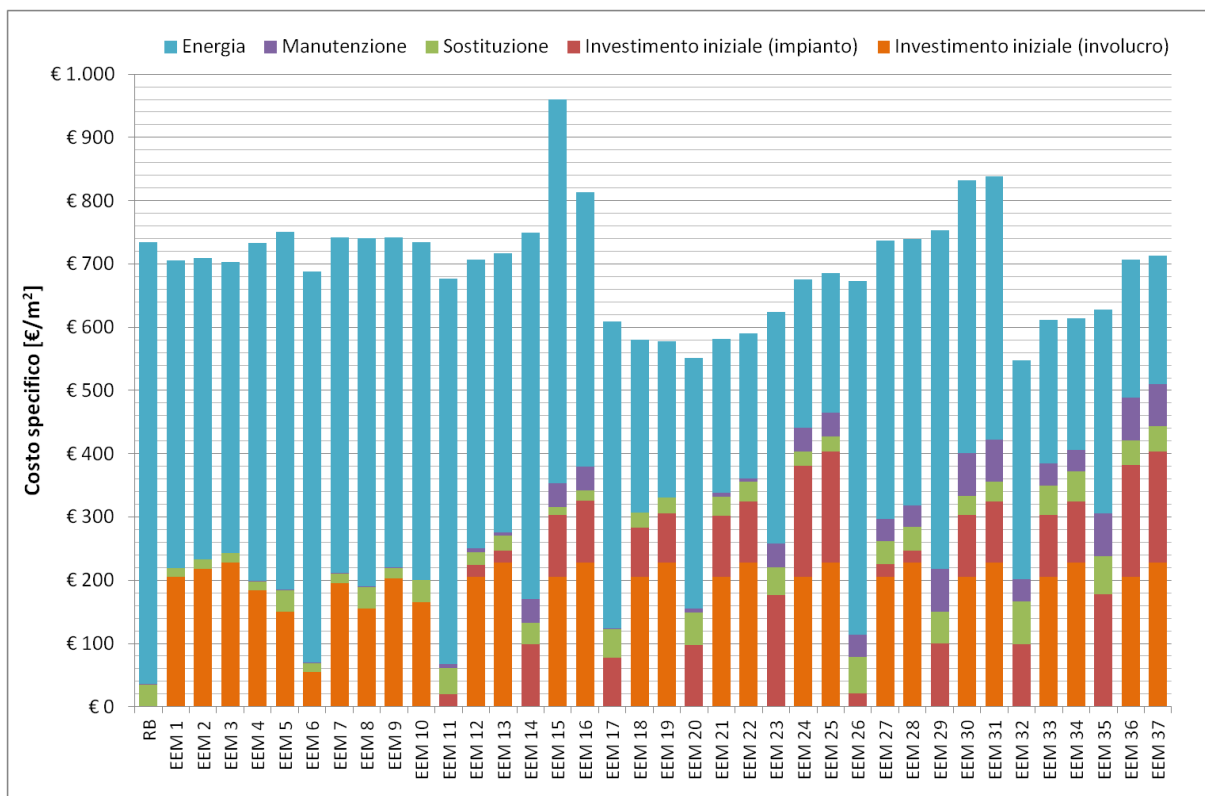


Figura 2.44. Grafico riportante la suddivisione dei costi per il Reference Building e per le diverse EEMs con un tasso di sconto del 3% (grande condominio).

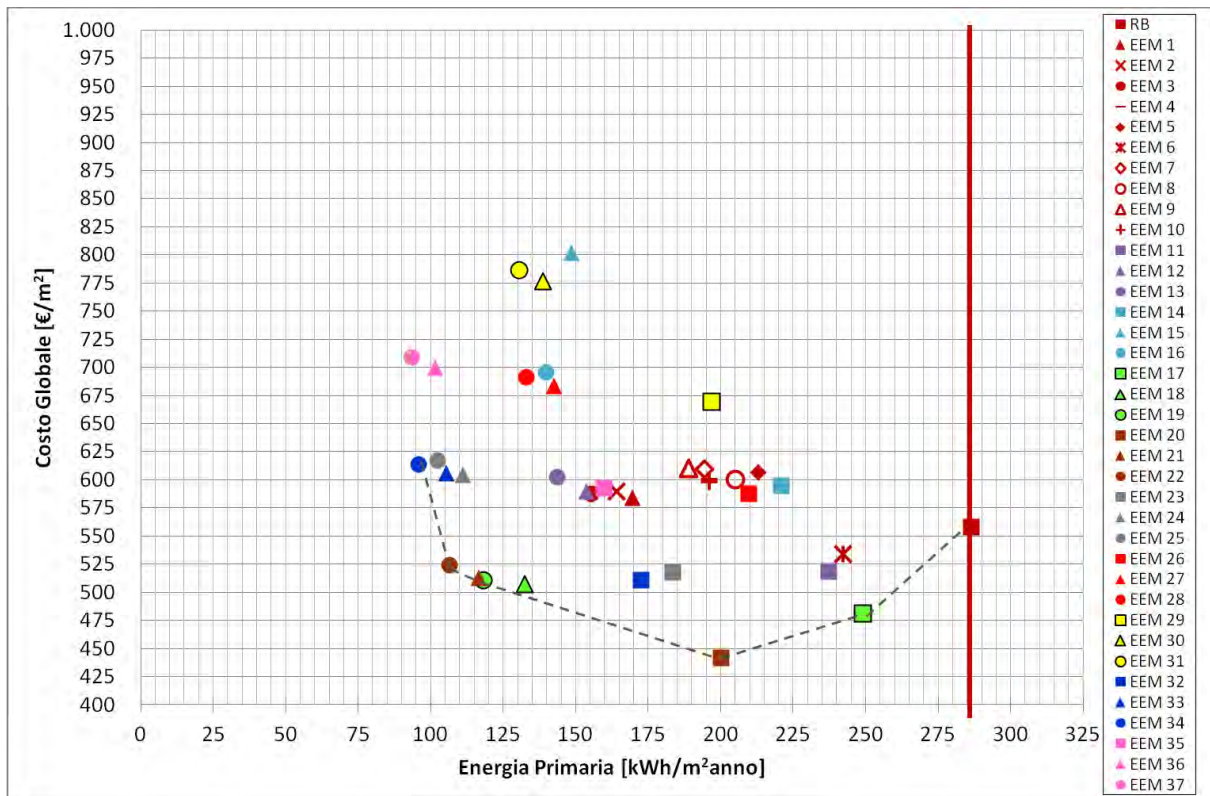


Figura 2.45. Grafico del costo globale del Reference Building e delle differenti EEMs con un tasso di sconto del 5% (grande condominio).

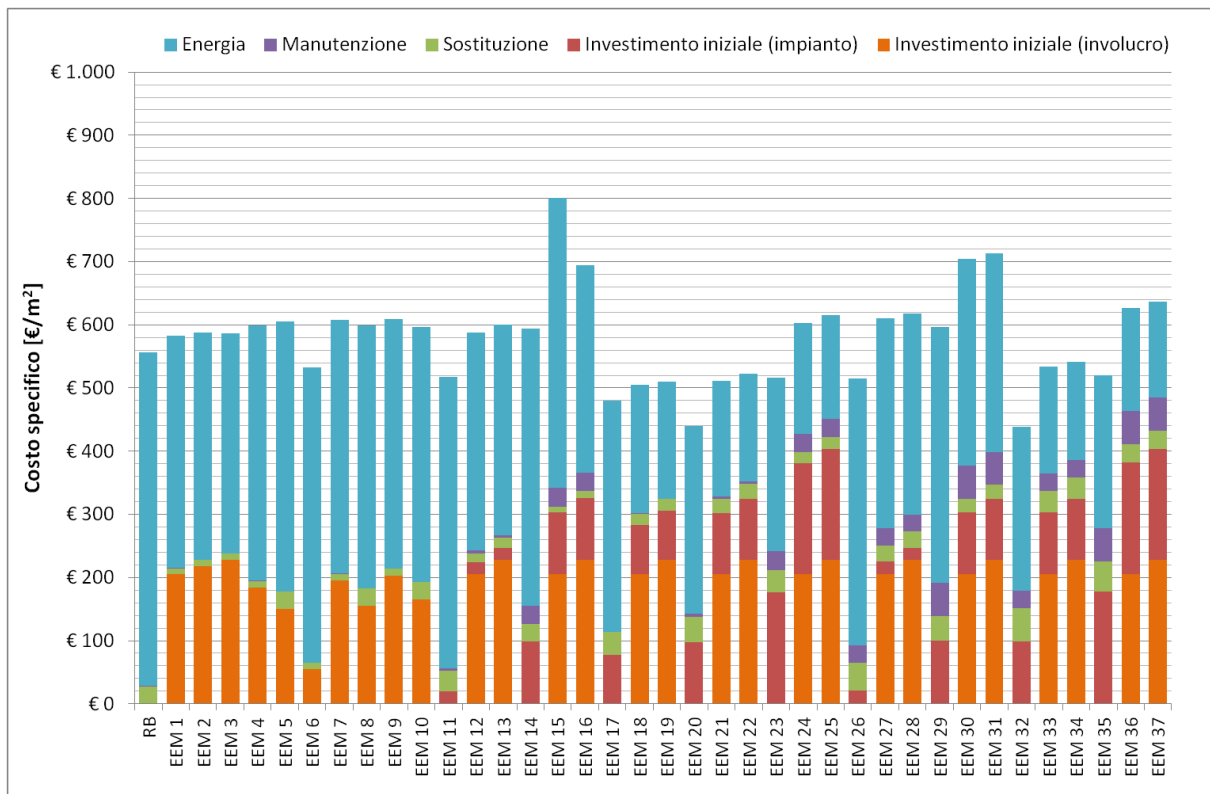


Figura 2.46. Grafico riportante la suddivisione dei costi per il Reference Building e per le diverse EEMs con un tasso di sconto del 5% (grande condominio).

Analogamente, per l'edificio per uffici in Figura 2.47 e 2.48 sono riportati i grafici del costo globale e della suddivisione dei costi con un tasso di sconto pari al 3%, mentre in Figura 2.49 e 2.50 gli stessi grafici con un tasso di sconto pari al 5%.

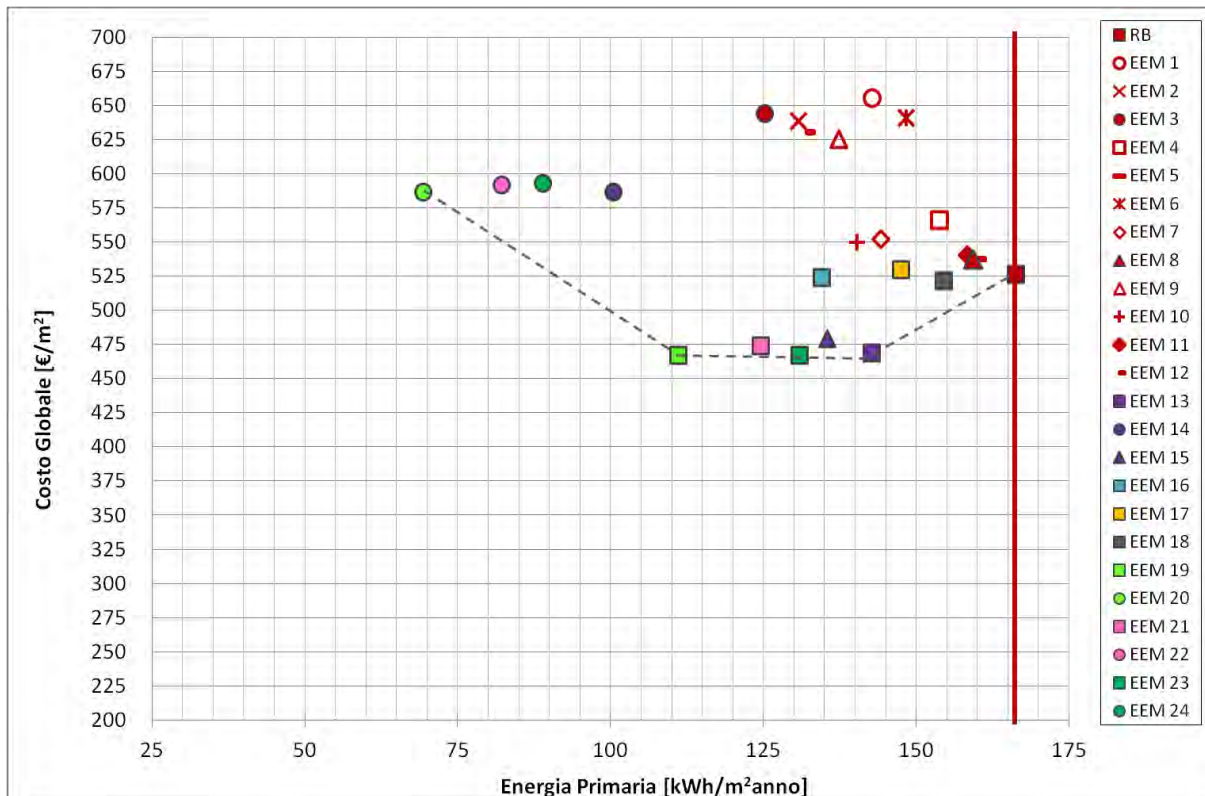


Figura 2.47. Grafico del costo globale del Reference Building e delle differenti EEMs con un tasso di sconto del 3% (edificio per uffici).

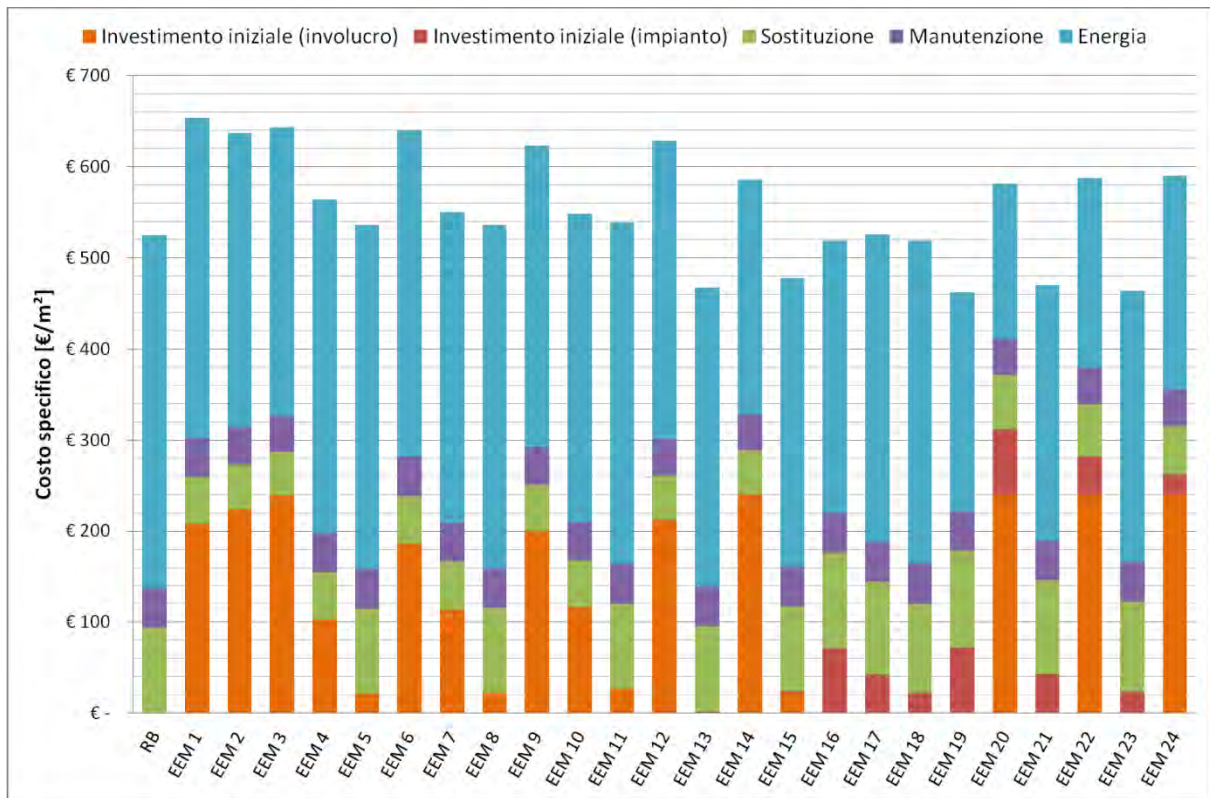


Figura 2.48. Grafico riportante la suddivisione dei costi per il Reference Building e per le diverse EEMs con un tasso di sconto del 3% (edificio per uffici).

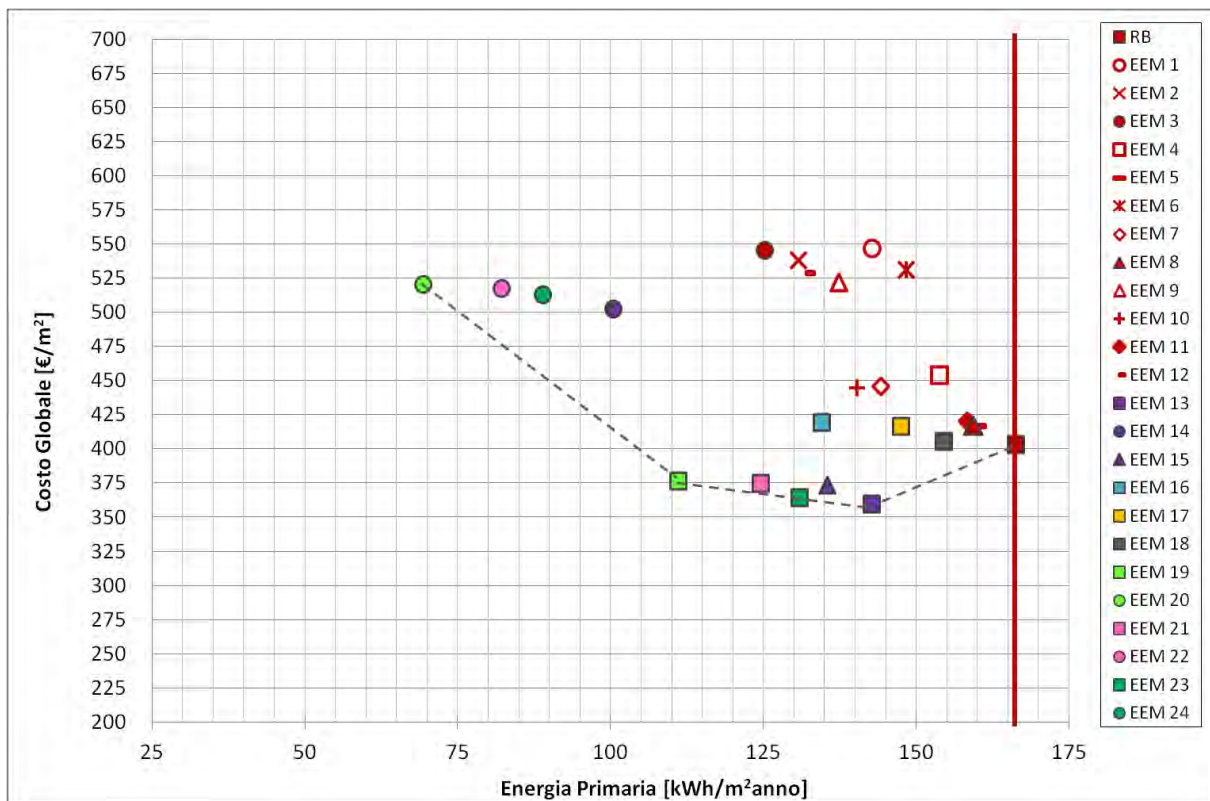


Figura 2.49. Grafico del costo globale del Reference Building e delle differenti EEMs con un tasso di sconto del 5% (edificio per uffici).

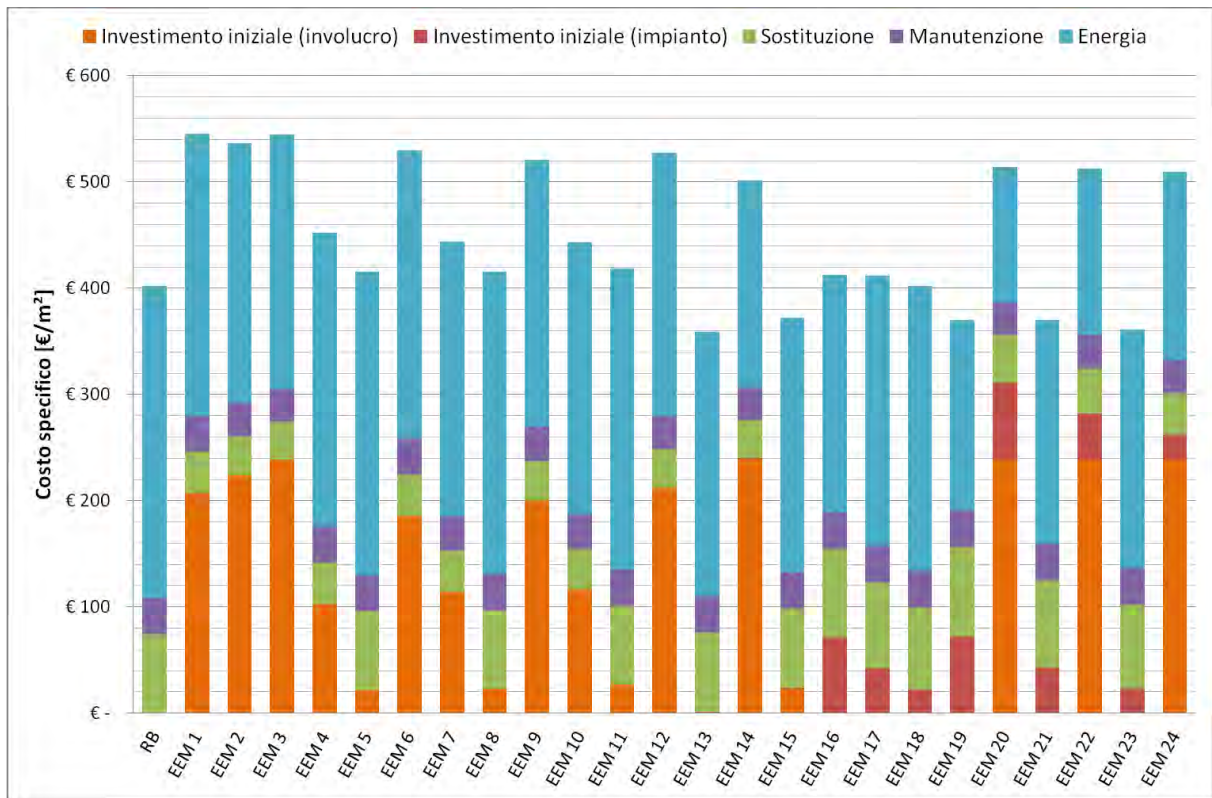


Figura 2.50. Grafico riportante la suddivisione dei costi per il Reference Building e per le diverse EEMs con un tasso di sconto del 5% (edificio per uffici).

3 Conclusioni

Il presente documento ha presentato il lavoro svolto ai fini dell'attività "Sviluppo della metodologia comparativa *cost-optimal* secondo la Direttiva 2010/31/UE" all'interno dell'accordo di programma MSE-ENEA stipulato con il Politecnico di Torino, nella figura del prof. Vincenzo Corrado.

L'attività ha previsto lo sviluppo di una metodologia per il calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica, nell'ambito del quadro metodologico definito dal Regolamento delegato UE N. 244/2012 della Commissione del 16 gennaio 2012 e dalle successive Linee Guida.

Per l'applicazione della suddetta metodologia, è stato messo a punto uno strumento di calcolo in formato Excel *user friendly*, costituito da una serie di fogli collegati tra loro in grado, per ogni caso studio considerato, di fornire la migliore soluzione tecnologica in termini di costi/benefici finalizzata alla riduzione dei consumi energetici, sia per edifici di nuova costruzione, sia per edifici esistenti sottoposti a ristrutturazione totale. Utilizzando tali strumenti di calcolo, una valutazione sia energetica che economica è stata condotta considerando vari pacchetti di misure di efficienza energetica. La valutazione energetica è stata condotta mediante metodologia semplificata, in accordo con le specifiche tecniche UNI/TS 11300-1/4, con lo scopo di prevedere i consumi energetici globali per singolo edificio campione; la valutazione economica è stata condotta in accordo con la norma UNI EN 15459 con lo scopo di prevedere il costo globale in un contesto di nuova costruzione o ristrutturazione edilizia totale.

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

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

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

I risultati della procedura di ottimizzazione applicati ai 12 edifici di riferimento in zona climatica E sono confrontati attraverso le seguenti Tabelle.

Edifici residenziali

Tabella 2.66. Principali parametri tipologico-costruttivi degli edifici residenziali di riferimento.

CODICE EDIFICIO	V_l [m ³]	A_{env}/V_l [m ⁻¹]	A_w/A_{env} [-]	n° U.I.	$A_{f,U.I.}$ [m ²]	U_{wall} [Wm ⁻² K ⁻¹]	U_{window} [Wm ⁻² K ⁻¹]	$U_{roof/ceiling}$ [Wm ⁻² K ⁻¹]	U_{floor} [Wm ⁻² K ⁻¹]
RMF_E1	583	0,75	0,046	1	162	1,48	4,90	2,20	2,00
RMF_E2	725	0,72	0,048	1	199	0,76	2,80	1,14	0,98
RMF_NO	371	0,99	0,034	1	97,5	0,33	2,20	0,30	0,33
RPC_E1	3076	0,51	0,095	12	69	1,15	4,90	1,65	1,30
RPC_E2	4136	0,48	0,061	12	91	0,80	3,70	0,97	1,14
RPC_NO	1728	0,60	0,063	6	75	0,34	2,20	0,30	0,33
RGC_E1	5949	0,46	0,079	24	65	1,15	4,90	1,65	1,30
RGC_E2	12685	0,37	0,077	48	73	0,76	3,70	0,97	0,98
RGC_NO	6662	0,43	0,091	24	75	0,34	2,20	0,30	0,33

Tabella 2.67. Valori ottimali dei parametri di progetto degli edifici residenziali di riferimento.

EEM COD. EDIFICIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		12	13	14	15
	U_{wall}	U_{wall}	U_{roof}	U_{floor}	U_w	g_{gl}	EER	$\eta_{gn,H}$	$\eta_{gn,W}$	$\eta_{gn,H,W}$	COP	EER	Solar collectors area	kWp PV	η_r	η_{ctr}
RMF_E1	0,29	-	0,27	-	2,2	0,77	2,9	1,9	0,96	-	-	-	2	1	-	0,995
RMF_E2	-	0,34	0,27	0,33	2,2	0,77	3,5	1,9	1	-	-	-	2	1	-	0,995
RMF_N0	0,29	-	0,3	0,45	1,9	0,77	2,9	1,9	0,88	-	-	-	4	5	0,9	0,995
RPC_E1	0,25	-	0,2	0,29	1,9	0,77	3	0,96	0,88	-	-	-	14	2	-	0,97
RPC_E2	0,25	-	0,2	0,2	1,9	0,77	3	0,96	0,88	-	-	-	24	2,5	-	0,97
RPC_N0	0,34	-	0,4	0,45	2,2	0,77	3	1,9	0,88	-	-	-	7	2,5	0,9	0,995
RGC_E1	-	0,34	0,2	0,29	1,9	0,77	3,2	0,98	0,88	-	-	-	29	3	-	0,97
RGC_E2	0,25	-	0,23	0,33	1,9	0,77	3,2	0,98	0,88	-	-	-	58	4	-	0,97
RGC_N0	0,25	-	0,27	0,33	1,3	0,77	3,2	0,97	0,88	-	-	-	29	4	0,9	0,97

Tabella 2.68. Minimo costo globale e relativo valore ottimale di energia primaria annuale degli edifici residenziali di riferimento.

CODICE EDIFICIO	Costo globale [€/m ²]	EP [kWh/m ²]
RMF_E1	566	69,40
RMF_E2	464	54,17
RMF_N0	512	58,42
RPC_E1	612	115,57
RPC_E2	520	63,27
RPC_N0	510	61,06
RGC_E1	676	116,13
RGC_E2	493	81,72
RGC_N0	429	68,25

Tabella 2.69. Tabella di comparazione delle trasmittanze termiche delle soluzioni ottimali e degli attuali limiti di legge. Edifici residenziali.

CODICE EDIFICIO	$U_{wall,lim}$ [Wm ⁻² K ⁻¹]	$U_{wall,ott}$ [Wm ⁻² K ⁻¹]	$U_{window,lim}$ [Wm ⁻² K ⁻¹]	$U_{window,ott}$ [Wm ⁻² K ⁻¹]	$U_{roof/ceiling,lim}$ [Wm ⁻² K ⁻¹]	$U_{roof/ceiling,ott}$ [Wm ⁻² K ⁻¹]	$U_{floor,lim}$ [Wm ⁻² K ⁻¹]	$U_{floor,ott}$ [Wm ⁻² K ⁻¹]
RMF_E1	0,34	0,29	2,2	2,2	0,30	0,27	0,33	-
RMF_E2	0,34	0,34	2,2	2,2	0,30	0,27	0,33	0,33
RMF_N0	0,34	0,29	2,2	1,9	0,30	0,3	0,33	0,45
RPC_E1	0,34	0,25	2,2	1,9	0,30	0,2	0,33	0,29
RPC_E2	0,34	0,25	2,2	1,9	0,30	0,2	0,33	0,2
RPC_N0	0,34	0,34	2,2	2,2	0,30	0,4	0,33	0,45
RGC_E1	0,34	0,34	2,2	1,9	0,30	0,2	0,33	0,29
RGC_E2	0,34	0,25	2,2	1,9	0,30	0,23	0,33	0,33
RGC_N0	0,34	0,25	2,2	1,3	0,30	0,27	0,33	0,33

Tabella 2.70. Tabella di comparazione degli indici di prestazione energetica delle soluzioni ottimali e degli attuali limiti di legge. Edifici residenziali

CODICE EDIFICIO	A_{env}/V_1 [m^{-1}]	$EP_{i,lim}$ [kWh/m ²]	$EP_{i,ott}$ [kWh/m ²]	$EP_{e,fabbricato,lim}$ [kWh/m ²]	$EP_{e,fabbricato,ott}$ [kWh/m ²]
RMF_E1	0,75	84,79	60,95	30	20,55
RMF_E2	0,72	82,26	42,03	30	22,83
RMF_NO	0,99	97,46	72,60*	30	5,18
RPC_E1	0,51	64,50	52,82	30	39,00
RPC_E2	0,48	61,96	37,76	30	20,10
RPC_NO	0,60	72,13	39,55	30	10,25
RGC_E1	0,46	60,27	72,45	30	26,78
RGC_E2	0,37	63,63	28,43	30	26,94
RGC_NO	0,43	57,74	31,95	30	12,30

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

Per gli edifici nuovi, il confronto tra la prestazione energetica per la climatizzazione invernale⁹, risultante dall'applicazione della metodologia comparativa, e gli attuali valori limiti di legge, evidenzia, per quest'ultimi, dei significativi margini di miglioramento.

Tali risultati erano attesi, in quanto i requisiti minimi definiti dagli standard nazionali nel 2006, erano riferiti al raggiungimento della classe energetica C e non tenevano conto degli incrementi di efficienza legati ai nuovi componenti e impianti, che sono attualmente presenti sul mercato¹⁰.

In sintesi, i risultati ottenuti consentiranno di applicare nuovi requisiti e innalzare la classe di riferimento a livelli superiori.

I valori di trasmittanza termica dei singoli componenti dell'involucro edilizio, così come risultano dall'applicazione della metodologia comparativa, sono in molti casi vicini a quelli definiti dagli standard nazionali.

Edifici ad uso ufficio

Tabella 2.71. Principali parametri tipologico-costruttivi degli edifici ad uso ufficio di riferimento.

CODICE EDIFICIO	V_1 [m^3]	A_{env}/V_1 [m^{-1}]	A_w/A_{env} [-]	n° uffici	A_f [m^2]	U_{wall} [$Wm^{-2}K^{-1}$]	U_{window} [$Wm^{-2}K^{-1}$]	$U_{roof/ceiling}$ [$Wm^{-2}K^{-1}$]	U_{floor} [$Wm^{-2}K^{-1}$]
UFF_E1	1339	0,60	0,14	12	363	1,53	2,60	1,20	0,36 (controterra)
UFF_E2	7200	0,32	0,21	70	2007	0,50	3,20	0,85	0,25 (controterra)
UFF_NO	6100	0,35	0,20	56	1519	0,34	2,20	0,30	0,33

⁹ Non si tiene conto del contributo delle rinnovabili.

¹⁰ Questi risultati sono in linea con le simulazioni fatte da Enea sugli edifici di riferimento.

Tabella 2.72. Valori ottimali dei parametri di progetto degli edifici ad uso ufficio di riferimento.

EEM COD. EDIFICIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
	U_{wall}	U_{wall}	U_{roof}	U_{floor}	U_w	τ_{sh}	EER	$\eta_{gn,H}$	$\eta_{gn,W}$	$\eta_{gn,H,W}$	COP	EER	Solar collectors area	kWp PV	η_r	η_{ctr}	PN	F_O	$F_C (F_D)$
UFF_E1	0,34	-	0,27	-	1,9	0,2	3,5			1,03	-	-	2	3	0,6	0,995	4,6	0,8	0,9
UFF_E2	0,29	-	0,30	-	1,9	0,2	3,5			0,944	-	-	10	6	0,6	0,97	4,6	0,8	0,9
UFF_NO	0,29	-	0,30	0,45	2,2	0,2	2,7			1,05	-	-	6	12	0,6	0,995	4,6	0,8	0,9

Tabella 2.73. Minimo costo globale e relativo valore ottimale di energia primaria annuale degli edifici ad uso ufficio di riferimento.

CODICE EDIFICIO	Costo globale [€/m ²]	EP [kWh/m ²]
UFF_E1	752	115
UFF_E2	454	87
UFF_NO	608	112

Tabella 2.74. Tabella di comparazione degli indici di prestazione energetica delle soluzioni ottimali e degli attuali limiti di legge. Edifici ad uso ufficio.

CODICE EDIFICIO	A_{env}/V_l [m ⁻¹]	$EP_{i,lim}$ [kWh/m ³]	$EP_{i,ott}$ [kWh/m ³]	$EP_{e,fabbricato,lim}$ [kWh/m ³]	$EP_{e,fabbricato,ott}$ [kWh/m ³]
UFF_E1	0,60	19,05	21,87	10	3,01
UFF_E2	0,32	13,16	7,44	10	9,86
UFF_NO	0,35	13,79	16,05	10	5,86

Tabella 2.75. Tabella di comparazione delle trasmittanze termiche delle soluzioni ottimali e degli attuali limiti di legge. Edifici ad uso ufficio.

CODICE EDIFICIO	$U_{wall,lim}$ [Wm ⁻² K ⁻¹]	$U_{wall,ott}$ [Wm ⁻² K ⁻¹]	$U_{window,lim}$ [Wm ⁻² K ⁻¹]	$U_{window,ott}$ [Wm ⁻² K ⁻¹]	$U_{roof/ceiling,lim}$ [Wm ⁻² K ⁻¹]	$U_{roof/ceiling,ott}$ [Wm ⁻² K ⁻¹]	$U_{floor,lim}$ [Wm ⁻² K ⁻¹]	$U_{floor,ott}$ [Wm ⁻² K ⁻¹]
UFF_E1	0,34	0,34	2,2	1,9	0,30	0,27	0,33	-
UFF_E2	0,34	0,29	2,2	1,9	0,30	0,30	0,33	-
UFF_NO	0,34	0,29	2,2	2,2	0,30	0,30	0,33	0,45

Infine, la *Cost Optimal Methodology* è stata applicata a due dei casi studio precedentemente analizzati, valutando i consumi energetici globali attraverso l'uso della simulazione termoenergetica dinamica. Tale analisi ha messo in evidenza che l'utilizzo di uno strumento complesso come la simulazione dinamica non permetta l'uso di studi di ottimizzazione parametrica: il numero delle misure di efficientamento considerate è limitato, selezionato in base alla specificità dell'edificio oggetto di studio e in base alla fattibilità tecnica dell'intervento. Osservando i grafici di costo globale riportati in Figura 2.36 e 2.41 si evidenzia la dispersione dei risultati: questo rende difficile tracciare la linea tratteggiata che rappresenta la *global cost*

curve, il cui minimo costituisce il *cost optimal level*. Inoltre, è importante sottolineare che la curva di costo tracciata è strettamente legata alla scelta delle misure di efficientamento studiate. Di seguito si riportano due tabelle (Tabella 2.76 e 2.77), una per l'edificio residenziale RGC_E1_E e una per quello per uffici UFF_E2_E, che riassumono i risultati delle analisi condotte in termini di energia primaria e di costo globale, con un tasso di sconto pari al 4%.

Tabella 2.76. Valori di costo globale e di energia primaria del Reference Building e delle diverse EEMs ad esso applicate. Grande condominio RGC_E1_E.

	<i>Costo globale</i> [€/m ²]	<i>Energia primaria</i> [kWh/m ² anno]
RB	638	286
EEM 1	640	170
EEM 2	644	164
EEM 3	641	155
EEM 4	661	196
EEM 5	672	213
EEM 6	605	242
EEM 7	670	194
EEM 8	665	205
EEM 9	670	189
EEM 10	661	196
EEM 11	591	237
EEM 12	643	154
EEM 13	655	144
EEM 14	666	221
EEM 15	874	148
EEM 16	749	140
EEM 17	539	249
EEM 18	541	132
EEM 19	542	118
EEM 20	492	200
EEM 21	545	117
EEM 22	554	106
EEM 23	567	184
EEM 24	637	111
EEM 25	649	103
EEM 26	659	210
EEM 27	740	143
EEM 28	746	133
EEM 29	740	197
EEM 30	835	139
EEM 31	843	131
EEM 32	561	172
EEM 33	641	105
EEM 34	647	96
EEM 35	642	160
EEM 36	736	102
EEM 37	744	93

Tabella 2.77. Valori di costo globale e di energia primaria del Reference Building e delle diverse EEMs ad esso applicate. Edificio per uffici UFF_E2_E.

	<i>Costo globale</i> [€/m ²]	<i>Energia primaria</i> [kWh/m ² anno]
RB	459	166
EEM 1	595	143
EEM 2	583	131
EEM 3	590	125
EEM 4	504	154
EEM 5	471	160
EEM 6	580	148
EEM 7	493	144
EEM 8	472	159
EEM 9	568	137
EEM 10	492	140
EEM 11	474	158
EEM 12	574	132
EEM 13	409	143
EEM 14	540	100
EEM 15	421	135
EEM 16	467	134
EEM 17	468	147
EEM 18	458	154
EEM 19	418	111
EEM 20	550	69
EEM 21	420	124
EEM 22	551	82
EEM 23	411	131
EEM 24	549	89

4 Riferimenti bibliografici

Legislazione

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

Norme tecniche

- [9] UNI EN 15459, "Prestazione energetica degli edifici. Procedura di valutazione economica dei sistemi energetici degli edifici", Luglio 2008.
- [10] UNI EN 15603, "Prestazione energetica degli edifici. Consumo energetico globale e definizione dei metodi di valutazione energetica", Luglio 2008.
- [11] UNI CEN/TR 15615. Spiegazione della relazione generale tra le varie norme europee e la direttiva sulla prestazione energetica degli edifici (EPBD). Documento riassuntivo. Settembre 2008.
- [12] UNI EN ISO 13790, "Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling", March 2008.
- [13] EN 15316:2007 (series). Heating systems in buildings - Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies.
- [14] EN 15243:2007. Ventilation for buildings - Calculation of room temperatures and of load and energy for buildings with room conditioning systems, August 2007.
- [15] EN 15193:2007. Energy performance of buildings - Energy requirements for lighting, September 2007.
- [16] UNI. UNI/TS 11300 (serie), "Prestazioni energetiche degli edifici", 2008-2012.
- [17] UNI 10349, Building space heating and cooling – Dati climatici, Aprile 1994.
- [18] UNI 10339:1995. Impianti aerulici a fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura. 1995. UNI.
- [19] EN 15232:2012. Energy performance of buildings – Impact of Building Automation, Controls and Building Management.

Pubblicazioni scientifiche

- [20] European Council for an Energy Efficient Economy. *Cost optimal building performance requirements Calculation methodology for reporting on national energy performance requirements on the basis of cost optimality within the framework of the EPBD*. Stockholm. Maggio 2011.
- [21] EEB. *Harmonized Cost Optimal Methodologies for the Energy Performance in Buildings Directive - EEB Principles to Calculate Minimum Energy Performance Requirements in Buildings*. Brussels. Aprile 2010.
- [22] BPIE. *Cost Optimality. Discussing methodology and challenges within the recast Energy Performance of Buildings Directive*. Settembre 2010.
- [23] Concerted Action. *Cost optimal levels for energy performance requirements - The Concerted Action's input to the Framework Methodology*. Maggio 2011.
- [24] Christenson, C., R. Anderson, et al.. *BEopt™ Software for Building Energy Optimization: Features and Capabilities*. U.S. Dep. of Energy. Golden, Colorado, National Renewable Energy Laboratory 21. 2006.
- [25] Wittchen K.B. Thomsen K.E. *Implementation of the cost optimal methodology according to the EPBD recast*. REHVA Journal. Marzo. 2012.
- [26] Corrado V. et al. *Building Typology Brochure – Italy. Fascicolo sulla Tipologia Edilizia Italiana*. Torino: Politecnico di Torino. Dicembre 2011.
- [27] AA.VV. *Use of Building Typologies for Energy Performance Assessment of National Building Stocks. Existent Experiences in European Countries and Common Approach*. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt. 2010.
- [28] T. Boermans, K. Bettgenhauser, A. Hermelink, S. Shimschar, *Cost optimal building performance requirements*, Eceee report, maggio 2011.
http://www.eceee.org/buildings/cost_optimality/cost_optimality-eceereport.pdf
- [29] Capros P. et al., *EU Energy trends to 2030*, agosto 2010
http://ec.europa.eu/energy/observatory/trends_2030/index_en.htm
- [30] F. Margiotta, "Metodologia per la determinazione delle caratteristiche strutturali ed impiantistiche di "Edifici Tipo" del Parco Edilizio Nazionale ad uso ufficio e Valutazione del Potenziale di Risparmio energetico sulla base della fattibilità degli interventi di riqualificazione Energetica", ENEA Rds/2010/197.
- [31] <http://ec.europa.eu/environment/air/pollutants/models/primes.htm>
- [32] Reinhart C. F. *Lightswitch-2002: a model for manual and automated control of electric lighting and blinds*. In «Solar Energy», pp. 15-28, 2004. Elsevier.
- [33] <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>

ALLEGATI

ALLEGATO A. ZONE CLIMATICHE E POPOLAZIONE RESIDENTE

La classificazione climatica del territorio italiano, relativamente alla climatizzazione invernale, è stata introdotta dal Decreto del Presidente della Repubblica n. 412 del 26 agosto 1993. L'Italia risulta essere suddivisa nelle seguenti sei zone climatiche (da A a F) definite in base ai Gradi - Giorno e indipendenti dalla ubicazione geografica:

Tabella A.1. Suddivisione in zone climatiche in base ai Gradi Giorno.

ZONA CLIMATICA	GRADI-GIORNO
A	$GG \leq 600$
B	$600 < GG \leq 900$
C	$900 < GG \leq 1.400$
D	$1.400 < GG \leq 2.100$
E	$2.100 < GG \leq 3.000$
F	$GG > 3.000$

In base a questa classificazione delle zone climatiche invernali, risulta che circa il 92% della popolazione italiana risiede in località i cui Gradi-Giorno sono compresi nell'intervallo $900 < GG \leq 3000$ (zone C, D ed E); del restante 8% della popolazione, i 2/3 risiedono in località con un numero di Gradi-Giorno < 900 (zone A e B). (Figura. A.1 e Tab A.2)

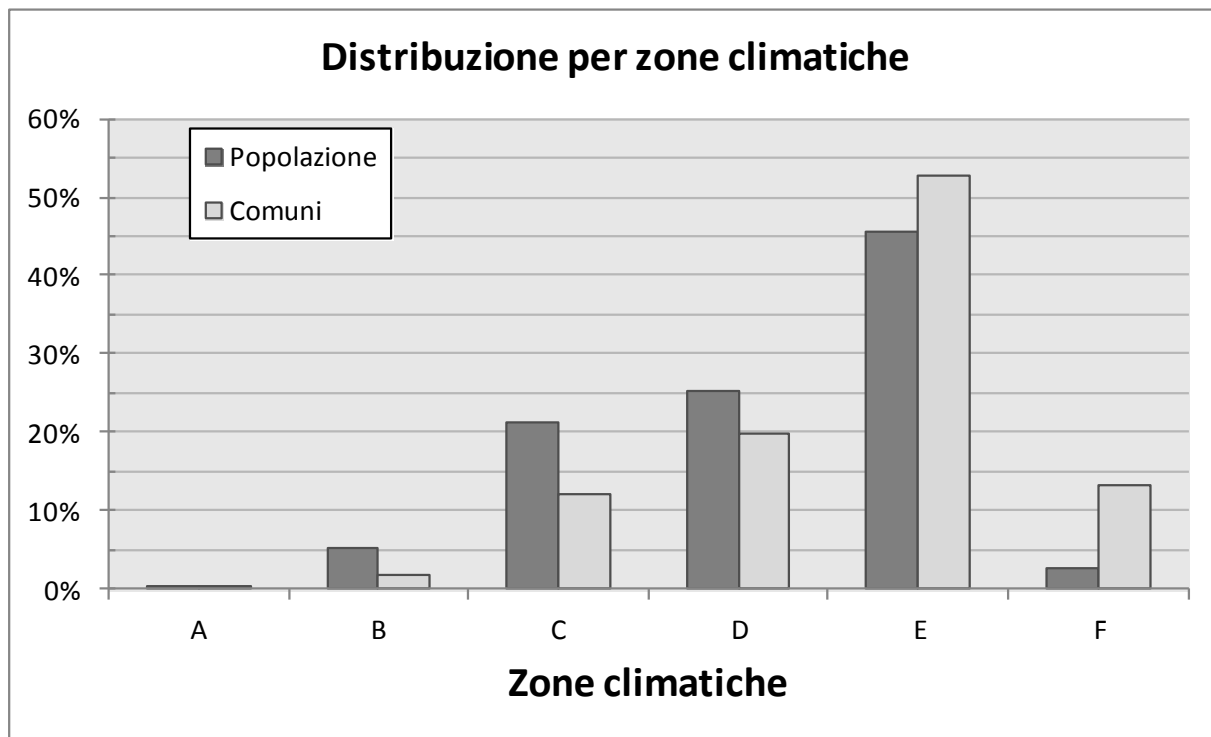


Figura A.1. Distribuzione della popolazione e dei comuni italiani in base alle zone climatiche.

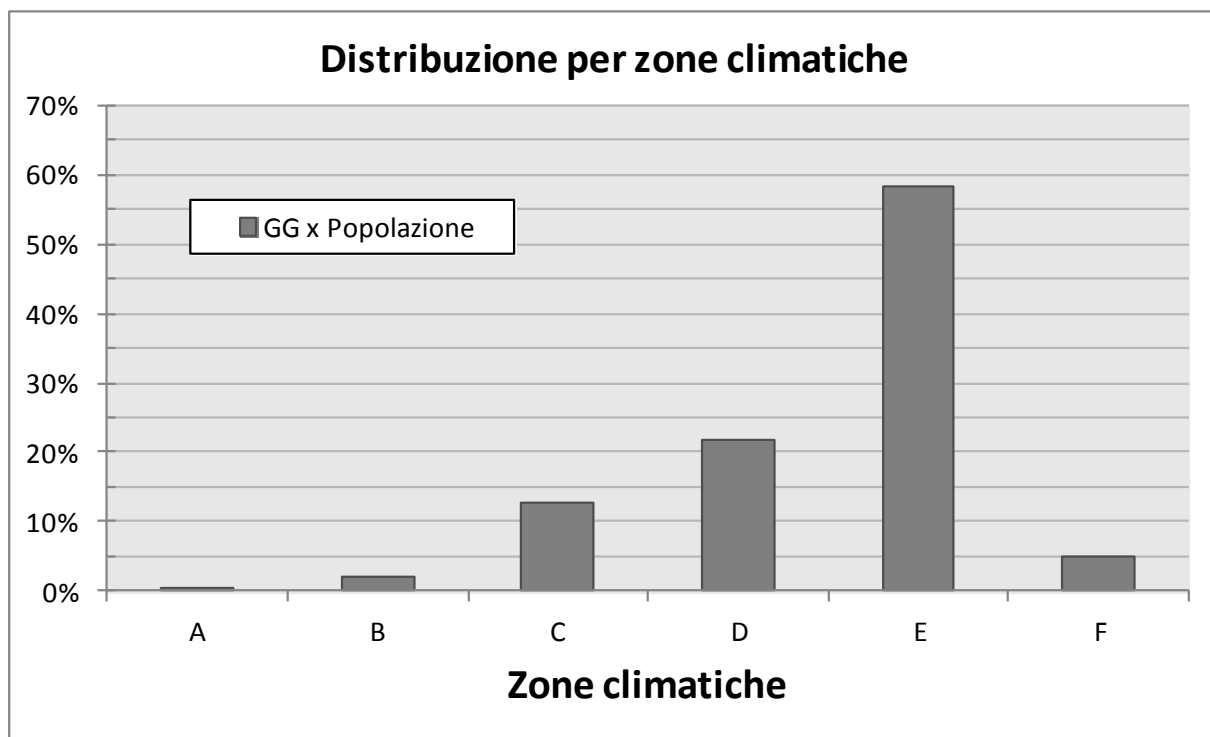
Tabella A.2. Distribuzione della popolazione e dei comuni italiani in base alle zone climatiche.

	ZONA CLIMATICA					
	A	B	C	D	E	F
POPOLAZIONE⁽¹⁾	23.474	3.216.313	12.785.737	15.213.234	27.444.809	1.662.785
	0,04%	5,3%	21,2%	25,2%	45,5%	2,8%
N. COMUNI	2	157	985	1.602	4.273	1.074
	0,02%	1,9%	12,2%	19,8%	52,8%	13,3%
GG medi	576	781	1147	1658	2467	3454
GG pesati⁽²⁾	574	782	1178	1761	2524	3522

(1) Popolazione residente al 31/12/2009

(2) Media pesata rispetto alla popolazione

Per la climatizzazione invernale, i consumi energetici per ciascuna località, degli edifici esistenti, possono ritenersi proporzionali al prodotto tra i Gradi-Giorno e la popolazione; in base a questa considerazione, si può osservare come la zona climatica E sia quella che ha un peso maggiore sui consumi, mentre la zona climatica B quella con un peso minore (escludendo la zona A con solo lo 0,04 % della popolazione italiana). (Figura A.2)


Figura A.2. Distribuzione dei consumi energetici per la climatizzazione invernale in funzione delle zone climatiche.

Per esplorare le variazioni del fabbisogno energetico al variare delle zone climatiche si è scelto di riferirsi alle due seguenti località:

- a) **PALERMO** (zona climatica B);
- b) **MILANO** (zona climatica E).

Di seguito si riportano i principali dati climatici desunti dalla Norma di riferimento italiana UNI 10349/1994 [17].

Tabella A.3. Dati climatici, città di Palermo.

PROVINCIA	REGIONE	LAT	LONG	ALT (m)	GG	ZONA CLIMATICA	PERIODO DI RISCALDAMENTO					
PALERMO	SICILIA	38° 07'	13° 21'	14	751	B	01/12-31/3					
VARIABILE	MESE											
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SETT	OTT	NOV	DIC
H_E (MJ/m ²)	5,8	8,1	10,9	13,8	16,1	17,5	17,7	16,6	13,6	9,8	7,1	5,3
H_N (MJ/m ²)	2,4	3,2	4,3	5,9	8,4	10,3	9,5	6,8	4,6	3,6	2,7	2,2
H_NE (MJ/m ²)	2,8	4,3	6,7	9,8	12,9	14,7	14,4	12,1	8,4	5,2	3,3	2,5
H_NO (MJ/m ²)	2,8	4,3	6,7	9,8	12,9	14,7	14,4	12,1	8,4	5,2	3,3	2,5
H_O (MJ/m ²)	5,8	8,1	10,9	13,8	16,1	17,5	17,7	16,6	13,6	9,8	7,1	5,3
H_OR (MJ/m ²)	7,7	11,1	15,7	20,8	25,2	27,9	27,9	25,2	19,6	13,5	9,3	6,9
H_S (MJ/m ²)	11,9	13,3	13,4	11,7	10,1	9,3	9,8	12	14,5	15,2	14,1	11
H_SE (MJ/m ²)	9,5	11,4	13,1	13,9	14,1	14	14,6	15,8	15,4	13,4	11,3	8,7
H_SO (MJ/m ²)	9,5	11,4	13,1	13,9	14,1	14	14,6	15,8	15,4	13,4	11,3	8,7
P _{vap} (Pa)	888	901	824	1064	1259	1681	1771	1834	1849	1467	1162	928
T _{med} (°C)	11,1	11,6	13,1	15,5	18,8	22,7	25,5	25,4	23,6	19,8	16	12,6

Tabella A.4. Dati climatici, città di Milano.

PROVINCIA	REGIONE	LAT	LONG	ALT (m)	GG	ZONA CLIMATICA	PERIODO DI RISCALDAMENTO					
MILANO	LOMBARDIA	45° 27'	9° 11'	122	751	E	15/10-15/4					
VARIABILE	MESE											
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SETT	OTT	NOV	DIC
H_E (MJ/m ²)	2,9	5,1	8,5	11,4	13,2	14,4	15,8	13,2	10,1	6,4	3,4	2,6
H_N (MJ/m ²)	1,5	2,4	3,7	5,4	7,8	9,4	9,2	6,4	4,2	2,8	1,7	1,3
H_NE (MJ/m ²)	1,6	2,9	5,3	8,2	10,7	12,2	12,8	9,8	6,5	3,6	1,9	1,4
H_NO (MJ/m ²)	1,6	2,9	5,3	8,2	10,7	12,2	12,8	9,8	6,5	3,6	1,9	1,4
H_O (MJ/m ²)	2,9	5,1	8,5	11,4	13,2	14,4	15,8	13,2	10,1	6,4	3,4	2,6
H_OR (MJ/m ²)	3,8	6,7	11,6	16,5	20	22,2	24	19,4	14	8,4	4,4	3,3
H_S (MJ/m ²)	6	8,7	11,2	10,9	10	9,8	10,8	11,3	11,8	10,3	6,7	5,4
H_SE (MJ/m ²)	4,8	7,3	10,6	12,1	12,3	12,5	14	13,3	11,8	8,9	5,4	4,3
H_SO (MJ/m ²)	4,8	7,3	10,6	12,1	12,3	12,5	14	13,3	11,8	8,9	5,4	4,3
P _{vap} (Pa)	590	645	943	1163	1326	1840	1736	2012	1921	1412	958	671
T _{med} (°C)	1,7	4,2	9,2	14	17,9	22,5	25,1	24,1	20,4	14	7,9	3,1

H: irradiazione solare giornaliera media mensile su piano orizzontale (OR) o su superficie verticale (E, N, NE, NO, O, S, SE, SO)

P_{vap}: valore medio mensile della pressione parziale del vapore acqueo nell'aria esterna

T_{med}: valore medio mensile della temperatura media giornaliera dell'aria esterna

ABITAZIONI			EDIFICI			NUMERO MEDIO DI ABITAZIONI PER EDIFICIO
STOCK	29.641.961	100%	STOCK	11.676.183	100%	2,5
di cui:			di cui:			
→ Prima del 1919	3.893.567	13,1%	→ Prima del 1919	2.150.259	18,4%	1,8
→ 1919 - 1945	2.704.969	9,1%	→ 1919 - 1945	1.383.815	11,9%	2,0
→ 1946 - 1960	4.333.882	14,6%	→ 1946 - 1960	1.659.829	14,2%	2,6
→ 1961 - 1971	5.707.383	19,3%	→ 1961 - 1971	1.967.957	16,9%	2,9
→ 1972 - 1981	5.142.940	17,4%	→ 1972 - 1981	1.983.206	17,0%	2,6
→ 1982 - 1991	3.324.794	11,2%	→ 1982 - 1991	1.290.502	11,1%	2,6
→ 1992 - 2001	2.197.681	7,4%	→ 1992 - 2001	791.027	6,8%	2,8
→ Dopo il 2001	2.336.745	7,9%	→ Dopo il 2001	449.588	3,9%	5,2

Figura A.5. Distribuzione italiana dello stock edilizio residenziale in varie epoche storiche.

ALLEGATO B. ZONE CLIMATICHE E TRASMITTANZA POST-INTERVENTO

Le misure di efficientamento energetico sull'involucro dipendono da:

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

Riguardo alle zone climatiche è necessario fare riferimento alla loro istituzione introdotta con D.P.R. n. 412 del 26 agosto 1993, tabella A e successive modifiche ed integrazioni: *Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della L. 9 gennaio 1991, n. 10.*

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ALLEGATO C. CARATTERISTICHE DEGLI ELEMENTI EDILIZI DI INVOLUCRO

Ciascun elemento edilizio oggetto di possibile intervento di efficientamento energetico, può essere realizzato con molteplici soluzioni tecnologiche, ognuna delle quali può trascinarsi ulteriori variabili quali lo spessore del materiale elementare e la presenza o meno di strati di materiali complementari atti a risolvere aspetti secondari dell'isolamento termico [30].

Appare opportuno definire alcuni elementi edilizi da individuare come riferimento: gli interventi vengono effettuati a partire da tali situazioni di riferimento.

Le situazioni di riferimento sono funzione sia degli elementi edilizi (pareti verticali, copertura finale, copertura del primo solaio, serramenti e vetri) che della vetustà (nuovi, esistenti < 1976 ed esistenti > 1976).

Vengono identificate tre classi di vetustà degli edifici:

- edificio nuovo;
- edificio esistente < 1976;
- edificio esistente > 1976.

In relazione agli edifici esistenti, la suddivisione in due sole classi tiene conto della ottimizzazione del numero dei casi da trattare a fronte delle variabilità generate sia dalle mutate modalità costruttive nel tempo (con il riconoscimento di almeno tre grossi filoni di base quali ad esempio fino al 1930 con presenza di pareti verticali in muratura piena ed orizzontamenti in legno, successivamente al 1930 con la diffusione dell'utilizzo del cemento armato, la comparsa di pareti verticali con doppio paramento in laterizio e nelle strutture orizzontali dei solai misti laterizio/cemento armato, e dal 1950-1960 la prefabbricazione sia delle pareti verticali che delle strutture orizzontali) che dall'entrata in vigore delle leggi sul contenimento dei consumi energetici per uso termico negli edifici (ricordando la prima del 1976, la n. 373), con la diffusione di utilizzo di materiali isolanti termici.

C.1. Residenze nuove

INTERVENTI DI EFFICIENTAMENTO ENERGETICO SULL'INVOLUCRO EDILIZIO											
STRATIGRAFIE DEGLI ELEMENTI OGGETTO DI INTERVENTO											
RN - RESIDENZE NUOVE											
	spessore	conduttiv	resist term		spessore	conduttiv	resist term		spessore	conduttiv	resist term
	s	λ	R		s	λ	R		s	λ	R
	(m)	(W/mK)	(m2k/W)		(m)	(W/mK)	(m2k/W)		(m)	(W/mK)	(m2k/W)
PARETI VERTICALI PERIMETRALI - ISOL. IN INTERCAPEDINE				PARETI VERTICALI PERIMETRALI - ISOL. DALL'EST. (CAPPOTTO)				PARETI VERTICALI PERIMETRALI - ISOLAMENTO DALL'INTERNO			
superficie interna			0,13	superficie interna			0,13	superficie interna			0,13
intonaco calce-gesso	0,02	0,7	0,03	intonaco calce-gesso	0,02	0,7	0,03	intonaco calce-gesso	0,02	0,7	0,03
forati in laterizio	0,08	0,3	0,27	laterizi alveolati	0,3		0,94	forati in laterizio	0,08	0,3	0,27
isolante				isolante				isolante			
forati in laterizio	0,15	0,3	0,50	intonaco cls	0,005	0,9	0,01	laterizi alveolati	0,2		0,47
intonaco cls	0,02	0,9	0,02	superficie esterna			0,04	intonaco cls	0,02	0,9	0,02
superficie esterna			0,04	totale	0,325		1,14	superficie esterna			0,04
totale	0,27		0,99					totale	0,32		0,96
TETTO LEGNO - ISOLAMENTO DALL'ESTERNO				TETTO LEGNO - ISOLAMENTO DALL'INTERNO							
superficie interna			0,13	superficie interna			0,13				
lana legno media	0,05	0,065	0,77	intonaco	0,03	1,4	0,02				
isolante				solaio	0,18	0,6	0,30				
lana legno media	0,025	0,065	0,38	isolante							
cartongesso in lastre	0,013	0,21	0,06	massetto	0,03	1,4	0,02				
superficie esterna			0,04	rivestimento cemento	0,03	1,4	0,02				
totale	0,088		1,39	superficie esterna			0,04				
				totale	0,27		0,53				
TETTO PIANO LATEROCEMENTO - ISOLAMENTO DALL'ESTERNO				TETTO PIANO LATEROCEMENTO - ISOLAMENTO DALL'INTERNO							
superficie esterna			0,13	superficie esterna			0,13				
cls generico	0,06	0,3	0,20	cls generico	0,06	0,3	0,20				
impermeabilizzazione	0,005	0,17	0,03	impermeabilizzazione	0,005	0,17	0,03				
isolante				solaio laterocemento	0,26		0,35				
barriera vapore	0,003	0,2	0,02	barriera vapore	0,003	0,2	0,02				
cls generico	0,1	0,3	0,33	isolante							
solaio laterocemento	0,26		0,35	intonaco calce-gesso	0,02	0,7	0,03				
intonaco calce-gesso	0,02	0,7	0,03	superficie interna			0,04				
superficie interna			0,04	totale	0,348		0,79				
totale	0,448		1,13								
PRIMO SOLAIO - ISOLAMENTO DALL'ESTERNO				PRIMO SOLAIO - ISOLAMENTO DALL'INTERNO							
superficie esterna			0,04	superficie esterna			0,04				
intonaco cls	0,005	0,9	0,01	intonaco cls	0,02	0,9	0,02				
isolante				solaio laterocemento	0,26		0,35				
solaio laterocemento	0,26		0,35	isolante							
cls generico	0,06	0,22	0,27	cls generico	0,06	0,22	0,27				
piastrelle ceramica	0,02	1	0,02	piastrelle ceramica	0,02	1	0,02				
superficie interna			0,17	superficie interna			0,17				
totale	0,345		0,86	totale	0,36		0,87				
				SOLAIO CONTROTERRA - ISOLAMENTO DALL'INTERNO							
				superficie esterna			0,04				
				cls con aggregato nat	0,08	1,91	0,04				
				vespaio areato	0,3		0,19				
				cls con aggregato nat	0,08	1,91	0,04				
				isolante							
				cls generico	0,06	0,22	0,27				
				piastrelle ceramica	0,01	1	0,01				
				superficie interna			0,17				
				totale	0,53		0,77				

C.2 Residenze ante 1976

INTERVENTI DI EFFICIENTAMENTO ENERGETICO SULL'INVOLUCRO EDILIZIO											
STRATIGRAFIE DEGLI ELEMENTI OGGETTO DI INTERVENTO											
REA - RESIDENZE ESISTENTI ANTICHE (ANTE 1976)											
	spessore	conduttiv	resist term		spessore	conduttiv	resist term		spessore	conduttiv	resist term
	s	λ	R		s	λ	R		s	λ	R
	(m)	(W/mK)	(m2k/W)		(m)	(W/mK)	(m2k/W)		(m)	(W/mK)	(m2k/W)
PARETI VERTICALI PERIMETRALI - ISOL. DALL'EST. (CAPPOTTO)											
superficie interna			0,13								
intonaco calce-gesso	0,02	0,7	0,03								
forati in laterizio	0,08		0,20								
camera d'aria	0,05		0,18								
isolante											
forati in laterizio	0,12		0,24								
intonaco cls	0,02	0,9	0,02								
superficie esterna			0,04								
totale	0,29		0,84								
STRUTT. ORIZZ.-ISOL. DALL'INTERNO CON CONTROSOFFITTO				STRUTT. ORIZZ.-ISOLAMENTO DALL'ESTERNO				STRUTT. ORIZZ.-ISOLAMENTO DI SOTTOTETTO NON PRATICABILI			
superficie interna			0,13	superficie interna			0,13	superficie interna			0,13
cartongesso				intonaco cls	0,02	0,7	0,03	assito in legno	0,03	0,12	0,25
foglio alluminio				solaio laterizio	0,26		0,35	caldana cls	0,06	0,3	0,20
isolante				isolante				isolante			
intonaco cls	0,02	0,7	0,03	caldana cls	0,1	0,3	0,33	isolante			
solaio laterizio	0,26		0,35	bitume	0,005	0,17	0,03	isolante			
isolante				isolante							
caldana cls	0,1	0,3	0,33	caldana cls							
bitume	0,005	0,17	0,03	bitume							
superficie esterna			0,04	superficie esterna			0,04	superficie esterna			0,04
totale	0,385		0,91	totale	0,385		0,91	totale	0,09		0,62

C.3. Residenze post 1976

INTERVENTI DI EFFICIENTAMENTO ENERGETICO SULL'INVOLUCRO EDILIZIO											
STRATIGRAFIE DEGLI ELEMENTI OGGETTO DI INTERVENTO											
RER - RESIDENZE ESISTENTI RECENTI (POST 1976)											
	spessore	conduttiv	resist term		spessore	conduttiv	resist term		spessore	conduttiv	resist term
	s	λ	R		s	λ	R		s	λ	R
	(m)	(W/mK)	(m2k/W)		(m)	(W/mK)	(m2k/W)		(m)	(W/mK)	(m2k/W)
PARETI VERTICALI PERIMETRALI - ISOL. DALL'EST. (CAPPOTTO)											
superficie interna			0,13								
intonaco calce-gesso	0,02	0,7	0,03								
forati in laterizio	0,08		0,20								
camera d'aria	0,05		0,18								
isolante	0,03	0,041	0,73								
forati in laterizio	0,12		0,24								
intonaco cls	0,02	0,9	0,02								
superficie esterna			0,04								
totale	0,32		1,57								
STRUTT. ORIZZ.-ISOL. DALL'INTERNO CON CONTROSOFFITTO				STRUTT. ORIZZ.-ISOLAMENTO DALL'ESTERNO				STRUTT. ORIZZ.-ISOLAMENTO DI SOTTOTETTO NON PRATICABILI			
superficie interna			0,13	superficie interna			0,13	superficie interna			0,13
cartongesso				intonaco cls	0,02	0,7	0,03	assito in legno	0,03	0,12	0,25
foglio alluminio				solaio laterizio	0,26		0,35	caldana cls	0,06	0,3	0,20
isolante				isolante	0,04	0,041	0,98	isolante	0,05	0,041	1,22
intonaco cls	0,02	0,7	0,03	caldana cls	0,1	0,3	0,33	isolante			
solaio laterizio	0,26		0,35	bitume	0,005	0,17	0,03				
isolante	0,04	0,041	0,98	isolante							
caldana cls	0,1	0,3	0,33	caldana cls							
bitume	0,005	0,17	0,03	bitume							
superficie esterna			0,04	superficie esterna			0,04	superficie esterna			0,04
totale	0,425		1,89	totale	0,425		1,89	totale	0,14		1,84

ALLEGATO D. LE SPECIFICHE TECNICHE UNI/TS 11300

D.1 La specifica tecnica UNI/TS 11300-1:2008

La specifica tecnica UNI/TS 11300-1 definisce le modalità di applicazione nazionale della UNI EN ISO 13790:2008.

Tra i vari metodi che la norma europea propone per il calcolo dei fabbisogni di energia termica per riscaldamento e per raffrescamento, viene applicato quello mensile quasi - stazionario, secondo il quale i fabbisogni di energia termica utile per riscaldamento e raffrescamento si calcolano, per ogni zona dell'edificio e per ogni mese, come:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{gn} (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} \cdot (Q_{int} + Q_{sol}) \quad (D.1)$$

$$Q_{C,nd} = Q_{gn} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{C,ht} = (Q_{int} + Q_{sol}) - \eta_{C,ls} \cdot (Q_{C,tr} + Q_{C,ve}) \quad (D.2)$$

dove:

$Q_{H/C,nd}$ è il fabbisogno di energia termica utile dell'edificio per riscaldamento/ raffrescamento;

$Q_{H/C,ht}$ è lo scambio termico totale nel caso di riscaldamento/ raffrescamento;

$Q_{H/C,tr}$ è lo scambio termico per trasmissione nel caso di riscaldamento/raffrescamento;

$Q_{H/C,ve}$ è lo scambio termico per ventilazione nel caso di riscaldamento/raffrescamento;

Q_{gn} sono gli apporti termici totali;

Q_{int} sono gli apporti termici interni;

Q_{sol} sono gli apporti termici solari;

$\eta_{H,gn}$ è il fattore di utilizzazione degli apporti termici;

$\eta_{C,ls}$ è il fattore di utilizzazione delle dispersioni termiche.

Il metodo comprende il calcolo dello scambio termico per trasmissione e ventilazione, nonché il contributo degli apporti termici interni e solari.

La procedura di calcolo delle UNI/TS 11300 prevede le seguenti fasi:

- definizione dei confini dell'insieme degli ambienti climatizzati e non climatizzati dell'edificio;
- se richiesta, definizione dei confini delle diverse zone di calcolo;
- definizione delle condizioni interne di calcolo e dei dati di ingresso relativi al clima esterno;
- calcolo, per ogni mese e per ogni zona dell'edificio, dei fabbisogni netti di energia termica per il riscaldamento ($Q_{H,nd}$) e il raffrescamento ($Q_{C,nd}$);
- aggregazione dei risultati relativi alle diverse zone servite dagli stessi impianti.

D.1.1. Deviazioni e univocità del calcolo

Un importante problema relativo all'applicazione della normativa tecnica specialmente in un contesto legale (es. certificazione energetica degli edifici) riguarda la necessità di ottenere risultati univoci. Le deviazioni tra modelli e codici di calcolo possono derivare da semplificazioni nella modellazione numerica o nella specificazione dei dati di ingresso (utilizzo di dati di default o approssimati), ambiguità nell'interpretazione dei dati di ingresso (scelte multiple, dati qualitativi, informazioni mancanti) o incertezze sui dati di ingresso (parametri che caratterizzano il sistema, condizioni al contorno).

Differenze tra modelli europei, nazionali e regionali riguardano ad esempio la definizione della stagione di riscaldamento/raffrescamento, l'interpolazione dei dati climatici, la modellazione degli apporti solari attraverso i componenti opachi e dell'extra-irraggiamento infrarosso verso la volta celeste, il calcolo del fattore di utilizzazione, l'accoppiamento termico tra le zone, la definizione delle superfici disperdenti e dei ponti termici, i coefficienti di scambio termico liminare.

D.1.2. Utenza standard

Per le valutazioni energetiche che hanno come finalità la verifica dei requisiti di legge e la certificazione energetica, risulta necessario fare riferimento a un'utenza convenzionale e ad un clima di riferimento, in modo da depurare il risultato dall'effetto dello specifico comportamento dell'utenza o da particolari condizioni climatiche. La UNI/TS 11300 definisce tali condizioni al contorno "standard". A tal fine, per quanto riguarda i dati climatici la UNI/TS 11300 richiama la norma UNI 10349 (valori di temperatura e irradianza solare medi mensili) e il D.P.R. 412/1993 (gradi giorno). Con riferimento alle condizioni termiche degli edifici o delle unità immobiliari adiacenti, la UNI/TS 11300-1 impone, per tutte le categorie di edifici ad esclusione delle categorie E.6(1), E.6(2) e E.8, una temperatura di 20 °C in inverno e di 26 °C in estate. Per quanto riguarda, invece, le modalità di gestione del sistema fabbricato-impianto viene definita un'utenza convenzionale.

D.1.3. Semplificazioni di calcolo

Per valutazioni effettuate su edifici esistenti, in assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, la norma prevede l'adozione di opportune semplificazioni nel calcolo e nella definizione dei dati d'ingresso. Le semplificazioni operate nella definizione dei dati d'ingresso rappresentano la principale causa di deviazione tra i risultati dei diversi strumenti di calcolo o, a parità di strumento di calcolo, dei diversi soggetti che li applicano.

La normativa tecnica fornisce una serie di semplificazioni rivolte principalmente alla certificazione energetica degli edifici esistenti, da adottarsi in assenza di dati di progetto attendibili.

Alcune semplificazioni riguardano l'uso di dati precalcolati per la caratterizzazione di singoli componenti dell'involucro (opachi, trasparenti, ponti termici), da adottarsi quando non si disponga di dati documentati e non si possano effettuare, anche per motivazioni di ordine economico, indagini sperimentali di approfondimento.

Una seconda famiglia di dati precalcolati sono quelli finalizzati alla modellazione semplificata di un fenomeno fisico che riguarda un intero gruppo di componenti o di elementi (il contesto esterno, l'involucro edilizio, la struttura, l'intero fabbricato). In questo caso l'utilizzo di valori precalcolati consente di evitare una descrizione analitica dei vari componenti che costituiscono la parte del sistema edificio-impianto considerata.

Si ricorda infine che la UNI/TS 11300 fa ampio ricorso a norme di supporto, molte delle quali in fase di revisione, per la definizione di parametri termici e climatici necessari per il calcolo. In particolare:

- dati climatici (UNI 10349);
- materiali (UNI EN ISO 10456, UNI 10351, UNI 10355);
- componenti opachi (UNI EN ISO 6946, UNI EN ISO 13786, Abaco dei componenti opachi in fase di redazione);
- componenti trasparenti (UNI EN ISO 10077-1);
- ponti termici (UNI EN ISO 14683, UNI EN ISO 10211, atlanti di ponti termici);

D.2. La specifica tecnica UNI/TS 11300-2:2008

Ai fini del calcolo del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti la UNI/TS 11300-2 considera i seguenti fabbisogni di energia termica utile:

- per la climatizzazione invernale, i fabbisogni calcolati secondo UNI/TS 11300-1;
- per l'acqua calda sanitaria i fabbisogni calcolati secondo la stessa UNI/TS 11300-2.

Il sistema "impianto" si considera suddiviso in sottosistemi, tra loro coordinati per assicurare le prestazioni globali richieste.

Per la climatizzazione si considerano i seguenti sottosistemi per ciascuno dei quali si valutano le perdite termiche e gli eventuali recuperi:

- emissione: perdite delle unità terminali (radiatori, ventilconvettori, pannelli radianti a pavimento e soffitto, bocchette di immissione, ecc.);
- regolazione: perdite dei dispositivi e circuiti di regolazione locale, di zona e centrale;
- distribuzione: perdite del complesso dei circuiti di distribuzione del fluido termovettore (di generazione, primari, secondari, di utenza);
- accumulo: perdite dei serbatoi per accumulo termico;
- generazione: generatore o complesso di generatori.

e per l'acqua calda sanitaria:

- erogazione: comprende i terminali di erogazione dell'acqua calda;
- distribuzione: complesso dei circuiti di distribuzione (di utenza, di circolazione, di ricircolo);
- accumulo: serbatoi per accumulo termico;
- generazione: generatore o complesso di generatori (dedicato o comune alla climatizzazione).

Per una visione immediata della UNI/TS 11300-2 è utile considerare, come indicato nello schema seguente, gli impianti tecnici degli edifici suddivisi in due parti:

- utilizzazione;
- generazione.

Il collegamento tra le due parti utilizzazione e generazione è realizzato tramite collettore o serbatoi di accumulo.

Nella parte utilizzazione si calcolano le perdite dei vari sottosistemi partendo dal fabbisogno di energia termica utile per riscaldamento o per acqua calda sanitaria sino ad arrivare al fabbisogno in uscita dalla generazione. Come indicato in Figura D.1, si calcolano anche i fabbisogni di energia elettrica di ciascun sottosistema.

La UNI/TS 11300-2:2008 tratta, la generazione solo con processo di combustione a fiamma di combustibili liquidi e gassosi e consente, quindi, di determinare i fabbisogni di energia fornita solo per i due vettori energetici considerati.

Le perdite di emissione e di distribuzione sono riportate in prospetti che definiscono le condizioni alle quali si riferiscono i vari valori.

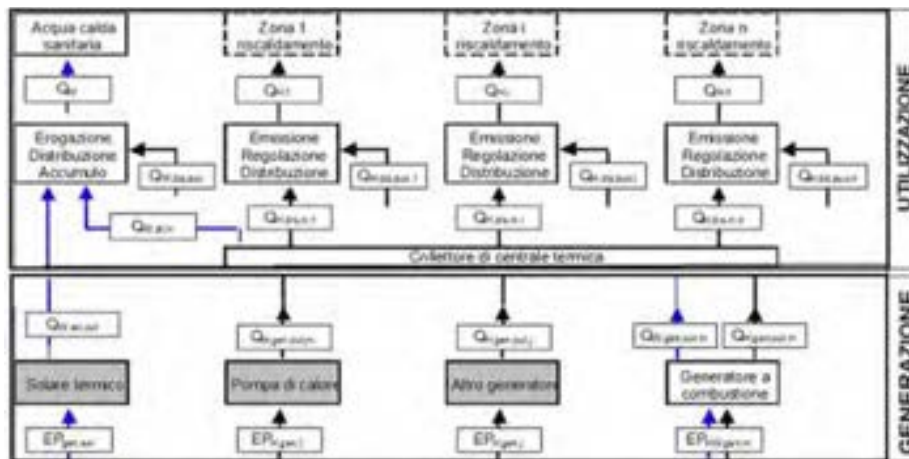


Figura D.1. Impianti tecnici: utilizzazione e generazione.

Per le perdite di distribuzione e per le perdite di generazione si forniscono valori precalcolati, da utilizzare solo per edifici esistenti, quando siano soddisfatte determinate condizioni al contorno che sono dettagliatamente precisate.

La specifica è corredata di due appendici:

- Appendice A “Calcolo analitico delle perdite di distribuzione”;
- Appendice B “Calcolo delle perdite di generazione per generatori con combustione a fiamma di combustibili liquidi e gassosi”.

L’appendice A descrive il metodo di calcolo analitico delle perdite di distribuzione e delle temperature del fluido termovettore in circuiti di distribuzione ad acqua, da utilizzare quando non sia possibile utilizzare i valori precalcolati.

I metodi per il calcolo analitico delle perdite di generazione sono descritti nell’appendice B che recepisce due dei metodi descritti nella norma UNI EN 15316-4, completandoli con i valori applicativi nazionali [13]:

- metodo basato sui valori certificati in base alla direttiva 92/42/CE (Requisiti di rendimento per le nuove caldaie ad acqua calda alimentate con combustibili liquidi o gassosi) e relative norme di prodotto armonizzate;
- metodo parametrico basato su parametri caratteristici del generatore (derivato dalla norma nazionale UNI 10348).

I due metodi presentano vantaggi e svantaggi. A favore del primo metodo vi è l’utilizzo di dati certificati, risultanti da prove effettuate secondo norme tecniche armonizzate; a sfavore la minore precisione nel calcolo delle perdite dei generatori a condensazione e l’impossibilità dell’applicazione nel caso di assenza di dati certificati, come nel caso di generatori prodotti prima della pubblicazione della direttiva 92/42/CE.

A favore del secondo metodo vi è la possibilità di applicazione anche con dati rilevati con prove in loco e con i dati relativi ai generatori a condensazione previsti nell’appendice B dichiarati dal fabbricante, ottenendo risultati più accurati.

La specifica recepisce i due metodi, precisando in quali casi utilizzarli, al fine di evitare ambiguità al riguardo. Il calcolo del fabbisogno si effettua nel quadro del bilancio energetico dell’edificio, tenendo conto dei valori di conversione dell’energia fornita in energia primaria per i vettori energetici considerati.

D.3 La specifica tecnica UNI/TS 11300-3:2010

La UNI/TS 11300-3:2010 fornisce dati e metodi per la determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva. Tale specifica si applica sia ai sistemi di nuova progettazione sia ai sistemi esistenti; essa riguarda gli impianti di climatizzazione e quelli per il solo raffrescamento.

Così come avviene per la climatizzazione invernale, anche per il calcolo del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione estiva si parte da un fabbisogno di energia ideale utile calcolato secondo la UNI/TS 11300-1, azzerando eventualmente il termine $Q_{C,ve}$. Questo qualora sia presente un'unità di trattamento aria; in tal caso il fabbisogno di energia per il trattamento è ricalcolato nella UNI/TS 11300-3.

Dato quindi un fabbisogno ideale per raffrescamento si calcolano le perdite dei vari sottosistemi nei quali può essere suddiviso l'impianto di climatizzazione. Si hanno quindi perdite di:

- emissione: calcolate a partire da rendimenti di emissione precalcolati a seconda della tipologia di unità terminali (ventilconvettori, bocchette, pannelli radianti, ecc.);
- regolazione: calcolate a partire da rendimenti di regolazione precalcolati a seconda della tipologia di regolazione (centralizzata, per zona, per ambiente) e della banda di modulazione;
- distribuzione: sono calcolate le perdite sia dei circuiti con fluido termo-vettore acqua sia dei circuiti con fluido termo-vettore aria. Sono previsti metodi più o meno analitici a seconda del numero di dati e di informazioni a disposizione dell'utente. Riguardo le canalizzazioni dell'aria correnti in ambienti non climatizzati o all'esterno, sono calcolate anche le perdite di massa oltre alle perdite termiche;
- accumulo: si calcolano le perdite dei serbatoi di accumulo di acqua refrigerata presenti con metodologia analoga a quella della UNI/TS 11300-2.

Una volta ricavate le perdite di tali sottosistemi, vengono calcolate l'energia termica recuperata da recuperatori di calore ed il fabbisogno di energia per il trattamento dell'aria.

Successivamente si determinano le prestazioni della macchina frigorifera (a compressione di vapore o ad assorbimento), partendo dai dati forniti dai produttori nelle condizioni di riferimento e correggendo il coefficiente di prestazione (EER o GUE) per tener conto delle effettive condizioni di funzionamento (temperature agli scambiatori e fattori di carico). Tale correzione è effettuata attraverso una serie di fattori forniti nelle appendici della specifica tecnica.

Conoscendo le prestazioni della macchina frigorifera e calcolando il fabbisogno di tutti gli ausiliari elettrici presenti, è quindi possibile ricavare il fabbisogno di energia primaria degli impianti di climatizzazione estiva.

Quanto descritto rappresenta lo schema di calcolo dell'attuale UNI/TS 11300-3.

D.4. La specifica tecnica UNI/TS 11300-4:2012

La UNI/TS 11300-4:2012 integra la UNI/TS 11300-2:2012 per quanto concerne la generazione del calore con processi diversi dalla combustione a fiamma e con vettori energetici differenti dai combustibili liquidi e gassosi, come rappresentato, al fine di fornire un quadro sintetico, nella Figura D.2.

Gli impianti che utilizzano energie rinnovabili e processi di diversi dalla combustione a fiamma sono generalmente impianti polivalenti, ossia impianti comprendenti due o più generatori alimentati con differenti vettori energetici. In questi casi, la produzione di energia termica utile dei generatori confluisce, direttamente o tramite accumuli, in un circuito primario di distribuzione, che alimenta circuiti di zona.

A titolo indicativo di tali impianti, la Figura D.2 evidenzia i generatori, i vettori energetici e le parti della UNI/TS 11300:2012 alle quali si fa riferimento per i calcoli.

La pompa di calore utilizza come sorgente di calore a bassa entalpia aria esterna, che può rientrare nella valutazione di energia rinnovabile, valutata in base all'"efficienza energetica" con il "coefficiente di prestazione" (COP) della macchina.

La UNI/TS 11300-4:2012 fornisce indicazioni sulla ripartizione dei fabbisogni tra i vari generatori in impianti polivalenti, pur rientrando la decisione in merito al dimensionamento dei generatori e alla ripartizione dei fabbisogni nell’ambito progettuale.

Tale aspetto è importante nei due casi di impianti bivalenti con pompa di calore, in particolare con sorgente aria, e con unità cogenerative e generatori a combustione o di altro tipo.

La UNI/TS 11300-4:2012, considerando le notevoli potenzialità di utilizzazione delle pompe di calore nel nostro Paese, con particolare riguardo alle versioni con sorgente aria, colma una lacuna esistente nella normativa europea in merito alla valutazione delle prestazioni delle pompe di calore con il metodo semistazionario mensile.

Nel caso delle macchine aria/aria e aria/acqua la valutazione è effettuata sulla base di intervalli elementari mensili di temperatura (bin) calcolati in base ai dati climatici della località forniti dalla pertinente normativa tecnica. La metodologia di calcolo è definita anche per le sorgenti geotermiche ed idrotermiche.

Pur non essendo una norma di progettazione, ma solo di verifica, la UNI/TS 11300-4:2012 fornisce indispensabili indicazioni in merito alla ripartizione del carico tra pompa di calore e generatore di supporto, quando in base al dimensionamento della macchina e alle condizioni climatiche della località considerata è prevista l’integrazione con altro generatore, ai fini di ottimizzare le prestazioni energetiche del sistema. A tale riguardo, si rinvia al testo normativo e ai relativi diagrammi e formule per il calcolo.

Nella specifica tecnica vengono considerate pompe di calore elettriche a compressione di vapore azionate da motore elettrico o da motore endotermico e pompe di calore con ciclo ad assorbimento; viene definita la metodologia di calcolo della potenza termica utile, del coefficiente di prestazione e del relativo fattore correttivo per fattori di carico macchina minori di 1 in qualsiasi condizione di esercizio sulla base dei dati dichiarati dal fabbricante.

Sono, inoltre, trattati in questa parte gli impianti alimentati da unità di micro e piccola cogenerazione azionate da motore a combustione interna a combustibile liquido o gassoso (ciclo Diesel o Otto). Le macchine sono, in questo caso, considerate generatori di calore funzionanti a carico termico a seguire nelle due modalità a punto fisso, riservato in genere ai microcogeneratori di potenza elettrica fino a 50 kW di potenza elettrica, e a carico termico variabile entro il campo dichiarato dal fornitore.

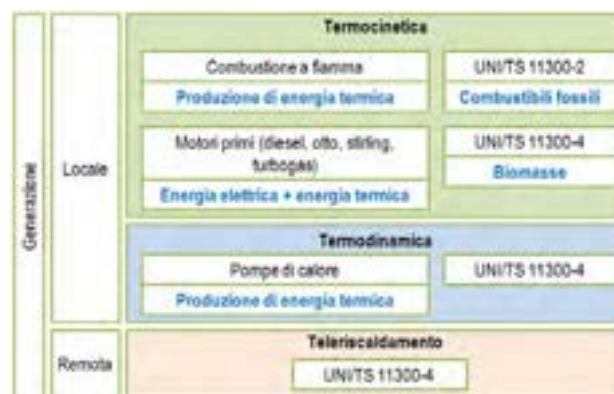


Figura D.2. “Sistemi di generazione”.

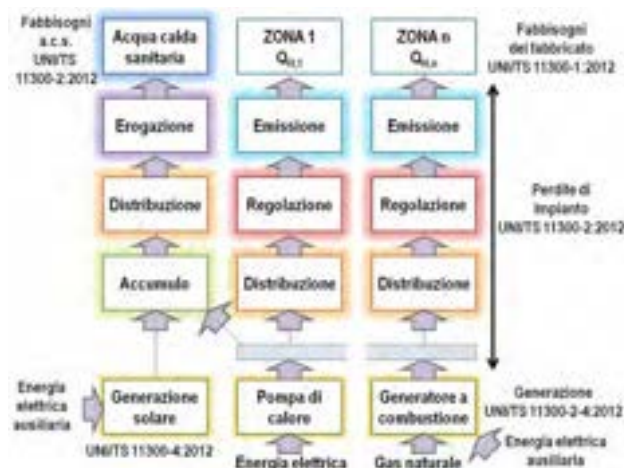


Figura D.3. “Schema indicativo di impianto polivalente”.

Nel caso di cogenerazione sono considerati i periodi:

- di non attivazione della climatizzazione per sola produzione di acqua calda sanitaria;
- di attivazione della climatizzazione estiva per produzione di acqua refrigerata mediante macchina frigorifera ad assorbimento, oltre che per post riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria.

Anche nel caso della cogenerazione, la UNI/TS 11300-4:2012 colma una lacuna esistente nella normativa EPBD ai fini di un dettagliato calcolo su base mensile e definisce i criteri di valutazione e verifica per un corretto inserimento sul piano energetico e dei costi di investimento delle unità cogenerative negli impianti termici.

La generazione con combustione a fiamma da bioliquidi e biogas può essere valutata secondo l’appendice B della UNI/TS 11300-2:2012, e nei casi di tali vettori energetici in unità cogenerative azionate da motore a combustione interna la valutazione può essere effettuata secondo la UNI/TS 11300-4:2012.

Per la combustione a fiamma di biomasse solide la specifica tecnica fornisce dati di default da utilizzare quando non siano disponibili quelli forniti dal fabbricante.

Per il teleriscaldamento si prende in considerazione l’impianto a partire dal punto di consegna all’edificio e si specifica come determinare le perdite termiche della sottostazione; il calcolo si effettua secondo la UNI/TS 11300-2:2012. Per tutto ciò che è a monte del punto di consegna (produzione e distribuzione) si deve fare riferimento al fattore di conversione dell’energia termica utile fornita in energia primaria dichiarato dal fornitore.

Nei casi di centrale termica di quartiere, che non rientrino nelle condizioni previste per le reti di teleriscaldamento, si rinvia alla UNI/TS 11300-2:2012, che prevede il calcolo delle perdite della rete di collegamento tra i generatori e della rete di distribuzione primaria agli edifici serviti. In questo caso, nell’intervallo di calcolo considerato, la somma delle perdite di generazione e del totale delle perdite di distribuzione viene ripartita pro quota tra gli edifici serviti.

Relativamente all’energia rinnovabile fornita in loco si considera:

- energia solare per produzione di energia termica (solare termico);
- energia solare per produzione di energia elettrica (solare fotovoltaico);

Le metodologie di calcolo recepiscono le corrispondenti norme UNI EN fornendo a supporto esempi di calcolo.

In conclusione di questa sintetica presentazione, si ritiene utile precisare che la UNI/TS 11300-4:2012 si inserisce in uno scenario tecnologico in rapida evoluzione con l’entrata sul mercato di componenti innovativi di indubbio interesse per i quali non è, nell’immediato, sempre possibile fornire metodologie di calcolo e dati sufficientemente attendibili per l’inserimento in un testo normativo.

La UNI/TS 11300:2012, in particolare la parte 4 e, in qualche misura, anche la parte 2 devono essere considerate un percorso che, in una struttura generale di calcolo, può recepire attraverso parti successive, integrazioni per tutte le opportunità offerte dal mercato avvalendosi della partecipazione e dei contributi dei tecnici delle aziende produttrici.

ALLEGATO E . SCHEDE EDIFICI DI RIFERIMENTO

(vedi pdf allegati)