


Michele Sanfilippo

PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

LEGISLAZIONE - CALCOLO - REQUISITI - APE -
SIMULAZIONI E CASI DI STUDIO

3ª Edizione

 Legislazione Tecnica

© Copyright Legislazione Tecnica 2017

La riproduzione, l'adattamento totale o parziale, la riproduzione con qualsiasi mezzo, nonché la memorizzazione elettronica, sono riservati per tutti i paesi.

Finito di stampare nel mese di settembre 2017 da
Press Up S.r.L. - Sede Legale: Via Catone, 6 - 00192 Roma (Rm)
Sede Operativa: Via Cassia Km 36,300 Zona Ind.le Settevene - 01036 Nepi (Vt)

Legislazione Tecnica S.r.L.
00144 Roma, Via dell'Architettura 16

Servizio Clienti
Tel. 06/5921743 – Fax 06/5921068
servizio.clienti@legislazionetecnica.it

Portale informativo: www.legislazionetecnica.it
Shop: ltshop.legislazionetecnica.it

I contenuti e le soluzioni tecniche proposte sono espressioni dell'esperienza maturata nel corso degli anni dagli Autori. Esse possono, quindi, soltanto essere fatte proprie dal lettore, o semplicemente rigettate, ed hanno l'intento di indirizzare e supportare il tecnico nella scelta della soluzione che maggiormente si adatta alla situazione oggetto di analisi. Rimane, pertanto, a carico del tecnico la selezione della soluzione da adottare. Il lettore utilizza il contenuto del testo a proprio rischio, ritenendo indenne l'Editore e gli Autori da qualsiasi pretesa risarcitoria.

INDICE

PREFAZIONE (a cura di Roberto Zecchin)	7
INTRODUZIONE	8
1. LA LEGISLAZIONE NAZIONALE PER L'EFFICIENZA ENERGETICA DEGLI EDIFICI	15
1.1 La Legge 373/1976	15
1.2 La classificazione degli edifici in categorie	17
1.3 Le zone climatiche	18
1.4 La Legge 10/1991 e il D.P.R. 412/1993	19
1.4.1 I requisiti minimi di efficienza energetica	20
1.4.1.1 Il rendimento globale medio stagionale η_g	20
1.4.1.2 Il fabbisogno energetico normalizzato per la climatizzazione invernale (FEN)	21
1.4.2 La relazione tecnica sul rispetto delle prescrizioni	22
1.5 La direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico	23
1.6 La direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia	24
1.7 Il D. Leg.vo 192/2005	24
1.7.1 Generalità	24
1.7.2 Ambito di intervento	30
1.7.3 Tipologie di intervento	30
1.7.4 Definizioni	32
1.8 L'edificio di riferimento	33
1.8.1 Parametri relativi al fabbricato	33
1.8.2 Parametri relativi agli impianti	34
1.9 L'edificio di riferimento standard	37
1.10 Edifici ad energia quasi zero	38
1.11 Confronto tra edificio reale, di riferimento e NZEB	39
2. IL CALCOLO DEL FABBISOGNO ENERGETICO	41
2.1 Energia termica utile per la climatizzazione invernale	42
2.2 Energia termica utile per la climatizzazione estiva	43
2.3 Energia primaria	44

3. LA PRESTAZIONE ENERGETICA	47
3.1 Generalità	47
3.2 Indici di prestazione energetica e valori limite	55
4. I REQUISITI MINIMI PER I DIVERSI INTERVENTI	59
4.1 Nuovi edifici e ristrutturazioni importanti di primo livello	60
4.2 Ampliamenti di volume lordo maggiore del 15% o di 500 m ³	65
4.3 Ristrutturazioni importanti di secondo livello	67
4.4 Riqualificazioni energetiche	69
4.4.1 Interventi su involucro	71
4.4.2 Impianti di climatizzazione invernale	73
4.4.3 Sostituzione di generatori di calore	74
4.4.4 Impianto di climatizzazione estiva	75
4.4.5 Sostituzione di macchine frigorifere	75
4.4.6 Impianti idrico-sanitari	76
4.4.7 Impianti di illuminazione	76
4.4.8 Impianti di ventilazione	77
4.4.9 Ascensori e scale mobili	77
5. LA CLASSIFICAZIONE ENERGETICA	79
5.1 Classi energetiche	79
5.2 Consumi e classi energetiche	80
6. LA CERTIFICAZIONE ENERGETICA	89
6.1 L'attestato di prestazione energetica	89
6.2 Requisiti dei soggetti abilitati alla certificazione	95
6.2.1 Qualificazione professionale	95
6.2.1.1 <i>Tecnici abilitati singolarmente senza</i> <i>obbligo di formazione specifica</i>	96
6.2.1.2 <i>Tecnici abilitati in collaborazione con altri</i> <i>senza obbligo di formazione specifica</i>	102
6.2.1.3 <i>Tecnici abilitati singolarmente a seguito</i> <i>di formazione specifica</i>	103
6.2.1.4 <i>Corsi</i>	107
6.2.2 Indipendenza	109

6.3	Procedura di certificazione energetica secondo le Linee guida	109
6.4	L'attestato di qualificazione energetica	110
7.	CASI STUDIO	115
7.1	Premessa	115
7.2	Casi studio con rapporto di forma S/V 0,9	120
7.2.1	Requisiti energetici relativi al fabbricato ($EP_{H,nd}$ ed $EP_{C,nd}$)	120
7.2.2	Requisiti energetici relativi all'edificio (EP_H , EP_C , EP_{gl})	128
7.2.2.1	<i>Impianto I1 caldaia senza rinnovabili</i>	128
7.2.2.2	<i>Impianto I2, caldaia con fotovoltaico 3 kWp</i>	133
7.2.2.3	<i>Impianto I3, caldaia con solare termico per ACS</i>	134
7.2.2.4	<i>Impianto I4, pompa di calore senza impianti solari</i>	135
7.2.2.5	<i>Impianto I5, pompa di calore con impianto fotovoltaico</i>	136
7.2.2.6	<i>Impianto I6, pompa di calore con impianto fotovoltaico e solare termico</i>	138
7.2.2.7	<i>Confronti di efficacia sul profilo energetico</i>	139
7.2.2.8	<i>Efficacia sul profilo della spesa teorica per combustibile</i>	143
7.3	Casi studio con diversa categoria edificio	146
7.4	Casi studio con rapporto di forma S/V 0,4	150
7.4.1	Requisiti energetici relativi al fabbricato ($EP_{H,nd}$ ed $EP_{C,nd}$)	150
7.4.2	Requisiti energetici relativi all'edificio (EP_H , EP_C , EP_{gl})	154
7.5	Efficacia degli interventi su edifici esistenti	161
7.6	Confronto tra edificio reale, edifici di riferimento e NZEB	169

MICHELE SANFILIPPO

Laureato in ingegneria meccanica presso l'Università di Padova, progettista e consulente nel settore dell'efficienza energetica degli edifici, svolge la libera professione a Padova.

Ha insegnato in diversi corsi di formazione sull'efficienza energetica degli edifici organizzati da Ordini professionali degli Ingegneri e degli Architetti del Veneto.

Ha svolto attività seminariali per il corso di Aggiornamento Professionale in Fisica ed Energetica degli edifici presso il Dipartimento di Fisica Tecnica dell'Università di Padova.

È stato membro del comitato tecnico scientifico dell'AICARR per l'organizzazione dei convegni annuali di Padova, Bari e Catania.

Ringraziamenti

Un ringraziamento a tutti gli amici con i quali ho potuto discutere ed approfondire i diversi aspetti tecnici e legislativi.

Un ringraziamento particolare ai professori Roberto Zecchin, Michele De Carli (Università di Padova) e Piercarlo Romagnoni (Università IUAV di Venezia), all'architetto Francesco Bernardi, agli ingegneri Andrea Barutta, Luciano Benetti (docente di Impianti termotecnici all'ITIS Marconi di Padova) e Giuseppe Emmi (Dipartimento di Ingegneria Industriale - Università di Padova), ai periti industriali Gianfranco Zago e Daniele Giacomini.

PREFAZIONE

Se si confronta l'indice di questo volume con quello dell'edizione precedente, che copriva la legislazione e la normativa fino a tutto il 2013, ci si rende conto di quante novità siano intervenute in questi ultimi tre anni, e l'accurata introduzione che segue ne dà un preciso inquadramento.

Certamente il quadro legislativo e normativo diventa sempre più complesso e i vincoli sono sempre più stringenti: edifici a energia quasi zero, requisiti minimi, edificio di riferimento, valori limite, impongono scelte avvedute, per evitare inadempienze, da una parte, o eccessi di cautela - e di spesa - difficilmente giustificabili, dall'altra.

Sarebbe bello svegliarsi un giorno e trovare sulla Gazzetta Ufficiale un "*Testo unico sull'efficienza energetica degli edifici*", ma credo sia una cosa destinata a rimanere nel libro dei sogni. Nel frattempo credo di poter ribadire quanto ho scritto in diverse pubblicazioni: la certificazione energetica deve essere interpretata come un percorso di progettazione dell'efficienza, del quale la verifica formale costituisce un atto finale, automaticamente positivo se le scelte progettuali sono appropriate.

Come sempre l'approccio metodologico di Michele Sanfilippo è preciso e ben documentato, corredato da utili casi di studio e interessanti discussioni.

Prof. Ing. Roberto Zecchin
Già ordinario di Impianti termotecnici
Università di Padova

INTRODUZIONE

La prima edizione di questo volume è stata stampata nel dicembre del 2013 ed era aggiornata alla legislazione vigente fino al mese precedente.

La seconda edizione teneva conto degli aggiornamenti legislativi e normativi dal dicembre 2013 a ottobre 2014 e cioè fino alla pubblicazione della Legge 3 agosto 2013, n. 90 che ha recepito la direttiva 2010/31/UE. In questo periodo è stato modificato il D.P.R. 16 aprile 2013, n. 75 (relativo ai requisiti dei certificatori energetici), la normativa tecnica ha subito significativi aggiornamenti con la pubblicazione il 2 ottobre 2014 delle nuove versioni di alcune norme della serie UNI 11300.

L'attuazione delle novità introdotte dalla Legge 90/2013 è avvenuta, tuttavia, solo a partire dal 1° ottobre 2015, data di entrata in vigore dei due decreti attuativi emanati dal Ministero dello sviluppo economico il 26 giugno 2015. Questi decreti definiscono: l'uno i nuovi requisiti minimi di prestazione energetica (e sostituisce il D.P.R. 2 aprile 2009, n. 59) e l'altro le nuove procedure per la certificazione energetica degli edifici. Per semplicità di lettura questi due decreti verranno di seguito indicati come: D.M. Requisiti minimi e D.M. Linee Guida APE.

Con la pubblicazione della Legge 90/2013 è iniziata una nuova fase legislativa che, in attuazione delle direttive comunitarie, si pone l'obiettivo di ridurre significativamente il consumo di fonti energetiche non rinnovabili degli edifici, con particolare attenzione a quelli esistenti. Come riportato all'art. 1 la finalità della legge è promuovere *“il miglioramento della prestazione energetica degli edifici tenendo conto delle condizioni locali e climatiche esterne, nonché delle prescrizioni relative al clima degli ambienti interni e all'efficacia sotto il profilo dei costi”*.

L'efficacia sotto il profilo dei costi, come meglio sintetizzato in seguito, significa trovare le soluzioni più convenienti per raggiungere lo stesso risultato energetico.

La disposizione più importante è riportata all'art. 4-bis: *“A partire dal 31 dicembre 2018, gli edifici di nuova costruzione occupati da pubbliche amministrazioni e di proprietà di queste ultime, ivi compresi gli edifici scolastici, devono essere edifici a energia quasi zero. Dal 1° gennaio 2021 la predetta disposizione è estesa a tutti gli edifici di nuova costruzione”*.

Un edificio ad energia quasi zero è definito come: *“edificio ad altissima prestazione energetica, calcolata conformemente alle disposizioni del presente decreto, che rispetta i requisiti definiti al decreto di cui all’articolo 4, comma 1. Il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo è coperto in misura significativa da energia da fonti rinnovabili, prodotta in situ”*.

Quindi l’approccio suggerito è quello di ridurre il fabbisogno di energia totale con misure di efficienza energetica e di ricorrere alle fonti rinnovabili per coprire quello residuo.

La Legge 90/2013, che ha recepito la direttiva 2010/31/UE, introduce il *“livello ottimale in funzione dei costi”* e *“l’edificio di riferimento”*. Il primo concetto è inteso come *il livello di prestazione energetica che comporta il costo più basso durante il ciclo di vita economico stimato*.

Il costo da considerare è quello globale relativo agli aspetti energetici dell’edificio (isolamento termico, impianti, ecc.) ed è composto dalla spesa iniziale per la costruzione o la ristrutturazione, dai costi di esercizio e dai costi di smaltimento.

L’*edificio di riferimento* (o target) per un edificio sottoposto a verifica progettuale, diagnosi, o altra valutazione energetica è un *“edificio identico in termini di geometria (sagoma, volumi, superficie calpestabile, superfici degli elementi costruttivi e dei componenti), orientamento, ubicazione territoriale, destinazione d’uso e situazione al contorno, e avente caratteristiche termiche e parametri energetici predeterminati”*.

L’edificio di riferimento ed i nuovi metodi di calcolo della prestazione energetica sono stati definiti dal D.M. Requisiti minimi.

Tra i principi generali alla base del metodo di calcolo vanno evidenziati i seguenti:

- *il fabbisogno energetico annuale globale si calcola per singolo servizio energetico, espresso in energia primaria, su base mensile; con le stesse modalità si determina l’energia rinnovabile prodotta all’interno del confine del sistema;*
- *si opera la compensazione mensile tra i fabbisogni energetici e l’energia rinnovabile prodotta all’interno del confine del sistema, per vettore energetico e fino a copertura totale del corrispondente vettore energetico consumato.*

Per la prestazione energetica deve essere calcolata la quota fornita dalle fonti rinnovabili e quella derivante dalle fonti non rinnovabili. Quest’ultima è quella di riferimento per la classificazione energetica dell’edificio.

Secondo i criteri generali di calcolo non tutta l'energia prodotta da fonti rinnovabili contribuisce a migliorare la classe energetica, ma solo quella che rispetta i vincoli di cui sopra e precisati ora nel D.M. Requisiti minimi.

Realizzare un edificio che produce più energia di quanta ne consuma non è ritenuto valido dal punto di vista energetico. Ciò in quanto l'energia, se non serve per l'edificio stesso, si produce con maggiore efficienza con impianti destinati alla produzione di energia, che garantiscono, per diversi motivi, livelli maggiori di rendimento. Fissati questi paletti il progettista, per migliorare la classe energetica in relazione alla fattispecie, valuterà le migliori soluzioni tra interventi di efficienza energetica (per ridurre alla fonte i consumi non energetici ad un livello ottimale) e l'installazione di impianti alimentati da fonti rinnovabili per azzerare (o quasi) i consumi di combustibili fossili. Questo anche in relazione all'efficacia sotto il profilo dei costi. Che, come già detto, non significa realizzare edifici che consumano di più ma edifici che consumano poco o nulla e che costano meno (riduzione del fabbisogno energetico totale dell'edificio con interventi sull'involucro e sugli impianti).

Si adotteranno le soluzioni che, da un lato, riducono il costo iniziale dell'intervento e, dall'altro, i costi di esercizio. Questi ultimi non sono solo quelli relativi al consumo di combustibile, che per edifici a basso consumo energetico diventano trascurabili o quasi, ma anche e soprattutto quelli relativi alla manutenzione in generale, compresi i costi di sostituzione degli elementi edilizi o degli impianti in base al ciclo di vita degli stessi.

Ridurre il costo di esercizio equivale ad aumentare il valore dell'edificio soprattutto quando, in un prossimo futuro, questo indicatore assumerà ancora maggiore visibilità.

La classe energetica non è un indicatore sufficiente a valutare la qualità e quindi il valore di un edificio. Una classe A può essere raggiunta con interventi di ottimizzazione dell'involucro, che riducono il fabbisogno totale di energia primaria alla fonte, o con un contributo "eccessivo" degli impianti alimentati da fonti rinnovabili. In quest'ultimo caso i costi di esercizio saranno significativamente maggiori non solo per i costi di manutenzione ma anche per la loro sostituzione alla fine della vita utile.

Il progettista oltre a considerare la classe energetica, che è riferita a modalità d'uso standard, deve fare riferimento anche e soprattutto alle modalità d'uso reali (per quanto queste possono essere note in sede di progettazione) che possono essere significativamente diverse da quelle standard. Ad esempio una semplificazione prevista

per la determinazione della classe energetica è di considerare temperatura ambiente e carichi interni costanti per tutto il giorno e per tutta la stagione di riscaldamento. Progettare un edificio limitandosi a considerare solo la classe energetica può portare a edifici che solo in teoria sono efficienti energeticamente. Si pensi ad esempio ad un edificio scolastico: non solo la temperatura ambiente varia nell'arco della giornata ma anche i carichi interni hanno una variazione notevole dovuta alla presenza degli studenti. In un'aula con 30 persone all'inizio delle lezioni i carichi interni passano da un valore quasi nullo a più di 3 kW se si considerano gli apporti delle persone, dell'illuminazione artificiale e di altre apparecchiature elettriche. Senza considerare poi ambienti particolari quali ad esempio le aule informatiche dove, oltre al carico delle persone, si aggiunge quello dei computer. In questi casi l'eccessivo isolamento termico dell'involucro e l'uso di impianti di riscaldamento ad elevata inerzia termica possono creare situazioni di discomfort dovute alla difficoltà di una termoregolazione efficace degli ambienti.

Un principio fondamentale degli edifici ad elevata prestazione energetica è che non esistono soluzioni progettuali valide in assoluto; a maggior ragione se si deve considerare anche l'efficacia sotto il profilo dei costi. Qualsiasi scelta può essere valida in un certo contesto ma addirittura può risultare inefficace oltre che inefficiente in altri.

Una scelta deve essere analizzata considerando il caso specifico ed in particolare le condizioni climatiche, le modalità d'uso, eventuali soluzioni alternative ed applicando un approccio integrato che valuti gli effetti su tutti gli usi energetici: climatizzazione invernale ed estiva, produzione di acqua calda sanitaria, illuminazione. Infine occorre analizzare anche gli effetti su altri fattori che influenzano la qualità dell'edificio quali ad esempio: i requisiti di benessere termoigrometrico, la qualità dell'aria, il fattore di luce diurna, i requisiti acustici.

Una abitazione, un ufficio, una scuola, un impianto sportivo, un negozio hanno modalità d'uso completamente diverse. Diversi sono i carichi termici interni e la variabilità degli stessi, diversi sono gli orari di utilizzo, diverse le esigenze di ventilazione ecc.

Nel caso della climatizzazione invernale migliorare l'efficienza energetica significa ottimizzare l'involucro per massimizzare gli apporti solari, ridurre le dispersioni termiche, installare impianti di riscaldamento ad elevato rendimento.

Nel caso della climatizzazione estiva, invece, l'involucro dev'essere ottimizzato per ridurre la radiazione solare entrante in particolare

con l'uso di schermature mobili, massimizzare gli scambi termici passivi (per consentire un efficace raffrescamento del fabbricato quando durante le ore notturne la temperatura esterna è più bassa), installare impianti di climatizzazione ad elevato rendimento.

Ridotto il fabbisogno energetico dei diversi servizi a livelli ottimali, per ridurre o annullare il consumo di combustibili fossili si farà ricorso agli impianti alimentati da fonti rinnovabili.

Dopo aver verificato l'efficacia sotto il profilo energetico occorre considerare l'efficacia sotto il profilo dei costi.

L'efficacia economica dell'isolamento termico dell'involucro edilizio si riduce all'aumentare dell'isolamento termico stesso, e quindi oltre un certo livello può essere più efficace sotto il profilo economico ricorrere ad altri interventi quali ad esempio impianti solari; non solo, ma se si considera oltre alla climatizzazione invernale anche quella estiva, aumentare l'isolamento potrebbe perdere di efficacia energetica peggiorando, come si vedrà negli esempi, la prestazione energetica globale.

Installare serramenti con triplo vetro con rivestimento basso emissivo, rispetto a un doppio vetro sempre con rivestimento basso emissivo, potrebbe aumentare il fabbisogno termico dell'involucro. Il triplo vetro, infatti, se da un lato ha una maggiore resistenza termica e quindi riduce le dispersioni, dall'altro ha una minore trasmittanza solare e ciò comporta una riduzione degli apporti solari passivi. Il bilancio può essere negativo, in particolare per zone climatiche non molto fredde e/o per esposizioni a sud. Inoltre è da considerare che il triplo vetro, oltre a costare di più, ha una minore trasparenza luminosa; ciò riduce quindi il fattore di luce diurna e il livello di illuminazione naturale.

La variazione del fattore di luce diurna va attentamente valutata negli interventi di riqualificazione energetica degli edifici esistenti ed in particolare per quegli edifici - ad esempio quelli scolastici, - dove l'illuminazione naturale assume una maggiore importanza. Il D.M. 18 dicembre 1975 fissava per le aule un valore del fattore medio di luce diurna di 0,03. Anche l'aumento dello spessore delle pareti, dovuto ad interventi di isolamento termico tipo cappotti, riduce il fattore di luce diurna in misura che può essere significativa in relazione sia alla variazione di spessore sia alle dimensioni dei fori delle finestre. La riduzione del fattore di luce diurna va considerata soprattutto per la sostituzione dei serramenti. I nuovi serramenti se da un lato riducono le dispersioni termiche dall'altro riducono la luce entrante a parità di foro. Ciò sia perché i nuovi serramenti hanno spesso telai più ingombranti e quindi si riduce

la superficie vetrata, sia perché la trasparenza luminosa dei nuovi componenti vetrati (soprattutto se tripli vetri con rivestimento basso emissivo) è significativamente inferiore; il fattore di luce diurna del fabbricato potrebbe ridursi al di sotto dei limiti di legge. Ad eccezione di zone climatiche particolarmente fredde difficilmente risulta valida, soprattutto per edifici scolastici, l'installazione di serramenti con triplo vetro. Isolare bene non significa isolare tanto.

Anche installare costosi e complessi impianti non sempre è una scelta valida, a volte neanche dal punto di vista energetico; vanno privilegiate soluzioni semplici che consentono di arrivare allo stesso risultato ottimizzando il sistema edificio-impianto in relazione alle caratteristiche di isolamento termico dell'involucro, alle condizioni climatiche, alle modalità d'uso, alla disponibilità di energia da fonti rinnovabili e considerando in modo integrato tutti i servizi energetici. Conviene servirsi di impianti che non solo riducono il fabbisogno di combustibile ma anche il costo iniziale ed i costi di gestione. Oggi, ad esempio, non si può più affermare in assoluto che, nel caso di edifici residenziali con una pluralità di utenze, sia più efficiente il ricorso ad impianti centralizzati rispetto a quelli autonomi. Ciò, da un lato, perché nel caso di involucri ben isolati le perdite di distribuzione dei fluidi termovettori sarebbero molto elevate in relazione al fabbisogno richiesto e, dall'altro, perché lo sviluppo tecnologico ha reso oggi disponibili sistemi di climatizzazione autonomi con rendimenti elevati anche per fabbisogni ridotti.

Anche la validità di installare recuperatori di calore negli impianti di ventilazione meccanica, solo a fini di risparmio energetico, va valutata attentamente. Il ricorso ad impianti di ventilazione con recuperatori di calore, rispetto ad impianti a semplice flusso, non solo aumenta sicuramente il costo iniziale e quello di manutenzione (pulizia di filtri e canali, sostituzione dei componenti alla fine del loro ciclo di vita, ecc.) ma, in alcuni casi, non dà nessun contributo energetico. I recuperatori di calore risultano efficienti sia dal punto di vista energetico sia da quello economico in edifici, quali ad esempio le scuole, caratterizzati da una portata significativa di aria di rinnovo.

In altri casi, ad esempio per gli edifici residenziali, dove le portate d'aria sono minori, l'installazione di impianti con recuperatori di calore, soprattutto se l'involucro è ben isolato termicamente, potrebbe non essere efficace dal punto di vista energetico al punto da peggiorare la prestazione energetica. Infatti per gli edifici ben isolati una buona percentuale dell'energia per il riscaldamento dell'aria di rinnovo è fornita dagli apporti gratuiti. L'energia termica recuperata

dall'aria espulsa, se le portate non sono significative, potrebbe essere inferiore all'aumento di consumo di energia elettrica dovuto alla maggiore potenza dei ventilatori rispetto ad un impianto di ventilazione a semplice flusso.

In sintesi, progettare edifici ad elevata prestazione energetica tenendo conto dell'efficacia sotto il profilo dei costi significa ottimizzare l'involucro per ridurre alla fonte i consumi, installare impianti che siano in grado di fornire con le minori perdite possibile i fabbisogni di energia finale dei diversi servizi energetici, e siano in grado di utilizzare al meglio le fonti di energia rinnovabili disponibili. Il tutto in modo integrato, ricercando quindi la migliore soluzione che consente di soddisfare i requisiti di benessere ambientale e raggiungere tanto l'obiettivo energetico quanto quello economico.

Il capitolo 1, dopo un richiamo sulla legislazione precedente, dalla quale derivano alcuni concetti tuttora validi, illustra il Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192 con le diverse modifiche apportate fino a quelle della Legge 90/2013.

Il capitolo 2 e 3 illustrano sinteticamente il calcolo del fabbisogno energetico e della prestazione energetica secondo la normativa vigente.

Il capitolo 4 elenca per ogni tipologia di intervento (nuovi edifici, ristrutturazioni, ecc.), i requisiti minimi richiesti.

I capitoli 5 e 6 affrontano i temi della classificazione e certificazione energetica e, infine, il capitolo 7 è dedicato alla verifica dei risultati degli indicatori di efficienza energetica per alcuni casi studio nei quali vengono analizzati gli effetti di diverse soluzioni progettuali.

Abbreviazioni

Decreto: Il D. Leg.vo 192/2005

DRM: D.M. 26/06/2015 "*D.M. Requisiti Minimi*"

DLG: D.M. 26/06/2015 "*D.M. Linee guida*"

NZEB: Edificio ad energia quasi zero

ACS: Acqua calda sanitaria



**Pagine non disponibili
in anteprima**



ambienti). Una parte dell'energia richiesta viene fornita dagli apporti termici utili (interni e solari). L'energia termica eventualmente mancante deve essere fornita dagli impianti e rappresenta il *fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento* (da cui si ottiene l'indice di prestazione termica utile per il riscaldamento $EP_{H,nd}$).

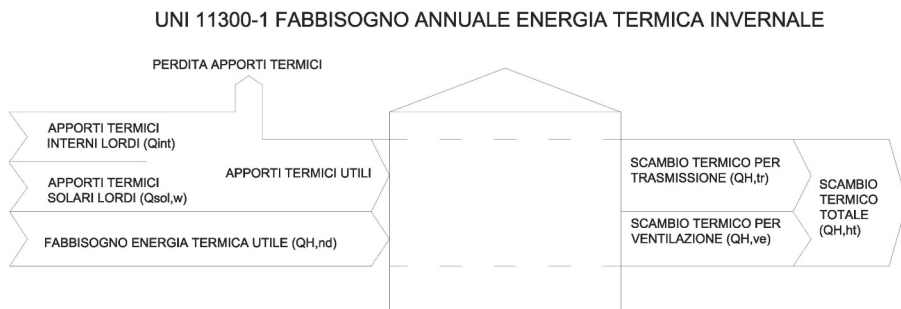


Figura 2.1 - Bilancio termico invernale annuale dell'involucro

Gli apporti termici utili sono una percentuale degli apporti termici totali. Ciò in quanto una parte degli apporti viene fornita quando l'edificio non riesce a sfruttarli; in questi casi gli apporti, invece di ridurre il fabbisogno, aumentano la temperatura dell'aria a valori superiori a quella di riferimento. Ciò si verifica in particolare nei mesi meno freddi della stagione di riscaldamento. La percentuale utile degli apporti termici è definita *fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica* ($\eta_{H,gn}$) e dipende dalle caratteristiche dell'involucro edilizio tra cui la capacità termica. Un involucro con buona capacità termica accumula una parte del calore in eccesso derivante dagli apporti utili in certi orari della giornata, e lo cede durante le ore in cui gli apporti utili sono insufficienti.

2.2 ENERGIA TERMICA UTILE PER LA CLIMATIZZAZIONE ESTIVA

Per la climatizzazione estiva (Figura 2.2), sempre molto schematicamente, partendo da sinistra sulla base delle condizioni d'uso dell'edificio e delle condizioni climatiche, si calcolano gli apporti termici interni (persone, illuminazione, ecc.) e gli apporti solari; la somma di questi due apporti rappresenta gli *apporti termici totali*, ed è l'energia termica da sottrarre agli ambienti per mantenere le condizioni di benessere previste.

Una parte di questa energia viene smaltita dagli *scambi termici utili* per ventilazione e per trasmissione. Questi scambi termici si verificano nei periodi in cui la temperatura esterna è inferiore alla temperatura di progetto interna. La differenza tra gli *apporti termici totali* e lo *scambio termico utile* deve essere sottratta dagli impianti di climatizzazione, questa quantità di energia rappresenta il *fabbisogno di energia termica utile per il raffrescamento* (da cui si ottiene l'indice di prestazione termica utile per la climatizzazione estiva $EP_{C,nd}$).

In Figura 2.2 è riportato a destra lo “*scambio termico totale*”, che è la somma degli scambi termici per trasmissione e per ventilazione. Gli scambi termici in estate sono come gli apporti termici in inverno, e come questi ultimi solo una parte è utile. La percentuale utile degli scambi termici è definita *fattore di utilizzazione delle dispersioni di energia termica* ($\eta_{c,ls}$).

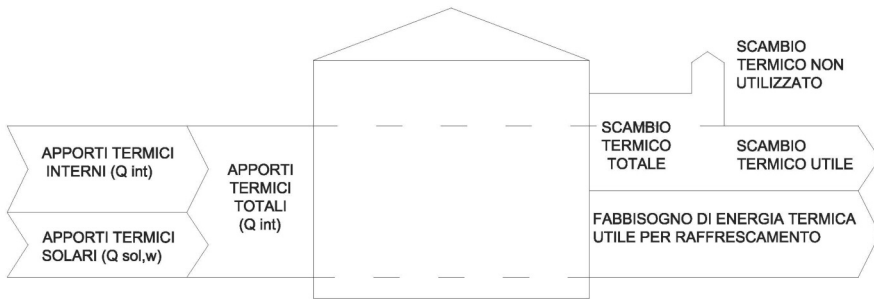


Figura 2.2 - Bilancio termico estivo annuale dell'involucro

2.3 ENERGIA PRIMARIA

Il fabbisogno di energia finale dei diversi usi energetici deve essere fornito dagli impianti, che trasformano l'energia delle fonti energetiche (rinnovabili e non) nella forma di energia finale richiesta (termica per la climatizzazione e per la produzione di acqua calda sanitaria, elettrica per l'illuminazione e per altri usi).

A parità di fabbisogno di energia finale la quantità di energia primaria richiesta varia in funzione dell'efficienza degli impianti. Il ricorso agli impianti alimentati da fonti rinnovabili determina poi le quote di energia primaria che provengono da fonti rinnovabili e non.

Facciamo un esempio di calcolo con norma UNI 11300-2 che consente di calcolare il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria nel caso di impianti dotati di generatori di calore, quali le caldaie, che producono esclusivamente energia termica dai combustibili fossili.

L'energia primaria relativa alla prestazione energetica si ottiene dai valori dei fabbisogni di energia termica ed elettrica forniti dalle UNI TS 11300 applicando poi i fattori di conversione di cui alla tabella 1 dell'Allegato 1 del DRM. Questi fattori tengono conto dei consumi energetici per i processi di conversione o trasformazione del vettore energetico (metano, energia elettrica, ecc.).

La Figura 2.3 schematizza la procedura di calcolo per la climatizzazione invernale.



**Pagine non disponibili
in anteprima**



5.2 CONSUMI E CLASSI ENERGETICHE

I valori degli indici di prestazione energetica che determinano la classe energetica, come già detto, sono relativi all'energia primaria non rinnovabile. È possibile quindi calcolare sulla base della classe energetica i relativi fabbisogni convenzionali di energia primaria. Gli esempi riportati si riferiscono ad edifici residenziali dotati di impianti di climatizzazione invernale ed estiva e di produzione di acqua calda sanitaria.

Vengono considerati gli edifici delle Figure 7.1 e 7.2 per tre città con condizioni climatiche significativamente diverse (Padova, Roma e Palermo) e considerando due rapporti di forma S/V: 0,9 e 0,4.

La Figura 5.1 riporta il valore massimo di $EP_{gl,nren}$ in kWh/m² anno per le 4 classi energetiche A per un rapporto di forma S/V 0,9.

Come si può notare, per tutte le città l'indice di cui sopra si riduce di circa 60 kWh/m²/anno passando dalla classe A1 alla classe A4.

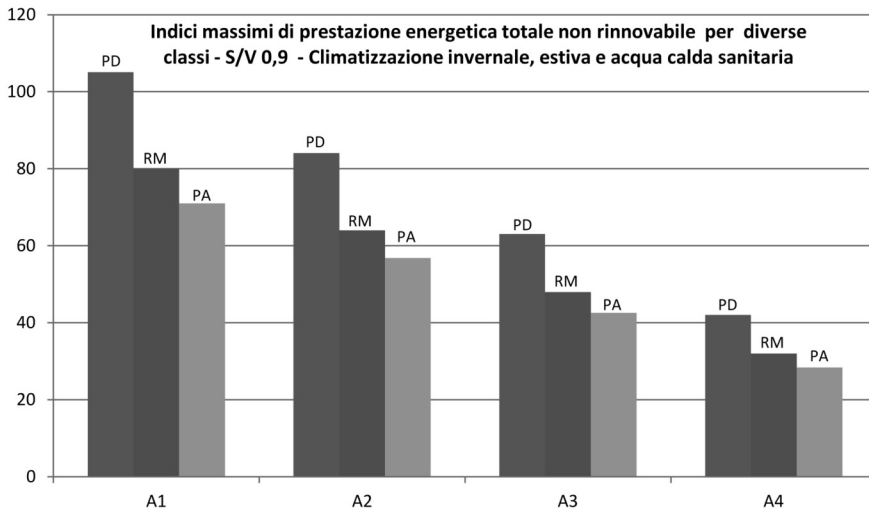


Figura 5.1 - Valori massimi dell'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile ($EP_{gl,nren}$) per le classi Ax (kWh/m² anno) considerando i servizi di climatizzazione invernale, estiva e la produzione di acqua calda sanitaria - S/V = 0,9

La Figura 5.2, ipotizzando che il sottosistema di generazione sia alimentato da energia elettrica (ad esempio una pompa di calore elettrica), riporta i valori massimi del fabbisogno di energia elettrica da rete dell'edificio (considerando che 1,95 kWh di energia primaria non rinnovabile equivale ad 1 kWh di energia elettrica).

La riduzione di consumo di energia elettrica da rete è di circa 3.500 kWh passando dalla classe A1 ad A4.

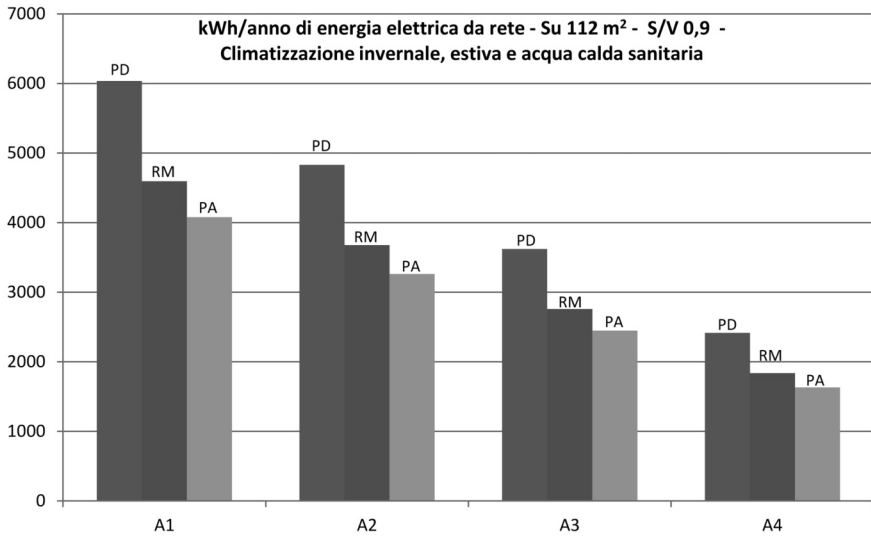


Figura 5.2 - Consumo energia elettrica da rete considerando pompa di calore elettrica aria-acqua per le classi Ax

Il relativo risparmio economico è riportato in Figura 5.3 considerando il costo dell'energia elettrica da rete di 0,25 €/kWh.

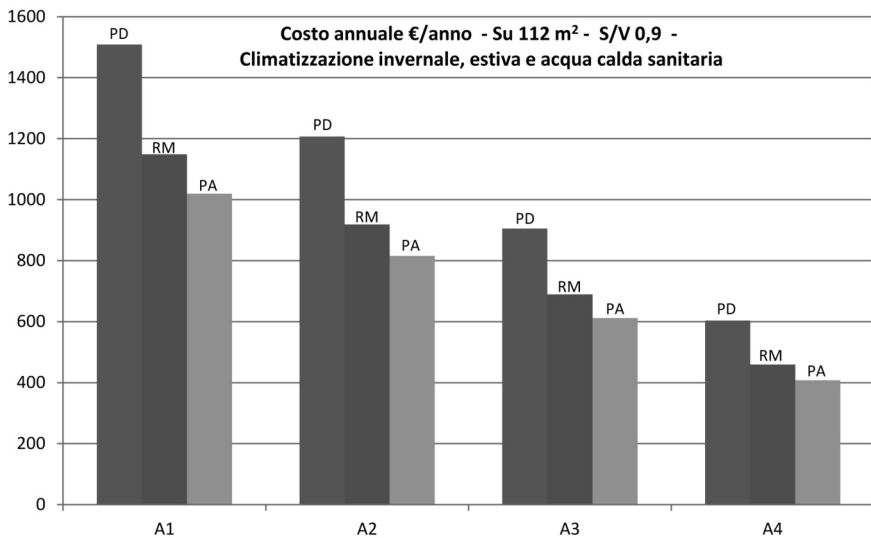


Figura 5.3 - Costo annuale ipotizzando un costo di 0,25 €/kWh dell'energia elettrica per la climatizzazione invernale, estiva e la produzione di acqua calda sanitaria



**Pagine non disponibili
in anteprima**

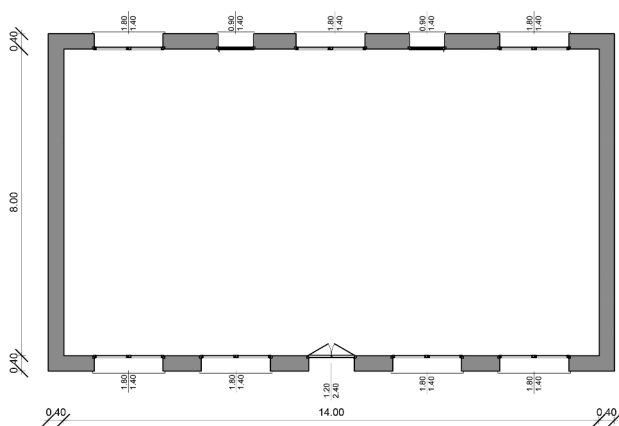


7

CASI STUDIO

7.1 PREMESSA

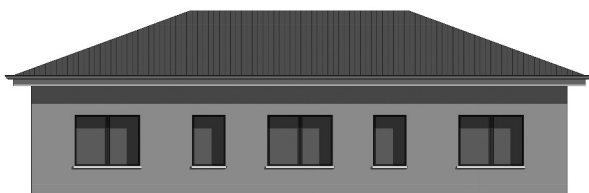
In questo capitolo vengono riportati degli esempi di calcolo relativi ad un fabbricato molto semplice geometricamente, ma significativo per analizzare il comportamento delle diverse grandezze energetiche al variare delle diverse scelte progettuali.



Pianta



Prospetto sud



Prospetto nord

Figura 7.1 - Il fabbricato del caso studio con SV/0,9

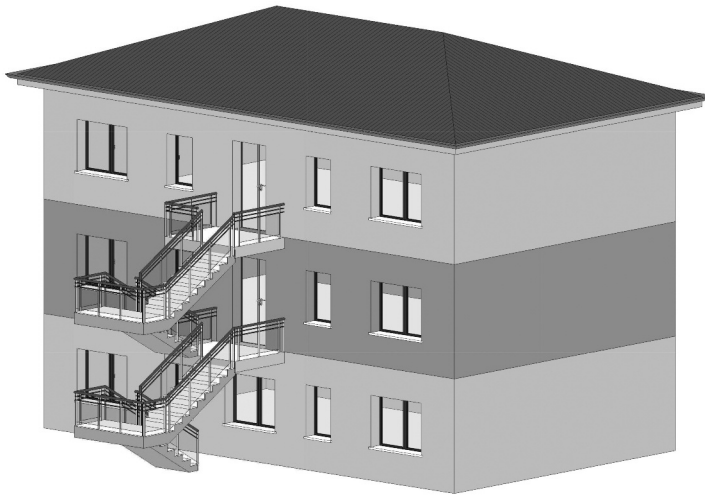


Figura 7.2 - Il fabbricato del caso studio al piano intermedio con SV/0,4

Vengono analizzati due rapporti di forma $S/V = 0,9$ e $S/V = 0,4$. Con $S/V 0,9$ si tratta di un'unità indipendente con pareti e copertura verso l'esterno e pavimento su terreno (Figura 7.1); con $S/V 0,4$ ci si riferisce a un'unità interpiano di un edificio multipiano con pavimento e soffitto confinanti con altre unità immobiliari climatizzate (Figura 7.2). La pianta rimane invariata nei due casi. Si considera il fabbricato con destinazione residenziale e si riporta poi un confronto considerandolo come ufficio.

Si considerano sempre impianti autonomi con i servizi energetici di climatizzazione invernale ed estiva e produzione di acqua calda sanitaria.

Lo stesso fabbricato viene analizzato su tre città con condizioni climatiche diverse: Padova, Roma e Palermo.

L'obiettivo è capire come variano i diversi indici energetici al variare delle scelte progettuali relative a:

- diverso isolamento termico delle strutture opache;
- diverse tipologie di finestre con vetro camera e triplo vetro;
- diversi fattori di assorbimento delle strutture opache;
- diversi fattori di schermature delle finestre;
- diverse tipologie impiantistiche.

Consideriamo come *caso base* il fabbricato con le caratteristiche riportate nelle Tabelle 7.1 e 7.2.



**Pagine non disponibili
in anteprima**



7.2.2 Requisiti energetici relativi all'edificio (EP_H , EP_C , EP_{gl})

Nei paragrafi precedenti sono stati analizzati i requisiti energetici relativi al comportamento del fabbricato. In questo paragrafo analizzeremo i requisiti energetici relativi all'edificio, considerando i fabbricati di cui sopra con gli impianti riepilogati in Tabella 7.4 (a pagina 119).

Valuteremo gli indici di prestazione energetica parziali per la climatizzazione invernale, estiva e per la produzione dell'acqua calda sanitaria nonché i diversi indici di prestazione energetica globale.

7.2.2.1 Impianto I1 caldaia senza rinnovabili

Analizziamo in questo paragrafo i fabbricati di cui ai casi c1, c2 e c3 (cambiando quindi solo il livello di isolamento dell'involucro) con l'impianto I1 (caldaia a condensazione e senza impianti alimentati da fonti rinnovabili). Le Figure 7.12, 7.13 e 7.14 riportano i valori degli indici di prestazione energetica parziale per la climatizzazione invernale riferiti all'energia non rinnovabile e totale ($EP_{H,nren}$, EP_H) e gli equivalenti per la climatizzazione estiva ($EP_{C,nren}$, EP_C).

Si nota evidentemente che non c'è molta differenza tra prestazioni energetiche totali e quelle riferite all'energia non rinnovabile. La differenza è dovuta alla quota di energia rinnovabile dell'energia elettrica di rete per il funzionamento delle apparecchiature elettriche degli impianti. Si nota inoltre come la differenza è più significativa per la climatizzazione estiva dove il vettore energetico utilizzato è solo l'energia elettrica da rete; mentre per la climatizzazione invernale il vettore energetico principale è il metano e solo in minima parte l'energia elettrica.

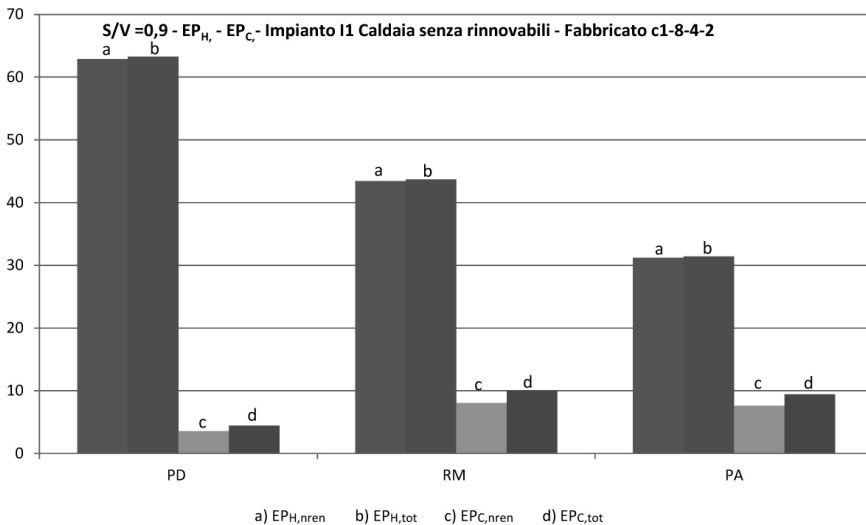


Figura 7.12 - EP_H ed EP_C [kWh/m^2], impianto I1, fabbricato c1

Dalle Figure 7.13 e 7.14 (relative a fabbricati più isolati) si vede come, all'aumentare dell'isolamento, si riduce la prestazione energetica parziale per la climatizzazione invernale ed aumenta quella estiva.

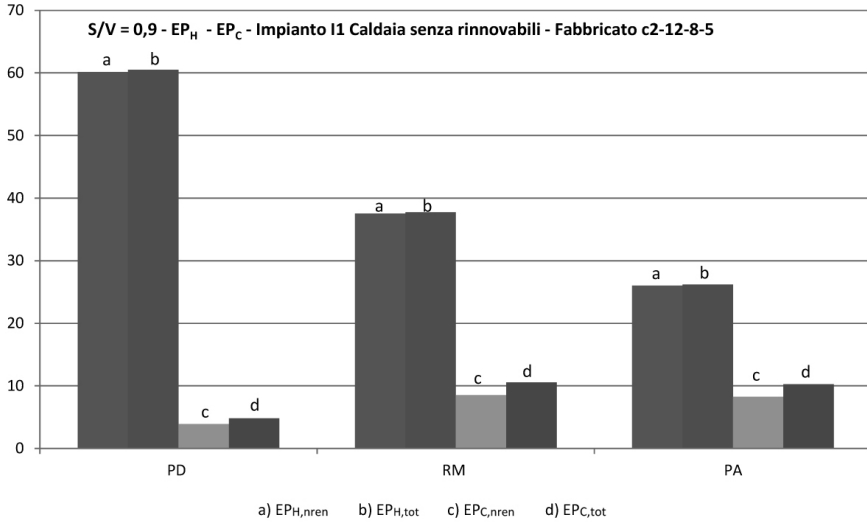


Figura 7.13 - EP_H ed EP_C [kWh/m²], impianto I1, fabbricato c2

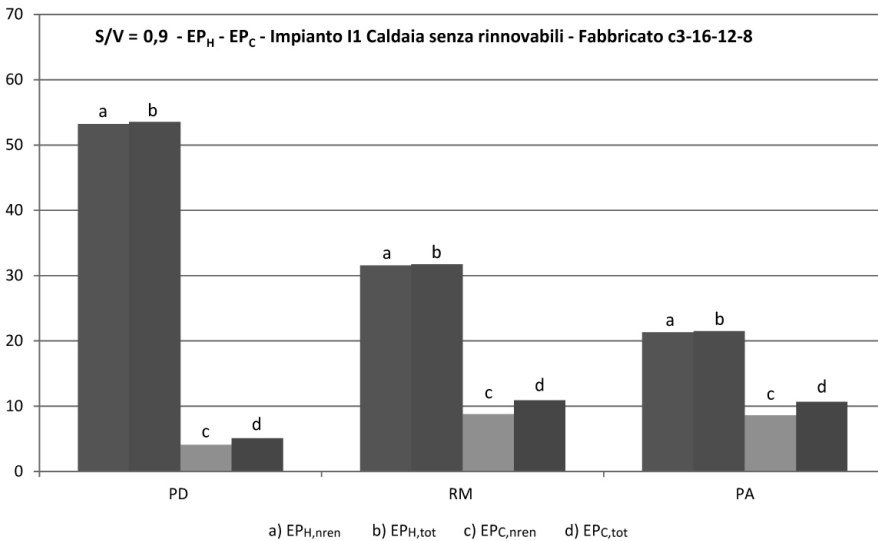


Figura 7.14 - EP_H ed EP_C [kWh/m²], impianto I1, fabbricato c3