



Ricerca di Sistema elettrico

Valutazione delle prestazioni energetiche (EP) negli edifici uso ufficio nZEB

G. Centi, C. Romeo, P. Signoretti, A. Griffo, E. Passafaro, F. Caffari

VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE (EP) NEGLI EDIFICI USO UFFICIO

G. Centi, C. Romeo, P. Signoretti, A. Griffo, E. Passafaro, F. Caffari (ENEA)

Dicembre 2018

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2018

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

Progetto: Edifici a energia quasi zero (nZEB), Studi sulla riqualificazione energetica del parco esistente di edifici pubblici mirata a conseguire il raggiungimento della definizione di edifici a energia quasi zero (nZEB)

Obiettivo: Individuazione delle criticità nella progettazione e realizzazione di interventi di riqualificazione a nZEB: implicazioni pratiche, normative e legislative

Responsabile del Progetto: Domenico Iatauro, ENEA

Responsabile scientifico dell'attività: Carlo Romeo, ENEA

Indice

SOMMARIO.....	4
SUMMARY.....	5
1 INTRODUZIONE.....	6
1.1 PREMESSA.....	6
1.2 RIFERIMENTI NORMATIVI E LINEE GUIDA.....	6
1.3 GLI EDIFICI NZEB IN ITALIA.....	7
2 IL CASO STUDIO ESAMINATO.....	10
2.1 LOCALITÀ GEOGRAFICHE DI RIFERIMENTO.....	10
2.2 SCELTA DELLA TIPOLOGIA DI EDIFICIO AD USO UFFICIO.....	11
2.3 I PARAMETRI DELL'EDIFICIO DI CAMPIONE.....	13
2.3.1 <i>I principali parametri relativi al fabbricato</i>	13
2.3.2 <i>I principali parametri relativi ai sistemi impiantistici</i>	14
<i>Climatizzazione invernale, estiva e produzione di acqua calda sanitaria</i>	14
<i>Ventilazione meccanica controllata</i>	16
<i>Illuminazione artificiale</i>	16
<i>Movimentazione di cose e persone</i>	17
2.3.3 <i>L'impianto solare fotovoltaico</i>	17
3 I RISULTATI DELLE SIMULAZIONI EFFETTUATE.....	18
4 ANALISI DI SENSIBILITÀ SUGLI INDICI PRESTAZIONALI.....	22
4.1 IL RAPPORTO TRA AREA SOLARE EQUIVALENTE ESTIVA E AREA DELLA SUPERFICIE UTILE.....	22
4.2 COEFFICIENTE MEDIO GLOBALE DI SCAMBIO TERMICO PER TRASMISSIONE PER UNITÀ DI SUPERFICIE DISPERDENTE.....	26
4.3 IL CONTRIBUTO DI ENERGIA DA FONTE RINNOVABILE (DLGS 28/2011).....	29
5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	31
6 BIBLIOGRAFIA.....	32
6.1 NORMATIVA TECNICA.....	32
6.2 LEGISLAZIONE.....	33
6.3 ALTRI RIFERIMENTI.....	34

Sommario

Le Direttive EPBD recast 2010/31/EU e 2018/844 sull'efficienza energetica negli edifici prevedono l'obbligo del raggiungimento di standard energetici molto ambiziosi per gli edifici di nuova costruzione occupati da enti pubblici a partire dal 31 dicembre 2018 e per tutti i nuovi edifici a partire dal 31 dicembre 2020.

Tale obbligo si concretizza con l'introduzione del concetto di "edifici a energia quasi zero" (nearly Zero-Energy Building, nZEB), definiti come edifici ad altissima prestazione energetica, il cui fabbisogno, molto basso o quasi nullo, dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili.

La Direttiva traccia la strada e gli obiettivi che ogni Stato Membro deve seguire per identificare un nZEB e per ottenere il target delineato.

Entro tale ambito spetta tuttavia ai singoli Paesi definire i requisiti minimi in termini di prestazione energetica all'interno di un'ottica di raggiungimento dei livelli ottimali di costo che tenga conto della soluzione ottimale risultato di un corretto equilibrio tra scelte tecnologiche, investimenti e tempi di rientro dei costi sostenuti.

In primo luogo si pone dunque il tema dell'individuazione di una definizione attuativa del concetto di nZEB.

Nei vari Paesi comunitari si sono seguite strade diverse.

Partendo da un'analisi comparativa dei diversi criteri adottati all'interno della Comunità Europea si descrivono i criteri scelti dal nostro paese per l'individuazione degli nZEB.

A seguito della Raccomandazione UE 2016/1318 della commissione del 29 luglio 2016 l'applicazione della definizione nZEB dovrà includere un indicatore numerico del consumo di energia primaria espresso in kWh/(m²anno).

Seguendo questa indicazione con il presente studio si è individuata una tipologia di edificio ad uso ufficio, facendo riferimento alle nuove costruzioni, cui sono stati applicati i requisiti minimi previsti dalla normativa nazionale per gli nZEB per cinque zone climatiche italiane (B, C, D, E e F).

Si sono quindi valutati i risultati ottenuti attraverso simulazioni con software di calcolo certificati che seguono la normativa tecnica di riferimento (serie UNI TS 11300) attraverso l'indicatore numerico del consumo di energia primaria espresso in kWh/(m²anno).

Questo rapporto, segue degli analoghi studi riferiti a modelli di edifici residenziali, presenterà i risultati di un set di simulazioni.

Summary

The EPBD recast Directive 2010/31/EU and e 2018/844 on energy efficiency in buildings require achieving highly ambitious energy standards. This obligation is expressed with the introduction of the concept of "near-Zero Energy Buildings". An nZEB means a building that has a very high energy performance. The nearly zero or very low amount of energy required should be covered to a very significant extent by energy from renewable sources, including energy from renewable sources produced on-site or nearby'.

All new buildings must have nearly zero or very low energy needs. This obligation is required to ensure that by 31 December 2020 all new buildings are nearly zero-energy buildings. The same nearly zero-energy target but with a shorter deadline of 31 December 2018 applies for new buildings occupied and owned by public authorities.

The directive outlines the road and the objectives that each Member State must follow to identify a target and nZEB outlined. While the EPBD sets the framework definition of nZEBs, its detailed application in practice (e.g. what is a 'very high energy performance' and what would be the recommended significant contribution of 'energy from renewable sources') is the responsibility of the Member States.

Within this context, however, individual countries define minimum energy performance requirements within a perspective of achieving cost-optimal levels taking into account the optimal outcome of a proper balance between technological decisions, investments and re-entry of the costs incurred.

First arose the identification of the implementation of nZEB concept: EU countries have followed different criteria.

Starting from a comparative analysis of the different criteria used within the European Community we describe the criteria chosen by our country for identifying nZEB.

Following the EU recommendation 2016/1318 of 29 July 2016 nZEB definition enforcement must include a numerical indicator of primary energy consumption in kWh/m²year.

With this study we have identified one type of office building, referring to new buildings, which have been applied to the minimum requirements of national legislation for nZEB in five different climatic zones characteristic of our country (B, C, D, E, and F).

We then evaluated the results obtained through simulations by certified calculation software that follow the reference technical standard (UNI TS 11300 series) through the numerical indicator of primary energy consumption expressed in kWh /m².

This report, which follows a similar study of residential building model, will present the results of a first set of simulations.

Ita finitima sunt falsa veris, ut in præcipitem locum non debeat se sapiens committere¹
(Academica II, XXI - Cicerone)

1 Introduzione

1.1 Premessa

L'ENEA e il Ministero dello Sviluppo Economico hanno stipulato un Accordo di Programma in base al quale è concesso il contributo finanziario per l'esecuzione delle linee di attività del Piano Triennale 2015-2017 della Ricerca e Sviluppo di Interesse Generale per il Sistema Elettrico Nazionale, approvato con il Decreto Ministeriale del 21 aprile 2016.

Il presente rapporto si riferisce al Piano Annuale di Realizzazione 2018, per quanto attiene all'Area D "Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici", tema di ricerca "D.2 Edifici a energia quasi zero (nZEB)", progetto D.2.1 "Studi sulla riqualificazione energetica del parco esistente di edifici pubblici (scuole, ospedali, uffici della PA centrale e locale) mirata a conseguire il raggiungimento della definizione di edifici a energia quasi zero (nZEB)". Il tema sviluppato riguarda la correlazione tra la definizione di un edificio nZEB per la tipologia edilizia ufficio a degli indici di prestazione energetica espressi in kWh/m², così come richiesto anche dalla Raccomandazione UE 2016/1318

Analogamente a quanto fatto negli studi riportati nei PAR 2016 e 2017 si è perseguito l'obiettivo di correlare la definizione di un edificio nZEB per la tipologia edilizia ufficio a degli indici di prestazione energetica espressi in kWh/m², così come richiesto anche dalla Raccomandazione UE 2016/1318.

Questo rapporto rappresenta l'estensione dell'approccio agli edifici residenziali dei PAR precedenti agli edifici ad uso ufficio. Verranno quindi presentati i risultati relativi alle configurazioni predisposte per un edificio nZEB per cinque zone climatiche italiane (B, C, D, E e F).

Lo studio, che ha riguardato un edificio tipo per uso ufficio le cui caratteristiche tipologiche sono quelle degli edifici del parco edilizio nazionale (fino alla metà del 900) è strutturato su diverse fasi:

- Definizione delle caratteristiche geometriche dell'edificio e delle caratteristiche termofisiche dei componenti dell'involucro edilizio;
- Definizione delle caratteristiche prestazionali del sistema impiantistico e valutazione della potenza di picco dell'impianto fotovoltaico;
- Verifica degli indici prestazionali e dei parametri relativi all'involucro edilizio;
- Analisi degli indicatori di prestazione energetica;
- Analisi di sensibilità sugli indici prestazionali al variare dell'Area solare equivalente estiva e del coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente

Per analizzare gli effetti delle prescrizioni di legge sugli indici prestazionali, i valori dei parametri relativi al fabbricato e al sistema impiantistico sono stati imposti pari ai valori limiti definiti dal DM Requisiti Minimi,

1.2 Riferimenti normativi e linee guida

Nel nostro Paese, il quadro normativo attuale sul tema dell'efficienza energetica in edilizia fa riferimento all'insieme di direttive e raccomandazioni europee che sono entrate in vigore negli ultimi anni.

¹ trad. "Il falso è così vicino al vero che il saggio non deve arrischiarsi su un passo così pericoloso"

- Direttiva Europea 2002/91/CE nota anche come EPBD (Energy Performance of Buildings Directive), che introduce un sistema di certificazione energetica e propone una metodologia per la valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici e dei requisiti minimi energetici per i nuovi edifici e quelli sottoposti a ristrutturazioni di primo livello;
- Direttiva Europea 2010/31/UE nota anche come EPBD Recast, che promuove la riqualificazione energetica degli edifici e la costruzione di nuovi edifici con il target nZEB (nearly Zero Energy Building, edificio ad energia quasi zero), tramite anche lo sfruttamento di risorse energetiche rinnovabili;
- Direttiva Europea 2012/27/EU sull'efficienza energetica, che impone la riqualificazione energetica del 3% della superficie calpestabile degli edifici delle Pubbliche Amministrazioni per raggiungere migliori prestazioni energetiche.
- Raccomandazione (UE) 2016/1318 sugli orientamenti per la promozione degli edifici a energia quasi zero e delle migliori pratiche per assicurare che, entro il 2020, tutti gli edifici di nuova costruzione siano a energia quasi zero
- Direttiva Europea 2018/844 che introduce modifiche alla Direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e alla Direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica.

Le direttive al 2012 son state recepite dai principali Decreti attualmente in vigore:

- Decreto Legislativo n. 192/2005, che recepisce la Direttiva EPBD, definendo i criteri generali e la metodologia di calcolo per la prestazione energetica degli edifici, e stabilisce i valori limite degli indici di prestazione energetica per gli edifici, a seconda della loro destinazione d'uso, zona climatica e rapporto di forma S/V [4];
- Decreto Legge 4 giugno 2013 n. 63 diventato Legge 90/2013;
- Decreto Interministeriale 26 giugno 2015, noto come "Requisiti minimi", nel quale viene modificata la metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici e vengono specificati nuovi coefficienti di riferimento e valori limite da rispettare nel caso di nuove costruzioni e ristrutturazioni di primo livello.

Un peso sempre maggiore viene dato agli edifici ad energia quasi zero, nZEB, definiti come edifici ad altissima prestazione energetica, il cui fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili.

Infatti, nell'attuale quadro giuridico europeo nel settore dell'energia, I due requisiti fondamentali sono quelli:

- di assicurare che tutti gli edifici di nuova costruzione siano a energia quasi zero entro il 31 dicembre 2020 (due anni prima per gli edifici pubblici)
- sostenere la trasformazione degli edifici esistenti in edifici a energia quasi zero sono

In quest'ottica, secondo la Raccomandazione (UE) 2016/1318 la definizione di edificio a energia quasi zero deve includere anche un indicatore numerico del consumo di energia primaria annuo espresso in kWh/m², riferito alla quantità di energia, calcolata o misurata, necessaria per soddisfare il fabbisogno energetico connesso ad un uso normale dell'edificio, compresa, in particolare, l'energia utilizzata per il riscaldamento, il rinfrescamento, la ventilazione, la produzione di acqua calda e l'illuminazione.

1.3 *Gli edifici nZEB in Italia*

Nella normativa italiana, per poter essere definito NZEB, un edificio deve essere caratterizzato da indici di

efficienza energetica minori rispetto ai corrispondenti indici calcolati sull'edificio di riferimento² determinati con i valori vigenti dal 1 gennaio 2019 per gli edifici pubblici e dal 1 gennaio 2021 per tutti gli altri edifici , in termini di:

- Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente (H'_{τ});
- Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile $A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$;
- indice di prestazione termica utile per riscaldamento (EP_H);
- indice di prestazione termica utile per il raffrescamento (EP_C);
- indice di prestazione energetica globale dell'edificio (EP_{gl});
- efficienza media stagionale dell'impianto di climatizzazione invernale (η_H), di climatizzazione estiva, compreso l'eventuale controllo dell'umidità, (η_C) e produzione di acqua calda sanitaria (η_W).

Devono inoltre essere rispettati i principi minimi di cui all'Allegato 3, paragrafo 1, lettera c), del Decreto Legislativo 3 marzo 2011, n. 28 relativi agli obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili per la climatizzazione estiva ed invernale e la produzione di ACS delle seguenti quote:

- 50% dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria (55% per gli edifici pubblici);
- 50% della somma dei consumi previsti per il riscaldamento, l'acqua calda sanitaria e il raffrescamento (55% per gli edifici pubblici).

Contrariamente alla definizione data in Italia, che non individua valori limiti specifici, molti Stati membri della Comunità Europea hanno fissato un indicatore numerico del consumo annuale di energia primaria, espresso in kWh/m². I dati disponibili dimostrano che, là dove è stato fissato, i requisiti si situano in un ampio intervallo compreso tra 0 e 270 kWh/m², con i valori più alti soprattutto per gli ospedali e altri edifici specializzati non residenziali.

Da un punto di vista generale confrontando la situazione media europea con quella nazionale risulta come quest'ultima sia caratterizzata da una definizione di nZEB piuttosto restrittiva, soprattutto per la quota di energia rinnovabile richiesta e per il fatto di non prevedere, nella pratica, una differenziazione tra prescrizioni imposte per gli edifici nuovi ed esistenti. L'approccio generale risulta invece tendenzialmente più cauto invece nel caso di interventi su gli edifici esistenti, che costituiscono il punto centrale per il contenimento dei consumi energetici di tutto lo stock edilizio attuale e futuro.

Una sintesi dell'attuale scenario italiano sugli edifici ad energia quasi zero, nZEB è riportato nel Piano d'Azione Nazionale per incrementare gli edifici ad energia quasi zero (PANZEB), redatto da un gruppo di lavoro composto da ENEA, RSE, CTI e Ministero dello Sviluppo Economico e approvato con Decreto interministeriale del 19 giugno 2017.

Nel PANZEB, vengono riportati tra l'altro, studi di fattibilità e di ipotetici risparmi legati alla nuova costruzione di NZEB, o alla riqualificazione di edifici esistenti per arrivare alla qualifica di NZEB. Questi valori nascono dall'analisi dello stato di fatto della situazione italiana relativa a diverse categorie di edifici.

Focalizzando l'attenzione sugli edifici ad uso ufficio, oggetto del presente studio, dal PANZEB emerge come questi siano tra gli edifici con maggiore richieste energetiche, sia termiche che elettriche.

In tabella è riassunta una caratterizzazione del parco edilizio degli edifici ad uso ufficio, con i relativi consumi energetici

² Si definisce edificio di riferimento o target 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 minimi vigenti (vedi Appendice A dell'Allegato 1 al DM requisiti minimi)

Tabella 1: Caratterizzazione energetica degli edifici ad uso ufficio (PANZEB)

Destinazione d'uso	Numero di edifici	Estensione	Consumo specifico elettrico	Consumo specifico termico
Uffici	65.000	56,7 milioni m ²	95 kWh/m ² anno	170 kWh/m ² anno

Nel report vengono riportate anche delle stime relative alle superfici del nuovo costruito per anno, con destinazione d'uso ad uffici pubblici e privati, e dei risparmi energetici ottenibili, rispetto agli standard attuali di legge, con la costruzione di edifici di tipo NZEB (vedi tabella xxx).

Tabella 2: Stima dei risparmi energetici ottenibili con la costruzione di edifici ad uso ufficio di tipo NZEB (PANZEB)

Uffici	Zona Climatica	Risparmio specifico per requisiti NZEB	Stima risparmi al 2020 per edifici pubblici	Stima risparmi al 2020 per edifici privati	Stima risparmi totali al 2020
		kWh/m ² anno	TEP	TEP	TEP
	A-B-C	9	20	88	108
	D	19	61	265	325
	E-F	31	111	487	598
TOTALE			192	839	1031

Maggiori risparmi si potrebbero conseguire dalla riqualificazione ad NZEB degli edifici esistenti; ogni anno, infatti, le riqualificazioni energetiche di edifici ad uso ufficio coinvolgono circa 4 milioni di m², sia nel settore pubblico che privato.

In tabella xxx sono riportati i dati relativi ad una stima dei risparmi ottenibili, per la sola categoria uffici, per un tasso di ristrutturazione annua a NZEB pari all'1% degli edifici coinvolti.

Tabella 3: Stima dei risparmi energetici ottenibili con la riqualificazione NZEB di edifici esistenti ad uso uffici, secondo il rapporto PANZEB.

Uffici	Zona Climatica	Risparmio specifico per requisiti NZEB	Stima risparmi al 2020 per edifici pubblici	Stima risparmi al 2020 per edifici privati	Stima risparmi totali al 2020
		kWh/m ² anno	TEP	TEP	TEP
	A-B-C	12	41	185	226
	D	28	125	557	682
	E-F	45	229	1023	1252
TOTALE			395	1764	2160

L'assenza di una diversificazione tra edifici nuovi, per i quali è meno difficoltoso raggiungere prestazioni energetiche elevate, ed edifici esistenti, per i quali gli interventi sono spesso problematici (per esempio nel caso dell'isolamento delle pareti in edifici vincolati) non consente di definire standard diversi e più calibrati per le due situazioni, il che potrebbe costituire un approccio vincente per lanciare una più diffusa ed efficace cultura dei NZEB.

2 Il caso studio esaminato

2.1 Località geografiche di riferimento

Per il caso studio esaminato sono state individuate 15 località di riferimento nell'ambito delle cinque principali zone climatiche italiane (B, C, D, E e F). È stata esclusa da questa analisi la zona climatica A che consta di soli due comuni e di una popolazione dell'ordine dello 0,04% di quella complessiva.

Per ogni zona climatica sono state individuate 3 località di riferimento:

1. Località 1: capoluogo di provincia con un numero di gradi-giorno (GG) più vicino al valore medio pesato rispetto alla popolazione della fascia. Tale valore è pari al rapporto tra la somma dei prodotti dei GG dei singoli comuni per il numero di abitanti e la popolazione complessiva della zona climatica;
2. Località 2: capoluogo di provincia con un numero di GG più vicino al valore massimo;
3. Località 3: località con numero di gradi-giorno massimo. Per la fascia climatica F la località 1 e 2 coincidono pertanto si è scelto come Località 2 un comune con un numero di GG pari a quello medio pesato rispetto alla popolazione della fascia.

Tabella 4: Località geografiche di riferimento

ZONA CLIMATICA	LOCALITA'			GG DPR 412/93
B	1	REGGIO CALABRIA		772
	2	CROTONE		899
	3	SAPONARA	ME	900
C	1	LECCE		1153
	2	CATANZARO		1328
	3	CALTAGIRONE	CT	1399
D	1	TERNI		1650
	2	FORLI'		2087
	3	CASTIGLION DEL LAGO	PG	2099
E	1	ROVIGO		2466
	2	AOSTA		2850
	3	CASINA	RE	2999
F	1	BELLUNO		3043
	2	CALASCIO	AQ	3454
	3	SESTRIERE	TO	5165

2.2 Scelta della tipologia di edificio ad uso ufficio

La Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) 2002/91/CE, e la successiva direttiva 2010/31/UE (EPBD Recast), hanno indicato i principi relativi al miglioramento della prestazione energetica degli edifici.

Nella EPBD Recast è stato richiesto agli Stati Membri di definire i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici in funzione dei livelli ottimali di costo. A tali fini, la direttiva ha introdotto una metodologia di analisi comparativa con il proposito di determinare i requisiti di riferimento per gli standard nazionali, da aggiornare ad intervalli regolari non superiori a 5 anni.

Successivi regolamenti e Linee guida hanno definito un quadro metodologico per la determinazione dei requisiti energetici ottimali degli edifici, dal punto di vista sia tecnico che economico.

Attraverso tale metodologia è stato possibile identificare i requisiti minimi di prestazione energetica corrispondenti ai livelli di costo ottimali, per edifici nuovi e per edifici esistenti sottoposti a ristrutturazione. Nell'applicazione italiana, gli edifici di riferimento utilizzati sono stati di tipo virtuale, ovvero degli archetipi rappresentativi di una data categoria relativa a edifici ad uso residenziale, edifici ad uso ufficio ed edificio ad uso scolastico.

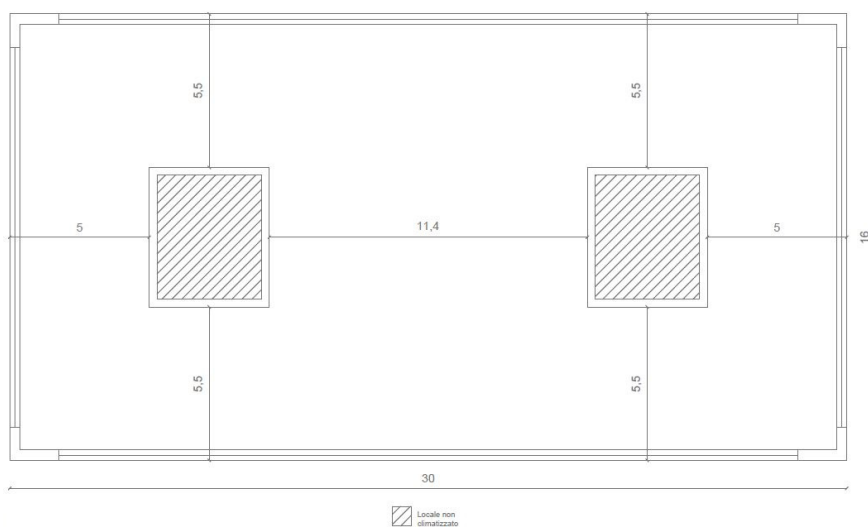
Per gli edifici ad uso ufficio sono state utilizzate due tipologie definite da ENEA e oggetto di ricerca da diversi anni, essendo il settore terziario responsabile di una quota significativa dei consumi energetici nazionali.

Le due differenti tipologie di edifici sono caratterizzate da una diversa distribuzione degli spazi interni, differenti estensioni planimetriche e differenti rapporti tra superfici trasparenti e superfici opache:

- tipologia edificio ad uso ufficio di 2 piani;
- tipologia edificio ad uso ufficio di 4 e 5 piani;

Per questo lavoro, che si ricorda rappresenta l'estensione dell'approccio agli edifici residenziali dei PAR precedenti agli edifici ad uso ufficio, si è scelto di analizzare la tipologia ad uso ufficio di 4 e 5 piani utilizzata nella applicazione italiana della metodologia comparativa per gli edifici ad uso ufficio nuovi (vedi fig.xxxx).

Figura 1: Planimetria esemplificativa della tipologia di ufficio utilizzata.



Questo archetipo rappresentativo dei nuovi uffici è un edificio di quattro piani con la forma di un parallelepipedo regolare, con aree interne non climatizzate, e poggia su un piano interrato o seminterrato, come ad esempio un garage.

Figura 2: Prospetto sud-ovest della tipologia di ufficio utilizzata.

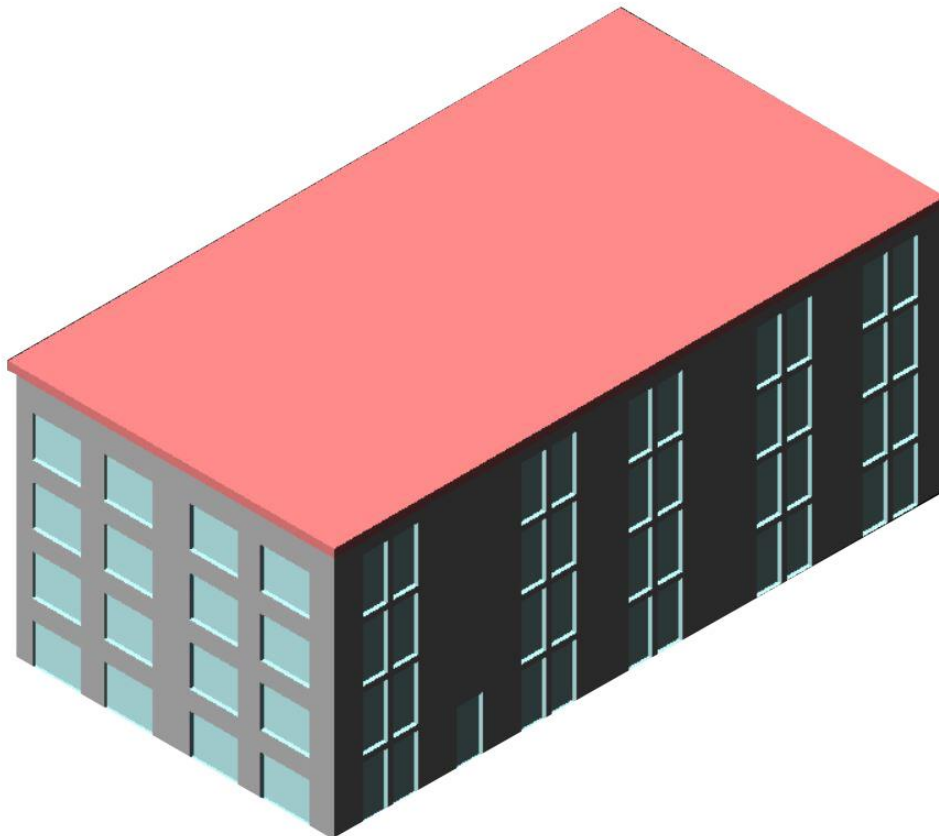


Tabella 5: Dati geometrici dell'edificio ad uso ufficio

DATI GEOMETRICI									
Larghezza	Profondità	A_f	V	V_g	A_{env}	A_w	A_{env}/V_g	$h_{n,interp}$	n. piani
m	m	m^2	m^3	m^3	m^2	m^2	m^{-1}	m	
30	16	1.601	5.546	4.322	2.035	435	0,44	2,70	4

Per analizzare gli effetti delle prescrizioni di legge sugli indici prestazionale dei 15 modelli analizzati (uno per ogni località di riferimento), i valori dei parametri relativi al fabbricato e al sistema impiantistico sono stati imposti pari ai valori limiti definiti dal DM Requisiti Minimi.

2.3 I parametri dell'edificio di campione

L'edificio ad uso ufficio esaminato è caratterizzato dai requisiti minimi di legge in vigore dal 1° gennaio 2019 per gli edifici pubblici, e dal 1° gennaio 2021 per tutti gli altri.

Si è considerata un'unica zona termica, in quanto, nei modelli analizzati, gli ambienti sono serviti dallo stesso impianto di climatizzazione e le differenze tra le temperature interne di regolazione non sono superiori a 4K.

2.3.1 I principali parametri relativi al fabbricato

Al fine di verificare il rispetto dei requisiti minimi previsti dal DM 26.06.2015 si sono imposti i valori limite previsti per le trasmittanze termiche dei componenti opachi e trasparenti costituenti l'involucro edilizio assumendo i valori al 2019/2011 dell'edificio di riferimento.

I parametri adottati comprensivi dei fattori di assorbimento e dell'emissività delle strutture opache e il fattore solare delle superfici trasparenti sono riportati in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**

Tabella 6: Caratteristiche termofisiche dell'involucro

COMPONENTI		U [W/m ² K]					$\alpha_{sol,c}$	ϵ	g_{gl+sh}
		ZONA B	ZONA C	ZONA D	ZONA E	ZONA F	[-]	[-]	[-]
Strutture opache verticali	Esterno	0,43	0,34	0,29	0,26	0,24	0,6	0,9	-
Strutture orizzontali di copertura	Esterno	0,35	0,33	0,26	0,22	0,20	0,6	0,9	-
Strutture orizzontali di pavimento	Esterno	0,44	0,38	0,29	0,26	0,24	-	-	-
Chiusure tecniche trasparenti e opache	Esterno	3,00	2,20	1,80	1,40	1,10	-	-	0,35

I valori di trasmittanza sono comprensivi dell'effetto dei ponti termici e pertanto nella simulazione dei vari modelli si è considerato un edificio ideale privo di ponti termici. Per le strutture di pavimento è stato corretto il valore della tabella sopra riportata, per tener conto dello scambio termico tra l'ambiente non climatizzato e ambiente esterno ($b_{tr,U} = 0,8$), mentre le aree non climatizzate sono state equiparate alle aree interne di circolazione ($b_{tr,U} = 0$)

Gli ombreggiamenti previsti, $\alpha = 11,3^\circ\text{C}$ e $\beta = 14,0^\circ\text{C}$, sono originati dalla presenza (su tutte le esposizioni) dei medesimi aggetti orizzontali (α) e verticali (β), dovuti alla disposizione degli infissi nelle strutture opache verticali.

Per il calcolo della sola prestazione termica del fabbricato, si è considerata la semplice ventilazione naturale in condizioni standard per edifici ad uso ufficio.

La portata media giornaliera media mensile

$$q_{ve,mn} = q_{ve,0} f_{ve,t}$$

è stata calcolata secondo le procedure previste dalla specifica tecnica UNI/TS 11300-1 che richiamano la Norma UNI 10339.

Il valori trovati sono variabili in funzione delle altitudini delle località di riferimento scelte e sono compresi tra 0,5 e 0,6 m³/s.

Per la prestazione termica del fabbricato, il calcolo si è sviluppato considerando la semplice ventilazione naturale in condizioni standard per edifici ad uso ufficio, la cui portata media giornaliera media mensile è pari a

$$q_{ve,mn} = q_{ve,0} f_{ve,t}$$

con $q_{ve,0}$ calcolato secondo la UNI 10339, $f_{ve,t} = 0,59$.

Il valori trovati variano in funzione delle altitudini delle località di riferimento scelte e sono compresi tra 0,5 e 0,6 m³/s.

Per la capacità termica interna dell'edificio si è ipotizzato un valore di riferimento valutato attraverso un calcolo semplificato, non considerando le partizioni interne e assumendo una capacità termica per unità di superficie dell'involucro unica per tutti gli ambienti climatizzati e pari a 105 kJ/m²K.

2.3.2 I principali parametri relativi ai sistemi impiantistici

I sistemi impiantistici considerati sono quelli relativi ai servizi energetici previsti dal DM Requisiti Minimi:

- climatizzazione invernale;
- climatizzazione estiva;
- produzione di acqua calda sanitaria (ACS);
- Ventilazione meccanica;
- Illuminazione;
- movimentazione di cose e persone.

Di seguito si riporta una breve sintesi delle caratteristiche principali dei sistemi utilizzati.

Climatizzazione invernale, estiva e produzione di acqua calda sanitaria

Per verificare il rispetto dell'apporto energetico da fonti rinnovabili si è ipotizzato, per la climatizzazione invernale ed estiva un sistema impiantistico a pompa di calore elettrica a potenza variabile aria-acqua, con ventilconvettori come terminali di erogazione, abbinata alla produzione di energia elettrica da impianto fotovoltaico.

Il tipo di sorgente fredda è rappresentato dall'aria esterna mentre il tipo di sorgente calda è rappresentato dall'acqua dell'impianto.

Dovendo costruire in modello di edificio nZEB limite, per i sottosistemi di utilizzazione, per la climatizzazione estiva ed invernale, il rendimento di utilizzazione, che è dato dal prodotto del rendimento di emissione, regolazione, distribuzione (non si è considerato un accumulo) è stato assunto pari a quello indicato dal Decreto Requisiti minimi per un circuito di distribuzione idronico:

$$\eta_{uH} = 0,81.$$

Analogamente è stato fatto per quanto riguarda i rendimenti mensili dei sistemi di generazione:

Climatizzazione invernale: $\eta_{gn,H} = 3,00$
 Climatizzazione estiva: $\eta_{gn,C} = 2,50$

Anche per soddisfare il fabbisogno di energia termica per la produzione di acqua calda per usi igienico-sanitari si è ipotizzato l'utilizzo di una pompa di calore elettrica.

L'energia termica richiesta per soddisfare il fabbisogno di acqua calda sanitaria di un edificio in funzione del volume di acqua richiesto e della differenza tra le temperature di erogazione e dell'acqua fredda in ingresso. Nel caso di edifici ad uso ufficio, il volume di acqua giornaliero richiesto è pari a:

$$V_w = 0,2 \cdot N_u \text{ [l/giorno]}$$

N_u = superficie netta climatizzata in m^2

Per i sottosistemi di utilizzazione sono previste le seguenti caratteristiche:

- si considera un rendimento di erogazione pari a 1;
- per la distribuzione si è considerato il metodo semplificato e sistemi installati dopo l'entrata in vigore della legge 373/76 con rete corrente parzialmente in ambiente climatizzato.

Dovendo costruire in modello di edificio *nZEB limite* il rendimento di utilizzazione, che è dato dal prodotto del rendimento di regolazione, distribuzione (non si è considerato un accumulo) deve essere pari a quello indicato dal Decreto Requisiti minimi pertanto si è andato ad inserire manualmente e si è posto pari a:

$$\eta_{u,w} = 0,70.$$

Il rendimento di generazione dell'edificio di riferimento per la produzione di energia termica per il servizio di acqua calda sanitaria è stato imposto come valore noto costante desunto dai valori forniti dal DM 26.06.2015 che per una pompa di calore a compressione di vapore con motore elettrico fornisce il valore:

$$\eta_{n,H} = 2,50.$$

Si riassumono in [Tabella 7](#) i rendimenti dei diversi sistemi considerati:

Tabella 7: Rendimenti dei sistemi impiantistici

	Climatizzazione Invernale	Climatizzazione Estiva	Produzione ACS
$\eta_{utilizzazione}$	0,81	0,81	0,70
$\eta_{generazione}$	3,00	2,50	2,50

Ventilazione meccanica controllata

Si è considerata la presenza di un sistema di ventilazione meccanica a doppio flusso con recupero. In questo caso il calcolo è stato sviluppato secondo quanto previsto dalla specifica tecnica UNI/TS 11300-1 considerando i parametri riassunti nella tabella di seguito riportata.

Tabella 8: Caratteristiche ventilazione meccanica

	Ventilazione meccanica controllata
$Q_{ve,o,p}$	0,011 m ³ /d
$n_{s,k}$	0,06 m ⁻²
$f_{ve,t,k}$	0,59
n_{50}	1 h ⁻¹
e	0,10
β_k	8/24
b_{ve}	0,70
FC_{ve}	0,64
$n_{ventilatori}$	2
$E_{ve,el}$	0,50 Wh/m ²
$\eta_{recuperatore}$	0,70

Illuminazione artificiale

Il calcolo del fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale è stato realizzato secondo le procedure previste dalla norma UNI EN 15193 e tenendo conto delle indicazioni dell'appendice D della UNI/TS 11300-2.

Si è ipotizzata la presenza di un impianto con densità di potenza installata pari a 10 W/m² dotato di un sistema di accensione e spegnimento manuale con un ulteriore segnale di spegnimento generale automatico ($F_{OC}=0,95$), e privo di altri sistemi di controllo.

Per i dispositivi di controllo e di emergenza si è considerato un consumo annuo pari a 6 kWh/m².

Tabella 9: Caratteristiche dell'impianto di illuminazione

	Illuminazione artificiale
PN	10 W/m ²
t_D	250 h/anno
t_{ND}	2250 h/anno
F_{OC}	0,95
FA	0,2
F_C	1
Livello di illuminamento medio	

Movimentazione di cose e persone

Per il calcolo del fabbisogno energetico si è considerata la presenza di due ascensori di portata pari a 630kg che devono servire un dislivello di 12,15m e per i quali è previsto un numero medio di corse giornaliere pari a circa 75.

Il sollevamento avviene con un impianto elettrico a fune con contrappeso e l'argano è senza inverter con velocità variabile fino a 1 m/s. Il quadro di comando è a relè ed è presente un inverter mentre l'illuminazione di cabina avviene con lampade ad incandescenza tradizionali ed è previsto lo spegnimento delle luci durante la sosta. Non sono inoltre previsti servizi accessori.

2.3.3 L'impianto solare fotovoltaico

La potenza minima richiesta per l'impianto fotovoltaico è definita dalle prescrizioni dell'allegato 3 del DLgs 28/2011, inerenti l'obbligo di integrazione delle fonti rinnovabili negli edifici di nuova costruzione, e va calcolata secondo la seguente formula:

$$P = \frac{1}{k} \cdot S \text{ [kW]}$$

dove:

- S è la superficie in pianta dell'edificio al livello del terreno, misurata in m²;
- K è un coefficiente che assume il valore K = 50 m²/kW

Tabella 10: Impianto Fotovoltaico: obbligo di legge

S	[m ²]	480
k	[m ² /kW]	50
P	[kW]	9,6

Il valore di potenza prevista per l'impianto solare fotovoltaico è stato assunto pari a $W_{pv} = 10 \text{ kW} (>P)$

L'orientamento rispetto al Sud, ovvero l'angolo di azimut si è assunto pari a 0° e l'inclinazione rispetto al piano orizzontale si è assunta pari a quella ottimale in base alla latitudine del luogo.

Non si è assunto alcun ombreggiamento per i pannelli fotovoltaici e come coefficiente di riflettanza si è considerato un valore cautelativo pari a 0,13.

Avendo a disposizione come dato noto la potenza di picco dell'impianto fotovoltaico e scegliendo modulo in silicio multi-cristallino caratterizzato da un'efficienza nominale pari a $k_{pv} = 0,13 \text{ kW/m}^2$, si è potuto ricavare la superficie di captazione dell'impianto fotovoltaico, al netto del telaio, pari a:

$$A_{pv} = \frac{W_{pv}}{k_{pv}} = 77 \text{ [m}^2\text{]}$$

3 I risultati delle simulazioni effettuate

Le simulazioni hanno riguardato 15 modelli di edificio ad uso ufficio (uno per ogni località di riferimento), caratterizzati da valori dei parametri relativi al fabbricato e al sistema impiantistico pari ai valori limiti definiti dal DM Requisiti Minimi per gli edifici ad energia quasi zero (NZEB).

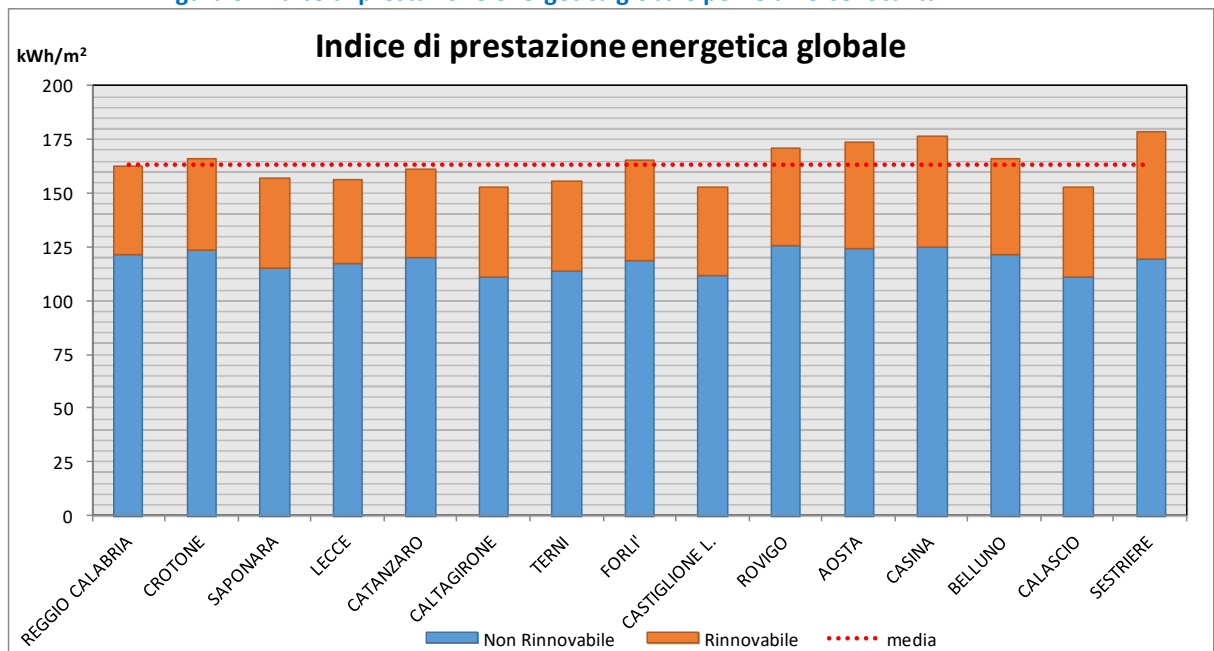
Per quanto riguarda l'impianto fotovoltaico è stato scelto un valore di potenza poco superiore al valore limite previsto dalle prescrizioni dell'allegato 3 del DLgs 28/2011, inerenti l'obbligo di integrazione delle fonti rinnovabili.

Tabella 11: Risultati delle simulazioni effettuate

LOCALITA'	GG	EDIFICIO AD USO UFFICIO									
		EP _{glob,tot}	EP _{glob,nren}	EP _{glob,ren}	EP _{tot,RISC.}	EP _{tot,RAFFR.}	EP _{tot,ACS}	EP _{tot,VENT.}	EP _{tot,ILL.}	EP _{tot,TRASP.}	
		kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	
B	REGGIO CALABRIA	772	162,8	121,4	41,5	4,3	75,2	3,9	9,9	63,9	5,7
	CROTONE	899	166,3	123,7	42,6	5,6	76,9	4,0	9,9	64,2	5,7
	SAPONARA	900	157,0	115,5	41,5	7,1	66,4	4,1	10,0	63,8	5,7
C	LECCE	1153	156,5	117,5	39,0	2,5	69,0	4,3	10,1	64,9	5,7
	CATANZARO	1328	161,1	120,4	40,7	4,6	71,5	4,2	10,4	64,7	5,8
	CALTAGIRONE	1398	153,1	111,3	41,8	9,5	59,2	4,6	10,6	63,6	5,7
D	TERNI	1650	155,4	113,9	41,6	10,1	62,6	4,7	10,2	62,1	5,8
	FORLI'	2087	165,7	119,0	46,7	19,8	62,2	4,8	10,1	62,9	5,8
	CASTIGLIONE L.	2099	152,8	111,5	41,3	10,4	59,3	4,9	10,3	62,1	5,8
E	ROVIGO	2466	171,1	125,9	45,2	12,7	70,7	4,9	10,1	66,7	5,9
	AOSTA	2850	173,9	124,1	49,8	23,0	62,1	5,3	10,8	66,7	5,9
	CASINA	2999	176,5	125,1	51,4	27,1	60,4	5,4	10,9	66,9	5,9
F	BELLUNO	3043	166,2	121,2	45,0	15,2	61,9	5,6	10,6	67,0	5,9
	CALASCIO	3454	152,9	111,2	41,7	10,6	54,2	5,7	11,4	65,3	5,8
	SESTRIERE	5165	178,7	119,5	59,3	45,0	42,0	6,9	12,7	66,5	5,9

La tabella sopra riportata mostra una chiara sintesi dei risultati ottenuti. Si può notare come, ad eccezione del modello Sestiere, i contributi determinanti alla prestazione energetica globale sono dovuti essenzialmente alla climatizzazione estiva e all'illuminazione artificiale il cui peso medio complessivo è pari a circa l'80% del totale.

Figura 3: Indice di prestazione energetica globale per le diverse località



I risultati ottenuti mostrano inoltre che, per i modelli simulati, nelle condizioni limiti previste dal DM requisiti minimi per gli edifici ad energia quasi zero, i valori dell'indice di prestazione energetica sono compresi nei seguenti intervalli:

$$EP_{glob,tot} = 163 \text{ kWh/m}^2 \pm 10\%$$

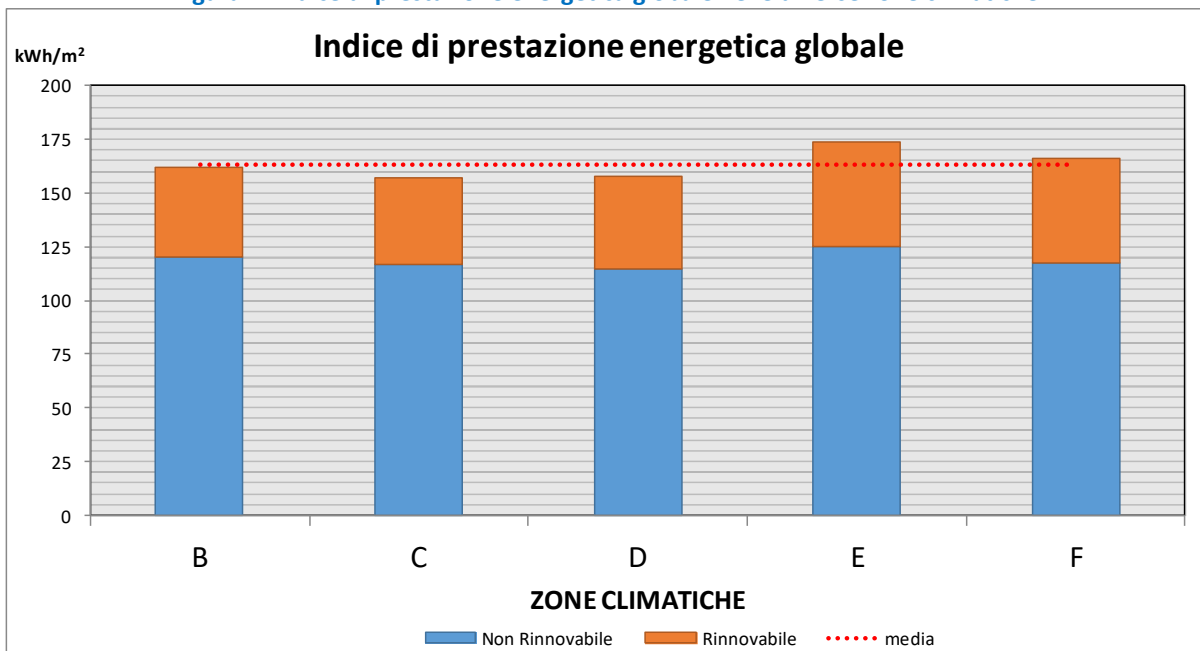
$$EP_{glob,nren} = 119 \text{ kWh/m}^2 \pm 7\%$$

In particolare si nota come le prestazioni peggiori si hanno nella zona climatica E mentre nelle zone climatiche estreme (B e F) la prestazione globale ha valori simili.

Tabella 12: Valori medi degli indici di prestazione energetica per le diverse zone climatiche

Zona climatica	$EP_{glob,tot}$	$EP_{glob,ren}$	$EP_{glob,nren}$
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²
B	162,0	41,8	120,2
C	156,9	40,5	116,4
D	158,0	43,2	114,8
E	173,8	48,8	125,0
F	166,0	48,7	117,3

Figura 4: Indice di prestazione energetica globale nelle diverse zone climatiche



Da queste prime valutazioni emerge che, per la tipologia di edificio considerato, sarebbe possibile definire un valore limite di prestazione globale indipendentemente dalla zona climatica.

i risultati delle simulazioni realizzate relativi ad altri tre parametri, H'_T , $A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$, copertura da fonti rinnovabili, per cui sono previsti gli obblighi di verifica sono riassunti nella tabella a seguire.

Tabella 13: Parametri dell'involucro edilizio e copertura da fonte rinnovabile soggetti a verifica

LOCALITA'		GG	EDIFICIO AD USO UFFICIO								
			$A_{sol,eq}/A_{sup,ut}$		$H'_t (W/m^2K)$		Copertura Rinnovabili				
				Limite		Limite	Totale	Limite	ACS	Limite	
B	REGGIO CALABRIA	772	<u>0,047</u>	0,04	<u>0,80</u>	0,63	<u>27%</u>	50%	54%	50%	
	CROTONE	899	<u>0,050</u>				<u>27%</u>				
	SAPONARA	900	<u>0,047</u>				<u>28%</u>				
C	LECCE	1153	<u>0,049</u>		<u>0,62</u>	0,60	<u>26%</u>				54%
	CATANZARO	1328	<u>0,049</u>		<u>27%</u>	54%					
	CALTAGIRONE	1398	<u>0,050</u>		<u>30%</u>	55%					
D	TERNI	1650	<u>0,053</u>		<u>0,50</u>	0,58	<u>30%</u>				54%
	FORLI'	2087	<u>0,051</u>		<u>33%</u>	54%					
	CASTIGLIONE L.	2099	<u>0,053</u>		<u>30%</u>	54%					
E	ROVIGO	2466	<u>0,050</u>	<u>0,41</u>	0,55	<u>30%</u>	54%				
	AOSTA	2850	<u>0,047</u>	<u>34%</u>	54%						
	CASINA	2999	<u>0,050</u>	<u>35%</u>	53%						
F	BELLUNO	3043	<u>0,041</u>	0,34	0,53	<u>31%</u>	54%				
	CALASCIO	3454	<u>0,050</u>			<u>31%</u>					
	SESTRIERE	5165	<u>0,050</u>			<u>42%</u>		54%			

Dalla [Tabella 13](#) risulta evidente come

- a. con i valori dei fattori di trasmissione solare pari a quelli previsti dal Decreto Requisiti Minimi, $g_{gl+sh} = 0,35$ considerando un doppio vetro con rivestimento basso-emissivo la verifica dell'area solare equivalente non risulta in nessun caso soddisfatta;
- b. con i valori delle trasmittanze termiche, per le strutture opache e trasparenti, pari a quelli previsti dal Decreto Requisiti Minimi, il coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente H'_T non è verificato nelle zone climatiche B e C;
- c. il rispetto del limite di potenza previsto dalle prescrizioni dell'allegato 3 del DLgs 28/2011 per l'impianto fotovoltaico sull'obbligo di integrazione delle fonti rinnovabili non garantisce la copertura del 50% della prestazione energetica complessiva per ACS e climatizzazione estiva ed invernale.

Al fine di superare le criticità riscontrate, sono state condotte delle analisi di sensibilità sui fattori che determinano il valore dell'area solare equivalente estiva e il coefficiente H'_T .

4 Analisi di sensibilità sugli indici prestazionali

4.1 Il rapporto tra Area Solare Equivalente Estiva e Area della Superficie Utile

Nel calcolo dell'Area Solare Equivalente Estiva entrano in gioco diversi fattori, come la dimensione dei serramenti, la tipologia di vetro, l'area della superficie vetrata.

$$A_{sol,est} = \sum_k F_{sh,ob} \times g_{gl+sh} \times (1 - F_F) \times A_{w,p} \times F_{sol,est}$$

- $F_{sh,ob}$ è il fattore di riduzione per ombreggiatura relativo ad elementi esterni per l'area di captazione solare effettiva della superficie vetrata k-esima, riferito al mese di luglio;
- g_{gl+sh} è la trasmittanza di energia solare totale della finestra calcolata nel mese di luglio, quando la schermatura solare è utilizzata;
- F_F è la frazione di area relativa al telaio, rapporto tra l'area proiettata del telaio e l'area proiettata totale del componente finestrato;
- $A_{w,p}$ è l'area proiettata totale del componente vetrato (area del vano finestra);
- $F_{sol,est}$ è il fattore di correzione per l'irraggiamento incidente, ricavato come rapporto tra l'irradianza *media annuale nella località e sull'esposizione considerata*, e l'irradianza *media annuale di Roma*, sul piano orizzontale.

Il termine g_{gl+sh} viene definito dal modello di calcolo seguente:

$$g_{gl+sh}/g_{gl} = FC$$

- g_{gl} è la trasmittanza di energia solare totale della finestra, quando la schermatura non è utilizzata
- FC è il fattore di riduzione relativo ai tendaggi ed è dipendente dalle proprietà di assorbimento e trasmissione del sistema di schermatura mobile utilizzato. Con $FC=1$ si individua una situazione in cui la superficie vetrata non ha nessun sistema di schermatura mobile; se $FC=0$ la superficie risulta essere completamente schermata (vedi prospetto B.6 UNI/TS 11300-1).

Ancora, possiamo definire:

$$g_{gl} = g_{gl,n} \times F_W$$

- $g_{gl,n}$ è la trasmittanza solare totale per incidenza normale
- F_W è il fattore di esposizione, i cui valori sono funzione del mese e dell'orientamento della finestra (vedi prospetto 20 UNI/TS 11300-1).

La norma UNI TS 11300-1 fornisce il modello di calcolo per determinare $F_{sh,gl}$

$$F_{sh,gl} = [(1 - f_{sh,with}) \times g_{gl} + f_{sh,with} \times g_{gl+sh}] / g_{gl}$$

- $f_{sh,with}$ è la frazione di tempo in cui la schermatura solare viene utilizzata, pesata sulla radiazione solare incidente; i valori sono ricavati dalla norma in funzione del mese e dell'orientamento (vedi prospetto 21);
- g_{gl+sh} è la trasmittanza di energia solare della finestra, quando la schermatura è utilizzata.

Volendo mostrare la relazione che esiste tra $F_{sh,gl}$ ed FC , il modello di calcolo può essere così ridefinito:

$$F_{sh,gl} = 1 - f_{sh,with} + f_{sh,with} \times FC$$

Dall'analisi dei risultati relativi al rapporto $A_{sol,est}/A_{sup,ut}$, è possibile osservare che in nessuna delle località oggetto di studio è verificato il valore limite previsto dalla normativa $A_{sol,est}/A_{sup,ut} < 0,04$.

Per superare questa criticità, è stata condotta un'analisi di sensibilità sui modelli esaminati, considerando la zona climatica D dove si hanno i maggiori scostamenti del rapporto $A_{sol,est}/A_{sup,ut}$ rispetto al valore limite previsto.

Per l'analisi si è scelta come località di riferimento Terni, e ha riguardato esclusivamente le caratteristiche tipologiche delle schermature utilizzate (veneziane e tende esterne) e non quelle degli infissi. In questo caso, il fattore relativo ai tendaggi (estivo ed invernale), può essere determinato in maniera del tutto arbitraria poiché dipende esclusivamente dal tipo di schermatura scelto in fase progettuale.

In **Tabella 14** sono riportati i risultati dell'analisi di sensibilità ottenuti al variare delle caratteristiche di trasmissione e assorbimento delle tende utilizzate relativi a:

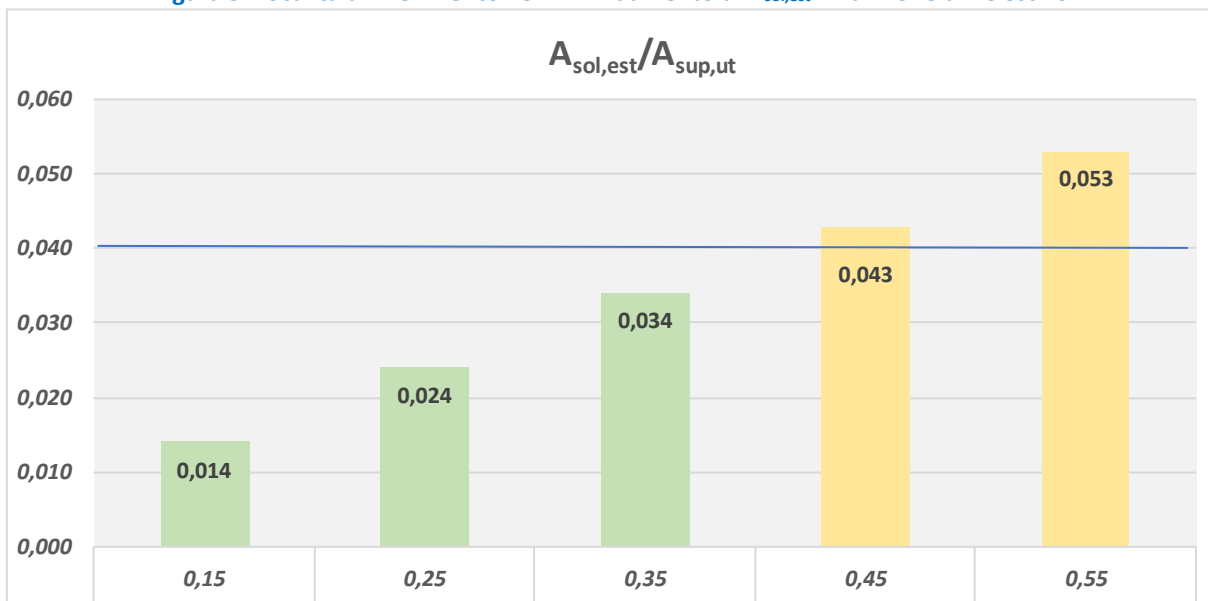
- Rapporto tra Area Solare Equivalente Estiva e Area della Superficie Utile ($A_{sol,est}/A_{sup,ut}$)
- *fattore* di riduzione degli apporti solari estivi e invernali (FC):
- indici di prestazione termica utile per la climatizzazione estiva ed invernale ($EP_{C,nd}$ e $EP_{H,nd}$):
- indici di prestazione energetica globale totale EP_{tot}

Tabella 14: Località di riferimento Terni - Analisi di sensibilità su FC estivo ed invernale

$g_{gl,n}$	FC_{inv}	tipologia tendaggio estivo	FC_{est}	g_{gl+sh}	$A_{sol,eq}/A_{sup,ut}$	$EP_{H,nd}$	$EP_{C,nd}$	$EP_{glob,nren}$
						kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²
0,667	0,55	Veneziana bianca, tenda esterna	0,15	0,362	0,014	16,8	27,9	93,4
0,667	0,55	Veneziana bianca, tenda esterna	0,25	0,362	0,024	16,8	31,0	98,4
0,667	0,55	Veneziana bianca, tenda esterna	0,35	0,362	0,034	16,8	34,3	103,4
0,667	0,55	Veneziana bianca, tenda esterna	0,45	0,362	0,043	16,8	39,6	108,5
0,667	0,55	Tenda bianca esterna	0,55	0,362	0,053	16,8	43,1	113,7
0,667	0,35	Veneziana bianca, tenda esterna	0,15	0,230	0,014	19,6	27,9	96,7
0,667	0,35	Veneziana bianca, tenda esterna	0,25	0,230	0,024	19,6	31,0	101,7
0,667	0,35	Veneziana bianca, tenda esterna	0,35	0,230	0,340	19,6	64,3	106,7
0,667	0,35	Veneziana bianca, tenda esterna	0,45	0,296	0,043	19,6	63,6	111,8
0,667	0,35	Tenda bianca esterna	0,55	0,362	0,053	19,6	43,1	119,6
0,667	0,25	Veneziana bianca, tenda esterna	0,15	0,164	0,014	21,2	27,9	98,7
0,667	0,25	Veneziana bianca, tenda esterna	0,25	0,164	0,024	21,2	31,0	103,6
0,667	0,25	Veneziana bianca, tenda esterna	0,35	0,230	0,034	21,2	34,3	108,6
0,667	0,25	Veneziana bianca, tenda esterna	0,45	0,296	0,043	21,2	39,6	113,7
0,667	0,25	Tenda bianca esterna	0,55	0,362	0,053	21,2	43,1	118,9

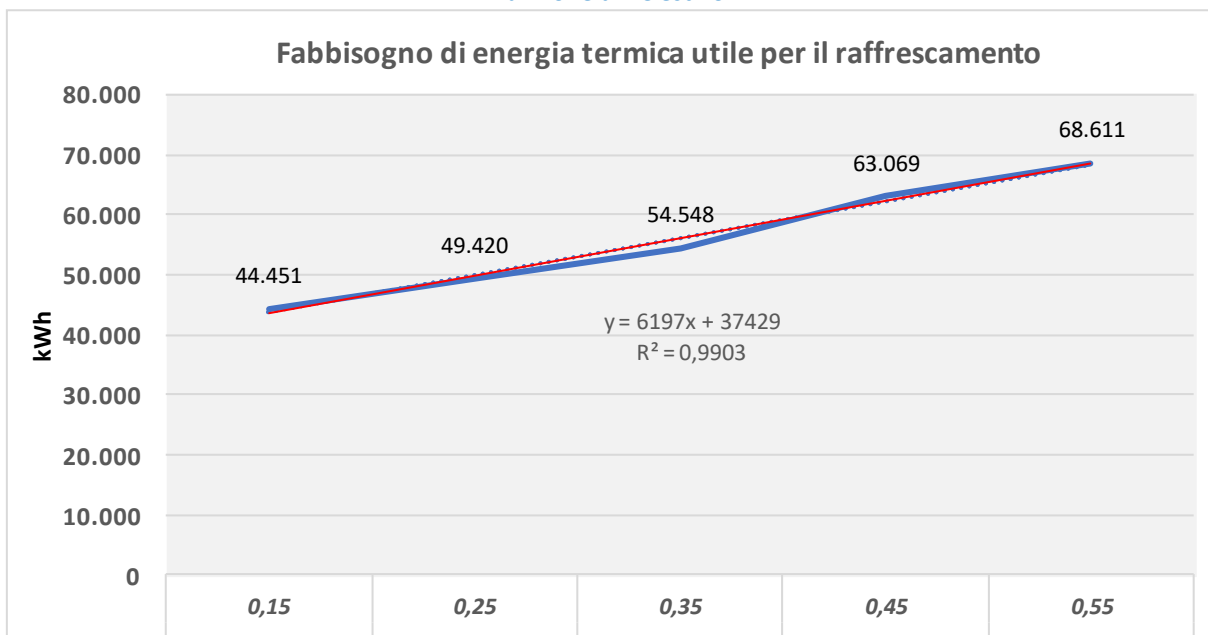
Da **Figura 5** a **Figura 7** vengono mostrate le elaborazioni grafiche dei risultati ottenuti

Figura 5: Località di riferimento Terni - Andamento di $A_{sol,est}$ in funzione di FC estivo



In Figura 5 è mostrato l'andamento del rapporto $A_{sol,est} / A_{sup,ut}$ al variare delle caratteristiche di trasmissione e assorbimento delle tende utilizzate; ad un incremento del fattore FC corrisponde un aumento dell'Area Solare Equivalente estiva, come è anche dimostrato dai modelli di calcolo definiti precedentemente. La verifica del requisito non risulta essere soddisfatta se vengono utilizzate tipologie di schermature caratterizzate dai valori FC=0,45 e FC=0,55.

Figura 6: Località di riferimento Terni - Variazione del fabbisogno di energia termica per raffrescamento in funzione di FC estivo



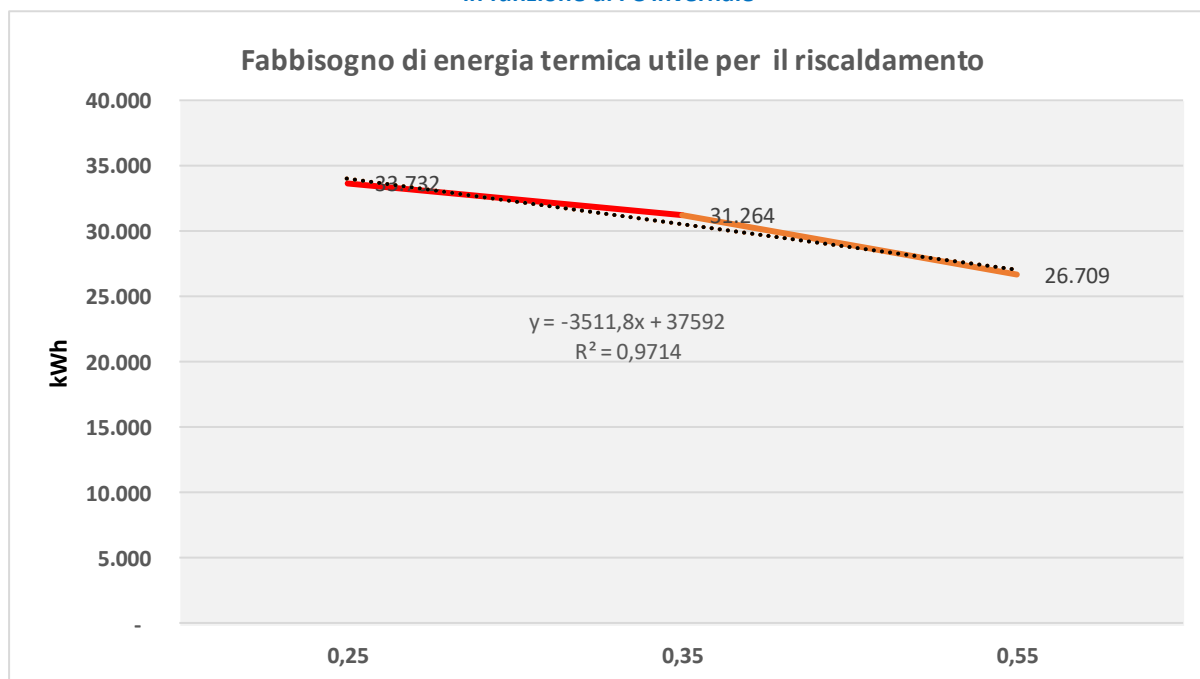
E' possibile evidenziare come il fabbisogno di energia termica utile per raffrescamento sia proporzionale al fattore di riduzione relativo ai tendaggi.

Ciò può essere spiegato se si tiene conto del fatto che aumentando FC, l'Area Solare Equivalente subisce un incremento e, con essa, il flusso della radiazione solare incidente sulla superficie vetrata, in quanto aumenta l'Area Solare Equivalente, che rappresenta la superficie di scambio del flusso radiativo.

Di conseguenza, il fabbisogno di energia termica utile per raffrescamento, cioè la quantità di energia da "asportare" dall'ambiente interno, aumenta.

In [Figura 7](#) vengono riportati i risultati relativi all'analisi di sensibilità sul fattore dei tendaggi nel caso invernale.

Figura 7: Località di riferimento Terni - Variazione del fabbisogno di energia termica utile per riscaldamento in funzione di FC invernale



Si osserva che il fabbisogno di energia termica utile per riscaldamento subisce una diminuzione nel passaggio da sistemi più schermanti a sistemi meno schermanti.

Si può comprendere tale variazione se si tiene conto del fatto che, nella stagione invernale, avere sistemi meno schermanti consente di avere apporti solari, considerati come apporti gratuiti, più consistenti, che vanno ad abbattere il carico termico interno e di conseguenza determinano un decremento del fabbisogno di energia termica utile. La norma UNI TS 11300-1, infatti, contempla gli apporti gratuiti come termini "sottrattivi" del bilancio energetico finalizzato a determinare il fabbisogno di energia termica utile per riscaldamento.

Si può concludere affermando che, per rispettare il requisito sul parametro e contemporaneamente ridurre in maniera significativa il fabbisogno di energia termica, e di conseguenza primaria, per raffrescamento, è opportuno utilizzare delle tipologie di tendaggio con proprietà di trasmissione ed assorbimento molto limitate; nel caso invernale è opportuno, invece, non avere alcun tipo di schermatura per le superfici vetrate.

4.2 Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente

L'altra verifica riguardante l'involucro edilizio impone il rispetto del valore limite del parametro H'_T , ovvero del **coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente** i cui limiti sono funzione del rapporto di forma dell'edificio e della zona climatica.

Tale trasmittanza è oggetto a ulteriore verifica prevista dalla normativa vigente; in particolare, il DM Requisiti Minimi *all'appendice B* riporta, per ogni singola zona climatica, i valori di "trasmittanza massima delle chiusure opache orizzontali, verticali e delle chiusure tecniche trasparenti"

Con la stessa metodologia di approccio adottata nel caso precedente, anche qui si conduce un'analisi di sensibilità focalizzando l'attenzione sulla situazione più critica, quella cioè riferita alla zona climatica B per la quale si ha lo scostamento maggiore tra il valore limite (0,62 W/m²K) e quello calcolato (0,82 W/m²K).

Nell'ipotesi più semplice, si interviene sulla trasmittanza delle superfici trasparenti, che è la più importante nel calcolo della trasmittanza media globale dell'edificio.

Oltre a tale parametro sono state analizzate anche le variazioni degli indici di prestazione energetica, per poter valutare, tra le soluzioni adempienti alla prescrizione della normativa sul parametro, quella più conveniente sotto il profilo del fabbisogno energetico dell'edificio.

In **Tabella 15** sono riportati i risultati delle analisi effettuate per la località di riferimento Reggio Calabria.

Tabella 15- Località di riferimento Reggio Calabria - Analisi di sensibilità sulla trasmittanza delle superfici trasparenti U_w per la zona climatica B

U_w	H'_T	$EP_{H,nd.}$	$EP_{C,nd.}$	EP_{glob}
W/m ² K	W/m ² K	kWh/m ¹	kWh/m ²	kWh/m ²
2,00	0,62	2,6	55,6	102,5
2,25	0,66	3,5	53,9	100,4
2,50	0,71	4,4	52,4	98,7
2,75	0,75	5,4	51,1	97,4
3,00	0,80	6,5	49,7	96,5

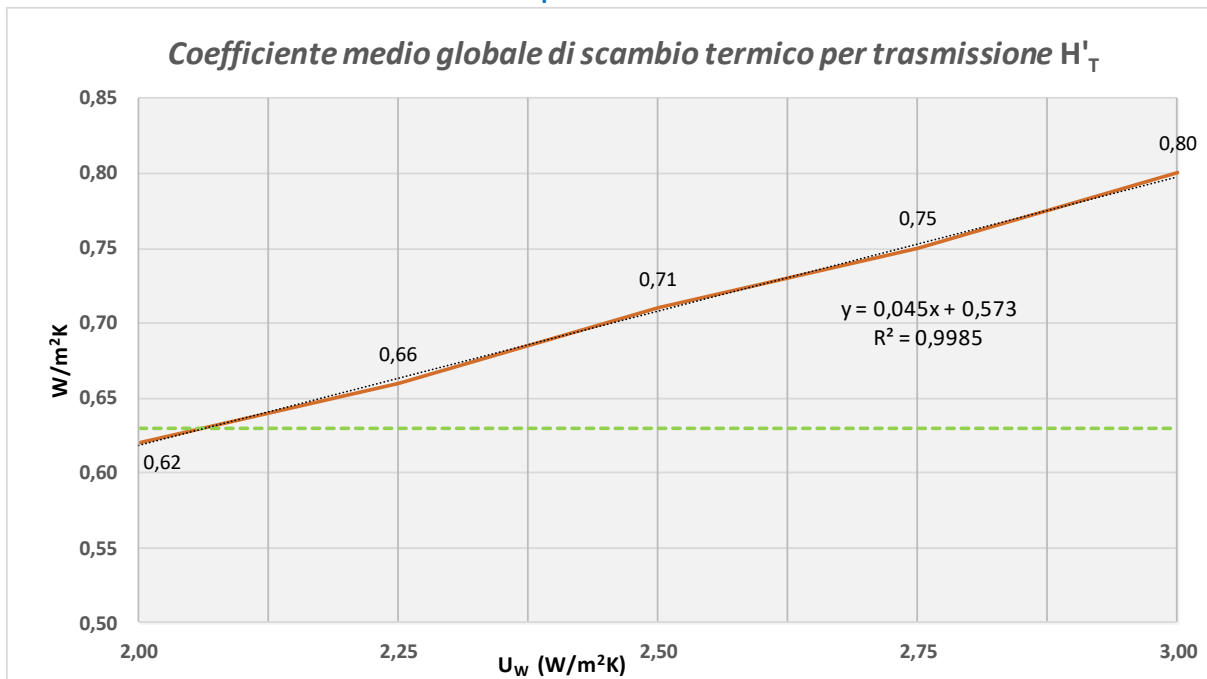
I grafici in **Figura 8** e in **Figura 9** riportano i risultati relativi all'analisi di sensibilità per il parametro relativo all'involucro edilizio; nel grafico di **Figura 10** sono mostrati risultati sotto l'aspetto legato alla variazione % degli indici di prestazione termica utile e all'indice di prestazione energetica globale.

La linearità della curva caratteristica dimostra come la grande incidenza nel calcolo della trasmittanza media globale dell'edificio della trasmittanza delle superfici vetrate. Il valore limite di H'_T è rispettato solo per valori di trasmittanza delle superfici vetrate prossimi a 2 W/m²K o inferiori.

Dai risultati riportati in **Tabella 15**, si osserva che il fabbisogno di energia termica utile per la climatizzazione invernale cresce all'aumentare del valore della trasmittanza termica delle superfici vetrate, mentre diminuisce il fabbisogno di energia termica utile per la climatizzazione estiva.

In questo caso, il maggior scambio di energia termica verso l'ambiente esterno ha un effetto positivo sulla riduzione del fabbisogno.

Figura 8: Località di riferimento Reggio Calabria - Variazione di H'T in funzione della trasmittanza delle superfici vetrate



Per analizzare il risultato complessivo, si osserva l'andamento del fabbisogno di energia primaria globale in funzione della trasmittanza delle superfici vetrate; per il modello studiato, l'incremento della U_w comporta un riduzione del fabbisogno di energia primaria globale.

Focalizzando l'attenzione soltanto sul servizio di riscaldamento e di raffrescamento, gli unici tra gli altri servizi che mostrano interdipendenza con la trasmissione media globale dell'edificio, è interessante osservare come, nonostante un aumento del fabbisogno di energia termica utile per riscaldamento, il fabbisogno energetico complessivo per i due servizi diminuisce al crescere della trasmittanza delle superfici vetrate, come mostrato in [Figura 9](#).

L'aspetto importante da evidenziare è che la verifica della prescrizione normativa, riguardo al coefficiente di trasmissione globale dell'edificio, ha comportato una riduzione della trasmittanza delle superfici vetrate U_w rispetto al valore previsto per la zona climatica B (da 3 W/m²K a 2 W/m²K). Il valore minimo individuato dalla curva di regressione rappresentata si ha per $U_w \approx 5,3$ W/m²K.

Questo però ha come conseguenza un incremento del fabbisogno energetico globale, valutabile intorno a circa il 6% del valore iniziale, evidenziato in [Figura 10](#).

Dalle due analisi di sensibilità emerge chiaramente come la caratteristica fondamentale di questa tipologia di edificio, causa delle criticità maggiori dal punto di vista delle verifiche dei requisiti minimi per l'involucro edilizio, sia la notevole estensione delle superfici vetrate.

Figura 9: Variazione della somma dei fabbisogni di energia termica utile per riscaldamento e raffrescamento

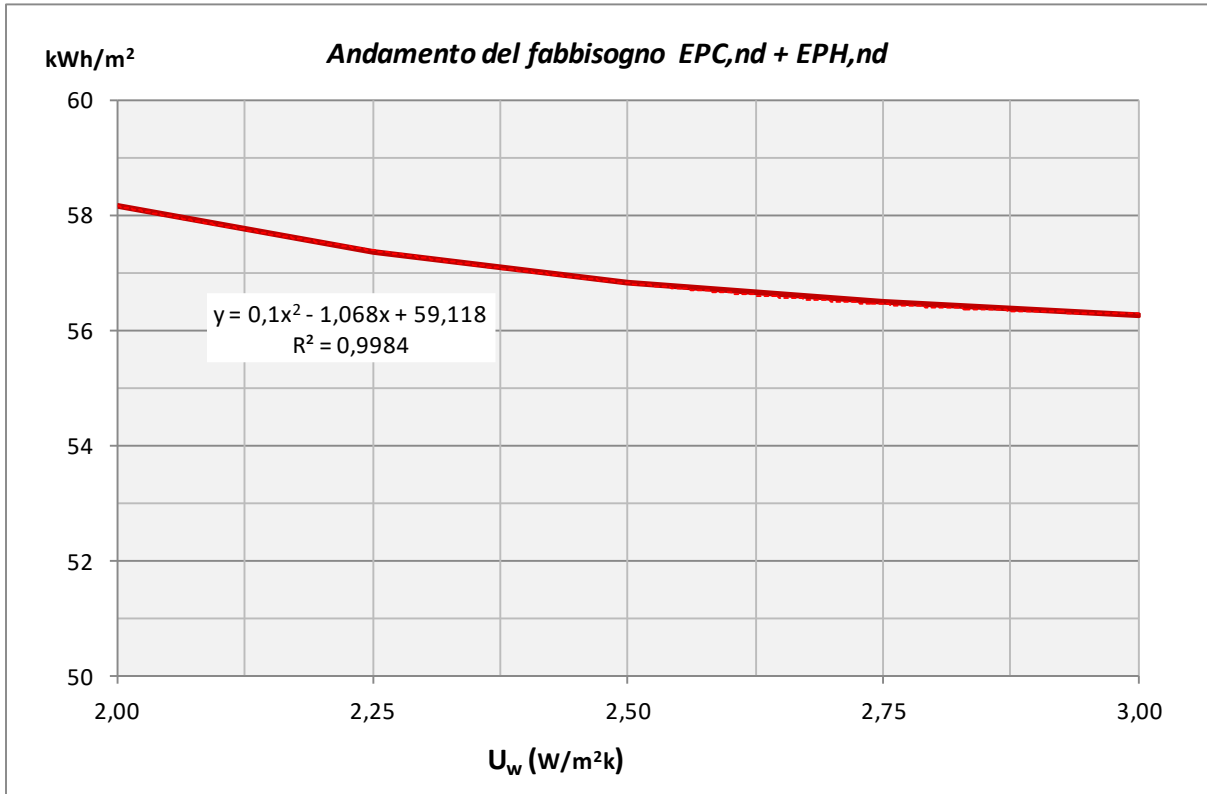
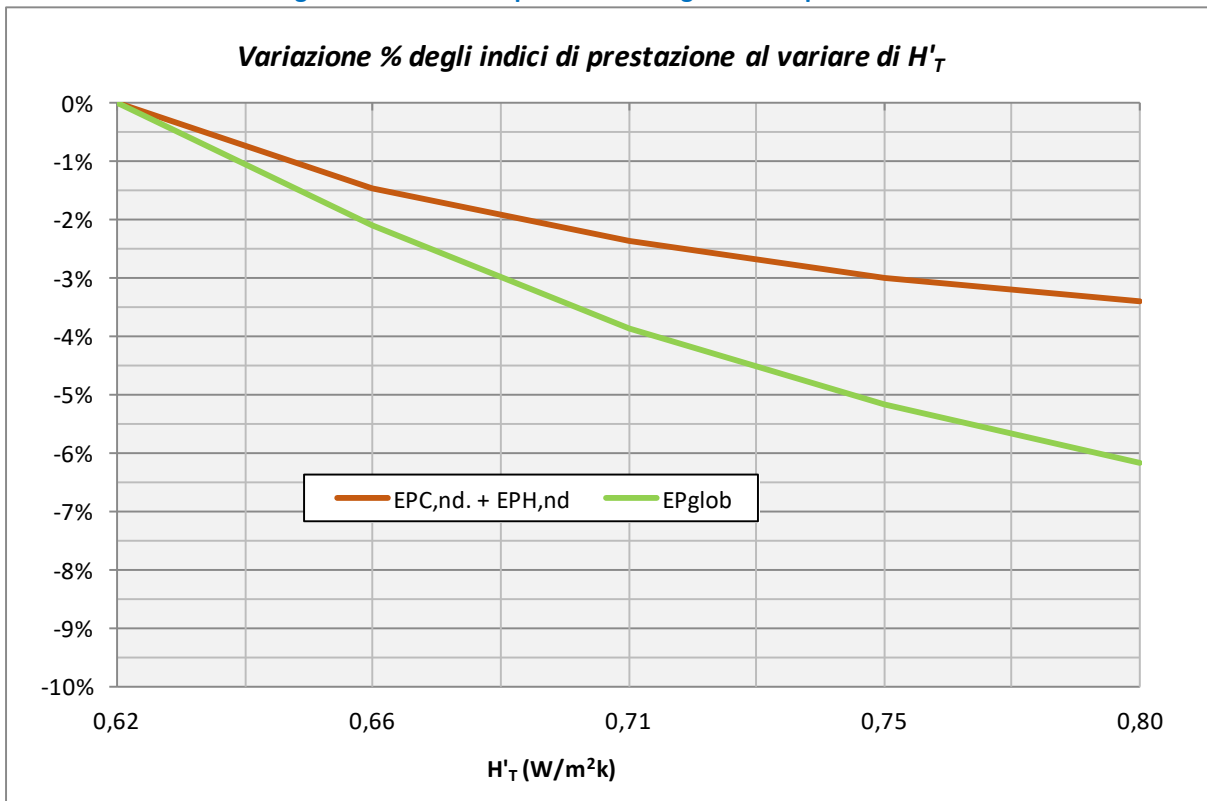


Figura 10: Variazione percentuale degli indici di prestazione



4.3 Il contributo di energia da fonte rinnovabile (Dlgs 28/2011)

Nella tabella a seguire sono mostrati gli esiti ed i risultati relativi alle verifiche sulla copertura delle quote di energia da fonti rinnovabili, previste dal Dlgs 28/2011. E' stato considerato un parco fotovoltaico con una potenza di picco di 10 kWp, valutato in base all' algoritmo fornito dal Dlgs 28/2011, al fine di coprire il 50% del fabbisogno di energia per la produzione di ACS e del 50% di energia per il fabbisogno complessivo di ACS, riscaldamento e raffrescamento.

Tabella 16: Verifiche sulla copertura delle quote di energia da fonti rinnovabili, previste dal Dlgs 28/2011

Zona climatica	EP _C + EP _H + EP _{ACS}		EP _{ACS}	
	copertura	limite	copertura	limite
B	27%	50%	55%	50%
C	28%	50%	55%	50%
D	31%	50%	54%	50%
E	33%	50%	53%	50%
F	35%	50%	54%	50%

Si osserva che la verifica sulla copertura della quota per il solo fabbisogno di energia primaria per produzione di ACS ha esito positivo in tutte le località oggetto di studio; al contrario, non è rispettata la prescrizione sul 50% del fabbisogno di energia primaria sul totale dei tre servizi.

Nonostante si consideri l'utilizzo di pompe di calore per la produzione di ACS e per la climatizzazione e i fabbisogni di energia primaria per riscaldamento siano contenuti, i fabbisogni di energia primaria per il servizio di raffrescamento sono invece elevati. Per questo, pur essendo la potenza di picco dell'impianto fotovoltaico superiore a quella limite prevista (9,6 kWp), il dimensionamento ipotizzato è insufficiente ai fini della verifica della prescrizione prevista.

Infatti, ai fini del Dlgs 28/2011, si può computare come energia rinnovabile solo la quantità di energia aerotermica catturata (rinnovabile) dalle pompe di calore solo se

$$\text{il fattore di rendimento stagionale medio (SPF)} > 1,15 * 1/\eta = 2,875$$

con il valore da utilizzare per il coefficiente η definito da Eurostat e attualmente pari a 0,4.

In base a questo vincolo normativo, risultano quindi esclusi dal calcolo della copertura delle quote di energia da fonti rinnovabili i contributi dovuti alle pompe di calore utilizzare per la climatizzazione estiva e per la produzione di ACS ($\eta_{\text{generazione}} = 2,5 < 2,875$).

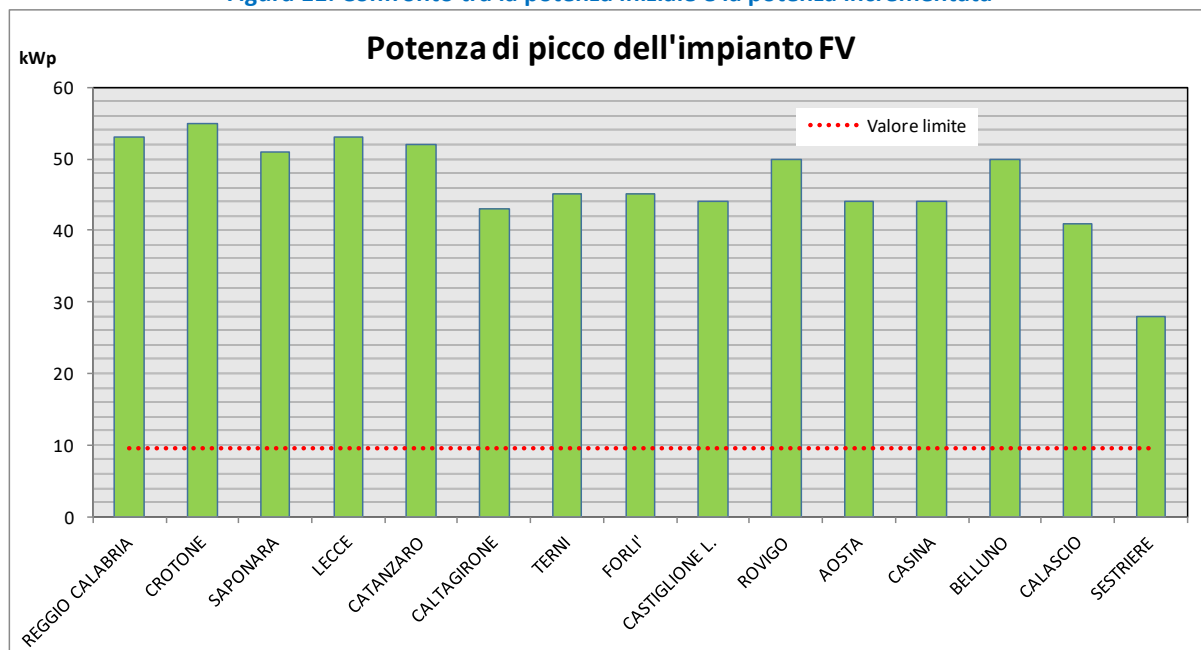
Per la verifica delle copertura delle quote di energia da fonti rinnovabili, è stata quindi incrementata la potenza di picco del parco fotovoltaico per ognuno dei modelli studiati, in evidenza in [Tabella 17](#)

Tabella 17: Incremento della potenza di picco per adempiere alle prescrizioni del Dlgs 28/2011

LOCALITA'	GG	Copertura Rinnovabili				Potenza kWp		
		Climatizzazione + ACS	Limite	ACS	Limite	Prevista	Limite	
B	REGGIO CALABRIA	772	54%	50%	82%	50%	53	9,6
	CROTONE	899	54%	50%	83%	50%	55	9,6
	SAPONARA	900	54%	50%	82%	50%	51	9,6
C	LECCE	1153	55%	50%	81%	50%	53	9,6
	CATANZARO	1328	54%	50%	79%	50%	52	9,6
	CALTAGIRONE	1398	55%	50%	78%	50%	43	9,6
D	TERNI	1650	55%	50%	74%	50%	45	9,6
	FORLI'	2087	54%	50%	71%	50%	45	9,6
	CASTIGLIONE L.	2099	55%	50%	75%	50%	44	9,6
E	ROVIGO	2466	54%	50%	72%	50%	50	9,6
	AOSTA	2850	54%	50%	70%	50%	44	9,6
	CASINA	2999	54%	50%	68%	50%	44	9,6
F	BELLUNO	3043	54%	50%	72%	50%	50	9,6
	CALASCIO	3454	55%	50%	63%	50%	41	9,6
	SESTRIERE	5165	53%	50%	62%	50%	28	9,6

Il confronto tra la potenza calcolata e quella necessaria per verificare il requisito è riportato in [Figura 11](#)

Figura 11: Confronto tra la potenza iniziale e la potenza incrementata



Si osserva che, per le località situate nelle zone climatiche più calde (B e C), la potenza incrementata è mediamente 5 volte superiore a quella minima prevista.

Da punto di vista pratico, prescindendo dal calcolo standardizzato, avere una potenza così alta non è possibile, date le dimensioni dell'edificio; infatti, 50 kWp di picco corrispondono, in base all'algoritmo di calcolo del DLgs 28/2011, a circa 2500 m² di superficie in pianta, a fronte dei 500 m² effettivi.

5 Considerazioni conclusive

L'indagine condotta ha mostrato che in una tipologia di edificio ad uso ufficio come quella dei modelli esaminati, nelle condizioni limiti previste dal DM requisiti minimi per gli edifici ad energia quasi zero (nZEB), i valori dell'indice di prestazione energetica globale sono compresi nell'intervallo $163 \text{ kWh/m}^2 \pm 10\%$.

Questo rende evidente che non è possibile definire un trend di aumento o di riduzione degli indici di prestazione energetica per riscaldamento e raffrescamento nel passaggio da zone climatiche più calde a zone climatiche più fredde; l'aleatorietà è legata alla specifica tipologia di edificio esaminata che presenta un notevole contributo degli apporti solari, che determinando una riduzione dell'indice di prestazione per riscaldamento ma che comportano un incremento, anche consistente, dell'indice di prestazione per raffrescamento. In linea di massima i valori più alti di prestazione si hanno nella zona climatica E, per l'effetto combinato del riscaldamento e del raffrescamento.

Da queste prime valutazioni emerge che, per la tipologia di edificio considerato, sarebbe anche possibile definire un valore limite di prestazione globale per nZEB indipendentemente dalla zona climatica, però nelle condizioni limiti esaminate, la verifica dei requisiti minimi per i parametri relativi all'involucro edilizio presenta diverse problematiche.

La criticità maggiore è dovuta alla notevole estensione delle superfici trasparenti, che incide sul calcolo sia dell'area solare equivalente estiva $A_{sol,est}$ che della trasmittanza media globale dell'edificio H_T .

Per l'area solare equivalente estiva, è stata condotta un'analisi di sensibilità considerando la zona climatica D dove si hanno i maggiori scostamenti del rapporto $A_{sol,est}/A_{sup,ut}$ rispetto al valore limite previsto; tale analisi è stata effettuata per la località di riferimento Terni, e ha riguardato esclusivamente le caratteristiche tipologiche delle schermature utilizzate (veneziane e tende esterne) e non quelle degli infissi.

I risultati ottenuti mostrano una correlazione prossima alla linearità tra il fabbisogno di energia termica utile per raffrescamento e il fattore di riduzione relativo ai tendaggi; alcune soluzioni previste caratterizzate da valori di $FC=0,45$ e $FC=0,55$, non consentono di verificare i limiti di legge previsti.

Per la trasmittanza media globale dell'edificio H_T le analisi condotte hanno riguardato la località di riferimento più calda tra quelle esaminate (Reggio Calabria), in quanto nella zona climatica B si incontrano le maggiori difficoltà circa il rispetto del limite di legge.

Valori di $H_T < 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ possono essere ottenuti attraverso la riduzione della trasmittanza delle superfici trasparenti U_w , ma questo ha come implicazione l'incremento dell'indice di prestazione energetica globale totale. Tale indice diminuisce al crescere della trasmittanza delle superfici trasparenti U_w , e raggiunge il valore minimo (curva di regressione) per U_w prossimo a $5 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Le analisi condotte su H_T confermano già quanto previsto da altri studi che, nelle località più calde, il rispetto dell'adempimento alla prescrizione del DM Requisiti Minimi non è propedeutico ad una riduzione del fabbisogno energetico dell'edificio.

Come osservazione finale si sottolinea che il valore minimo di potenza di un impianto fotovoltaico valutato con l'algoritmo fornito dal Dlgs 28/2011, al fine di coprire il 50% del fabbisogno di energia per la produzione di ACS e del 50% di energia per il fabbisogno complessivo di ACS, riscaldamento e raffrescamento, può risultare, nelle zone climatiche più calde (B e C), una frazione della potenza effettivamente necessaria; questo aspetto risulta amplificato per effetto dell'esclusione dal calcolo della copertura delle quote di energia da fonti rinnovabili dei contributi dovuti alle pompe di calore utilizzare per la climatizzazione estiva e per la produzione di ACS che non verificano i limiti sul fattore di rendimento stagionale, previsti dal Dlgs 28/2011.

6 Bibliografia

6.1 Normativa tecnica

1. UNI/TS 11300-1:2014:Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.
2. UNI/TS 11300-2:2014 Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione.
3. UNI/TS 11300-3:2010 Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva.
4. UNI/TS 11300-4:2016 Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.
5. UNI/TS 11300-5:2016 Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 5: Calcolo dell'energia primaria e dalla quota di energia da fonti rinnovabili.
6. UNI/TS 11300-6:2016 Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 6: Determinazione del fabbisogno di energia per ascensori e scale mobili.
7. UNI/TR 11552 Abaco delle strutture costituenti l'involucro opaco degli edifici - Parametri termofisici.
8. UNI 10339 Impianti aeraulici a fini di benessere - Generalità, classificazione e requisiti - Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura.
9. UNI 10349-1:2016 "Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 1: Medie mensili per la valutazione della prestazione termo-energetica dell'edificio e metodi per ripartire l'irradianza solare nella frazione diretta e diffusa e per calcolare l'irradianza solare su di una superficie inclinata";
10. UNI 10351 Materiali da costruzione - Conduttività termica e permeabilità al vapore.
11. UNI 10355 Murature e solai - Valori della resistenza termica e metodo di calcolo.
12. UNI 10356 Materiali e prodotti per edilizia - Proprietà igrometriche - Valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto.
13. UNI EN 12831 Impianti di riscaldamento negli edifici - Metodo di calcolo del carico termico di progetto.
14. UNI EN 15193 Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per illuminazione.
15. UNI EN 15316-4-8 Impianti di riscaldamento degli edifici - Metodo per il calcolo dei requisiti energetici e dei rendimenti dell'impianto - Parte 4-8: Sistemi di generazione per il riscaldamento degli ambienti, riscaldamento ad aria e sistemi di riscaldamento radianti
16. UNI EN ISO 6946 Componenti ed elementi per l'edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo.
17. UNI EN ISO 10077-1 Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti - Calcolo della trasmittanza termica - Parte 1: Generalità.
18. UNI EN ISO 10211 Ponti termici in edilizia. Flussi termici e temperature superficiali. Calcoli dettagliati.
19. UNI EN ISO 10456 Materiali e prodotti per l'edilizia - Proprietà igrometriche - Valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto.
20. UNI EN ISO 13370 Prestazione termica degli edifici - Trasferimento di calore attraverso il terreno - Metodi di calcolo.
21. UNI EN ISO 13786 Prestazione termica dei componenti per edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche - Metodi di calcolo.
22. EC 1-2011 UNI EN ISO 13786 Errata corrige 1 del 15.3.2011 alla UNI EN ISO 13786:2008.
23. UNI EN ISO 13788 Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale - Metodi di calcolo

24. UNI EN ISO 13789 Prestazione termica degli edifici - Coefficienti di trasferimento del calore per trasmissione e ventilazione - Metodo di calcolo.
25. UNI EN ISO 13790 Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento.
26. UNI EN ISO 14683 Ponti termici in edilizia - Coefficiente di trasmissione termica lineica - Metodi semplificati e valori di riferimento.
27. EN ISO 52016-1 Energy performance of buildings - Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads - Part 1: Calculation procedures

6.2 Legislazione

28. Direttiva 2009/28/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 23/04/2009 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE;
29. Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19/05/2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia (rifusione);
30. 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;
31. Informazioni provenienti dalle istituzioni, dagli organi e dagli organismi dell'Unione 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 (2012/C 115/01);
32. Raccomandazione (UE) 2016/1318 della Commissione del 29 luglio 2016 recante orientamenti per la promozione degli edifici a energia quasi zero e delle migliori pratiche per assicurare che, entro il 2020, tutti gli edifici di nuova costruzione siano a energia quasi zero;
33. Legge 9.1.91, n. 10 Norme per l'attuazione del piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia.
34. D.P.R. 26.8.93, n. 412 Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione all'articolo 4 comma 4 della Legge 10/91.
35. D.Lgs. 19.8.2005, n. 192 Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia.
36. D.Lgs. 30.5.2008, n. 115 Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE.
37. D.Lgs. 3.3.2011, n. 28 Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE.
38. Decreto Legge 4.6.2013 n.63 Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale.
39. Legge 3.8.2013, n. 90 Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63, recante disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché' altre disposizioni in materia di coesione sociale.

40. Decreto 26.6.2015 Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle precisazioni e dei requisiti minimi degli edifici.
41. Decreto 26.6.2015 Schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell'applicazione delle precisazioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici.
42. Decreto 26.6.2015 Adeguamento del decreto del Ministro dello Sviluppo Economico, 26 giugno 2009 - Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.

6.3 Altri riferimenti

43. Chiarimenti In Materia Di Efficienza Energetica In Edilizia (Raccolta n.1 FAQ del MISE. Decreto 26 giugno 2015 cosiddetto "Decreto requisiti minimi", Decreto 26 giugno 2015 cosiddetto "Decreto Linee guida APE", ottobre 2015
44. Chiarimenti In Materia Di Efficienza Energetica In Edilizia (Raccolta n.2 FAQ del MISE. Decreto 26 giugno 2015 cosiddetto "Decreto requisiti minimi", Decreto 26 giugno 2015 cosiddetto "Decreto Linee guida APE", agosto 2016
45. Ministero dello Sviluppo Economico – Strategia per la Riqualificazione Energetica del Parco Immobiliare Nazionale, 2015.
46. Ministero dello Sviluppo Economico – Piano d’Azione Nazionale per incrementare gli edifici ad energia quasi zero, 2015.
47. Buildings Performance Institute Europe (BPIE), Report "Energy Performance Certificates across the EU";
48. ENEA, MiSE "Strategia per la Riqualificazione Energetica del Parco Immobiliare Nazionale (STREPIN)";
49. Kalle Kuusk, Targo Kalamees, Mikk Maivel, Cost effectiveness of energy performance improvements in Estonian brick apartment buildings, EnergyBuild. 77 (2014) 313–322.