

La zonificazione termica tradotta in algoritmi applicabili ai software per calcolare il risparmio energetico e migliorare la classe energetica calcolata.

Thermal zoning translated into algorithms applicable to software to calculate energy savings and improve the calculated energy class.

DAVIDE TRUFFO¹ – FRANCISCO FERNÁNDEZ HERNÁNDEZ² – JOSE MIGUEL PEÑA SUÁREZ³– JUAN BANDERA CANTALEJO³– MARI CARMEN GONZÁLEZ MURIANO³– DESIRÉE QUINTERO MARIN¹

¹ Airzone Italia – Milano, Italy

² Energy Research Group, University of Málaga, Spain

³ Corporación Empresarial Altra ~ Malaga ~ Spain

RIASSUNTO.

La revisione della Direttiva sull'efficienza energetica nell'edilizia (EPBD) attraverso il "Fit for 55" cerca di ridurre le emissioni di almeno il 55% entro il 2030. Tra i principali settori interessati spicca la ristrutturazione del patrimonio edilizio esistente. In questo contesto, è essenziale migliorare l'efficienza dei sistemi HVAC e a questo proposito l'UE promuove l'installazione di dispositivi di autoregolazione per consentire il controllo dei servizi dell'edificio in base alla domanda. A tal fine, la norma UN-EN ISO 52120-1:2022 descrive l'effetto dei dispositivi automatici di controllo domestici sul risparmio energetico del sistema attraverso quattro classi di efficienza: A, B, C e D, e dove il controllo individuale di ogni area dell'edificio (detto anche zonizzazione termica) è un requisito obbligatorio. Tuttavia, se si vuole ricalcolare la classificazione energetica di un edificio dopo una ristrutturazione non sono a disposizione degli strumenti per poter valutare l'impatto dei sistemi di controllo e, in particolare, della zonizzazione termica. Questo documento presenta un caso di studio di un'abitazione residenziale in cui viene valutata l'influenza della zonizzazione termica sulla classe energetica dell'edificio. A tal fine è stato implementato il metodo di calcolo della norma UNI/TS 11300:2014-1.2 per calcolare l'efficienza energetica del riscaldamento, del raffrescamento e della produzione di acqua calda sanitaria.

SUMMARY.

The revision of the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) through the 'Fit for 55' seeks to reduce emissions by at least 55 % by 2030. Among the main sectors concerned are buildings and the renovation of the existing building stock with the aim of improving their energy efficiency. In this context, it is essential to improve the efficiency of HVAC systems and in this regard, the EU promotes the installation of self-regulating devices to enable demand-driven control of building services. To this end, the UN-EN ISO 52120-1:2022 standard describes the effect of automatic home control devices on system energy savings through four efficiency classes: A, B, C and D, and where individual control of each area of the building (also called thermal zoning) is a mandatory requirement. However, if one wants to recalculate the energy classification of a building after renovation, there are no tools available to assess the impact of control systems and, in particular, thermal zoning. This paper presents a case study of a residential dwelling in which the influence of thermal zoning on the building's energy label is evaluated. For this purpose, the calculation method of the UNI/TS 11300:2014-1.2 standard is implemented to calculate the energy efficiency of heating, cooling and domestic hot water production, and the results of the energy label are reported according to building type or climate zone.

Key words: HVAC control systems, radiant floor, fan coil, thermal comfort, energy savings

1. INTRODUZIONE

Il cambiamento climatico indotto dall'uomo sta causando degli effetti e rischi a breve e lungo termine associati al superamento del livello di riscaldamento globale di 1,5 °C, che possono provocare danni irreversibili agli ecosistemi e agli esseri umani (Climate Change 2014). L'UE ritiene che sia necessaria una transizione energetica per ridurre efficacemente le emissioni di gas a effetto serra e aumentare la neutralità climatica. Il Consiglio Europeo, a seguito della Direttiva Efficienza Energetica, propone il pacchetto misure "Target 55", per ridurre le emissioni di almeno il 55% rispetto ai livelli dal 1990 al 2030 (Direttiva Parlamento Europeo 2022). Per raggiungere questo obiettivo, è nato il Patto Verde Europeo con il Pacchetto Target 55, un pacchetto di iniziative politiche il cui obiettivo principale è raggiungere la neutralità climatica entro il 2050. Uno dei settori più importanti in questo pacchetto è l'Efficienza Energetica, in particolare applicata agli edifici. L'Obiettivo 55 promuove la trasformazione degli edifici dell'UE in strutture più ecologiche, poiché l'UE stima che il 75% degli edifici

esistenti sia inefficiente dal punto di vista energetico e richieda un'ampia ristrutturazione energetica. In relazione agli edifici residenziali esistenti, si stabilisce che il consumo medio di energia primaria degli edifici deve essere almeno:

- Classe di efficienza energetica D al 2033.
- Classe di efficienza energetica stabilita da ciascun paese nel 2040.
- Edifici a 0 emissioni nel 2050.

In Italia, il D.Lgs. 48/2020 allinea la normativa italiana in materia di efficienza energetica dei nuovi edifici allo standard europeo previsto dalla Direttiva UE 2018/844.

Sono state introdotte diverse misure per incentivare le ristrutturazioni edilizie sotto forma di detrazioni fiscali: un bonus per le ristrutturazioni "Bonus ristrutturazioni", un bonus per le ristrutturazioni energetiche "Ecobonus" e un bonus per gli interventi antisismici "Sisma-Bonus", un bonus per il restauro delle facciate esterne "Bonus Facciate" e, infine, il "Superbonus" in risposta alla COVID-19, da luglio 2020 fino a dicembre 2022 e in alcuni casi fino al 2023.

Al fine di quantificare il grado di efficienza delle misure di riqualificazione, è importante che i programmi di certificazione energetica siano uno strumento efficace che consenta di valutare l'efficienza energetica di un edificio. Pertanto, in questo studio si evidenzia la necessità che gli strumenti siano aperti all'implementazione dei progressi in materia di efficienza energetica, come l'importanza dei sistemi di controllo dell'aria condizionata. La norma UNI-EN ISO 52120 (ISO 2022) promuove l'installazione di dispositivi di auto-regolazione che consentano di controllare i servizi dell'edificio in base alla domanda, attraverso l'effetto dei dispositivi di controllo automatico dell'abitazione nel risparmio energetico del sistema, suddividendo in quattro classi di efficienza: A, B, C e D, e dove il controllo individuale di ogni zona dell'edificio (noto anche come zonizzazione termica) è un requisito obbligatorio.

Questo articolo presenta un caso di studio di una casa residenziale in cui viene valutata l'influenza della zonizzazione termica sull'etichetta energetica dell'edificio. Per questo viene implementato il metodo di calcolo della norma UNI/TS 11300:2014-1-2 (Comitato Italiano di Unificazione, 2008, ISO2014) per il calcolo dell'efficienza energetica di riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria. Il modello viene validato con lo strumento Docet sviluppato dall'ENEA (Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile) e viene eseguita un'analisi di sensitività con parametri quali zona climatica e tipologia costruttiva con l'obiettivo di valutare l'influenza della zonificazione termica sull'etichetta energetica in diverse condizioni operative.

2. MODELLAZIONE DEL SISTEMA

Di seguito si descrive la modellazione della procedura di calcolo dell'etichetta energetica e del sistema di climatizzazione.

2.1. Calcolo dell'etichetta energetica

Le equazioni implementate in questo studio applicano la procedura per il calcolo del fabbisogno di energia termica regolamentata dalla UNI TS 11300, con l'obiettivo di essere validata dal CTI (Comitato Termotecnico Italiano) che prevede uno scostamento massimo del +/-5%. Per questo è stato utilizzato l'ambiente di programmazione del software Trnsys17.

Nelle approssimazioni per il calcolo della certificazione è stata adottata l'opzione del metodo semplificato in regime stazionario, ma con un calcolo orario (anziché mensile) per tener conto della zonizzazione termica. Ciò consente di impostare la temperatura di setpoint in ogni stanza e di permettere all'impianto di adattare il suo funzionamento in base alle condizioni termiche di ciascuna zona.

Il calcolo del fabbisogno ideale di energia termica per riscaldamento e raffrescamento si ottiene dalle seguenti equazioni:

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

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

A partire da questi parametri, viene calcolato l'indice di prestazione energetica (EPH), che rappresenta l'energia totale consumata dall'edificio climatizzato per metro quadrato all'anno e indica quanta energia viene consumata per garantire il comfort dell'edificio, in base ai servizi energetici presenti e al tipo di costruzione, considerando un utilizzo standard. A partire dal 1° ottobre 2015, secondo le linee guida per la certificazione energetica DM 26-06-2015, l'efficienza energetica degli edifici residenziali viene espressa attraverso l'indice globale di efficienza energetica non rinnovabile, che include il calcolo delle prestazioni dei sistemi di climatizzazione considerando diversi sottosistemi, come gli impianti di generazione, distribuzione, emissione e dispositivi di controllo, secondo la norma UNITS 11300-2 (UNI, 2014), utilizzando i seguenti parametri:

- Clima invernale (EP_{h,nren})
- Il clima estivo (EP_{c,nren})
- La produzione di acqua calda sanitaria (EP_{w,nren})
- Ventilazione meccanica (EP_{v,nren}). Questo calcolo è stato omesso in questo studio perché la ventilazione meccanica è ancora relativamente poco diffusa nel settore residenziale.

Per determinare la classe energetica di un edificio è necessario determinare il valore dell'energia primaria globale non rinnovabile EP_{gI,nren} (in kWh/m² anno) sia per l'edificio oggetto di certificazione sia per un edificio di riferimento che abbia la stessa caratteristiche geometriche, esposizione e localizzazione rispetto all'edificio da certificare, ma con parametri di efficienza energetica pari alla classe A1.

2.2. Sistema zonificato per il controllo della climatizzazione

Allo stesso modo in cui in una casa c'è un interruttore per accendere la luce in ogni stanza, il concetto di suddivisione in zone termiche permette, attraverso un termostato in ogni stanza, di poter controllare la temperatura di ogni zona. Nel settore residenziale e nei servizi di piccola e media potenza si utilizzano frequentemente impianti a tutta aria con macchine inverter ad espansione diretta e rete di canalizzazione a portata costante. Questo tipo di impianto si basa sul controllo della temperatura di una singola zona, in modo tale che tale temperatura venga mantenuta all'interno della fascia di comfort. Come per il resto delle zone, anche quando la rete dei condotti è ben progettata e si sceglie la potenza massima dell'apparecchiatura, se non presentano un profilo di carico simile a quello della zona di controllo (uso, orientamento, carichi termici, ecc.), le loro temperature potrebbero essere al di fuori dell'intervallo di comfort.

In alternativa a questi, i sistemi a zone si basano sul controllo indipendente della temperatura di ciascuna delle zone. Per questo, in ogni stanza è installato un termostato che consente di conoscere la richiesta termica in ciascuna di esse e di selezionare una temperatura di setpoint indipendente in base alle preferenze ed alle necessità dell'utente. In questo modo, quando una zona raggiunge la temperatura impostata, invia un segnale di comando alla serranda motorizzata della zona in modo che si chiuda interrompendo l'immissione di aria di climatizzazione. La Figura 1 mostra uno schema di un sistema a zone:

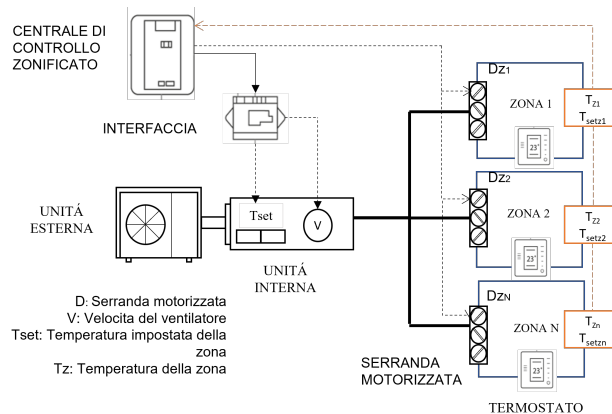


Figura 1 – Schema del sistema di controllo a zone

Il modello di controllo zonizzato è stato pubblicato in diversi studi di ricerca (Fernández, 2022). La sua applicazione nei programmi di certificazione energetica è stata validata in Spagna con l'inclusione in programmi certificati come documenti riconosciuti dal Ministero per la Transizione Ecologica e la Sfida Demografica, come HULC, SG-Save o Tektom.

In relazione al modello di calcolo, quando si suddivide una residenza in zone, è essenziale che il modello identifichi diverse zone termiche all'interno dell'edificio anziché considerare l'edificio come una singola zona, come accade in alcuni programmi di certificazione. Per ogni zona verrà calcolata l'energia termica per il riscaldamento e il raffreddamento.

Inoltre, è essenziale includere i profili di occupazione per ciascuna zona. Questi profili vengono applicati al sistema zonizzato per ogni zona. In questo modo, durante le ore in cui una zona non è occupata, il sistema di controllo mantiene la valvola motorizzata chiusa durante tali ore. Al contrario, nel sistema convenzionale, avendo il termostato solo nella zona principale, si presume che l'unità funzioni solo sempre in base alle condizioni termiche di quella zona.

Di seguito viene descritto il funzionamento dell'unità per ciascuna modalità:

1. Sistema convenzionale. Non zonizzato. I passi da seguire sono i seguenti:

- Il calcolo della portata d'aria di mandata per ciascuna zona ($m_{imp,zi}$) viene determinato impostando la velocità media del ventilatore dell'apparecchiatura, che a sua volta determina la portata volumetrica totale inviata a tutte le zone. La portata per ogni singola zona viene ottenuta dividendola per il numero totale di zone.
- Calcolo della temperatura di mandata dell'unità ($T_{imp,ris}$ o $T_{imp,raf}$). Poiché il termostato si trova nella zona master, l'energia termica di questa zona determina la temperatura di mandata dell'unità in base alle seguenti equazioni:

$$T_{imp,ris} = T_{z,ris} + Q_{H,nd,ZM}/(m_{imp,zi} * C_{Pair}) \quad (3)$$

$$T_{imp,raf} = T_{z,raf} - Q_{C,nd,ZM}/(m_{imp,zi} * C_{Pair}) \quad (4)$$

- Calcolo dell'energia termica di riscaldamento e raffreddamento necessaria in ogni zona ($Q_{H,nd,zi}$, $Q_{C,nd,zi}$). Viene calcolato dalla differenza di temperatura tra l'uscita e il setpoint ($T_{z,ris}$ o $T_{z,raf}$) e l'area del flusso in uscita secondo le equazioni 5 e 6.

$$Q_{H,nd,zi} = m_{imp,zi} * C_{Pair} * (T_{imp,ris} - T_{z,ris}) \quad (5)$$

$$Q_{C,nd,zi} = m_{imp,zi} * C_{Pair} * (T_{z,raf} - T_{imp,raf}) \quad (6)$$

2. Sistema di controllo zonificato. I passi da seguire sono i seguenti:

- Il calcolo della portata d'aria di mandata per ciascuna zona ($m_{imp,zi}$). Si impone la velocità media del ventilatore dell'unità che determina il flusso volumetrico totale spinto verso tutte le zone in cui vi è occupazione, secondo i profili di occupazione orari determinati. Il flusso d'aria in ogni zona viene ottenuto dividendo tale valore per il numero totale di zone occupate. In questo modo, si distribuisce la quantità di aria necessaria in base alle zone effettivamente occupate.
- Calcolo della temperatura di mandata dell'unità ($T_{imp,ris}$ o $T_{imp,raf}$). A differenza del sistema tradizionale, in ogni zona è presente un termostato, quindi la temperatura di mandata dell'impianto è determinata dalla zona che presenta un differenziale termico maggiore tra la temperatura di zona e la temperatura di setpoint che, in questo modello, è rappresentata da quella con il più alto carico termico, come espresso nelle seguenti equazioni:

$$T_{imp,ris} = T_{z,ris} + Q_{H,nd,Max}/(m_{imp,zi} * C_{Pair}) \quad (7)$$

$$T_{imp,raf} = T_{z,raf} - Q_{C,nd,Max}/(m_{imp,zi} * C_{Pair}) \quad (8)$$

- Calcolo dell'energia termica di riscaldamento e raffreddamento necessaria in ogni zona ($Q_{H,nd,zi}$, $Q_{C,nd,zi}$). Viene calcolato secondo le equazioni 5 e 6 sopra descritte.
- L'energia termica totale per riscaldamento (Q_{Hnd}) e raffreddamento (Q_{Cnd}) è calcolata dalla somma di ciascuna delle zone e, di conseguenza, è stata modificata secondo la consueta procedura di calcolo, basata sui presupposti di regolazione della climatizzazione, che incidono il calcolo della certificazione energetica dell'edificio.

3. VALIDAZIONE DEL MODELLO TRAMITE DOCET

Per la validazione del modello proposto, verranno confrontati i risultati mensili di Q_{Hnd} e Q_{Cnd} per un semplice caso abitativo, nonché gli indici di efficienza energetica globale EP_{gl,nren}, per il calcolo dell'etichetta energetica.

Il caso studio è una casa semplice di 101,9 m², composta da 3 stanze: soggiorno-cucina, camera da letto e bagno (Figura 2). Si tratta di una casa indipendente situata alle porte di Milano e Roma con involucro caratterizzato secondo quanto riportato nella tabella 1.

Tabella 1. Trasmittanza termica U (W/(m²K))

Parete verticale	Soffitto	Pavimento	Finestre
0.37	0.32	0.38	3.70

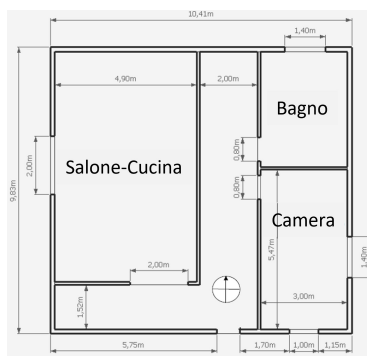


Figura 2 – Planimetria della casa Modello 1.

I risultati che confrontano l'energia termica sono mostrati in figura 3. L'errore medio annuo dell'energia termica calcolato tra i due modelli è rispettivamente del 10,6 e del 13,9% a Milano e a Roma.

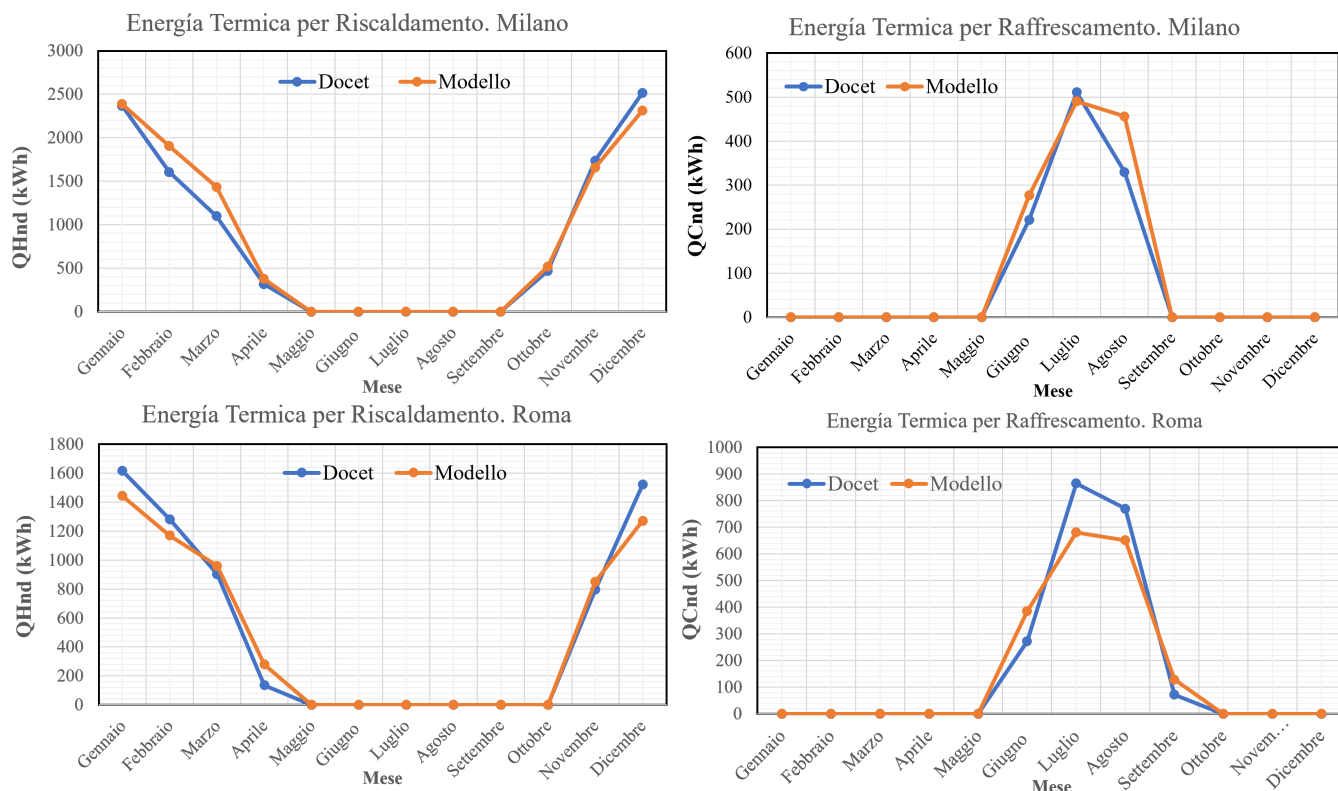


Figura 3 – Comparativa risultati dell'energia termica.

Sono invece confrontati anche i risultati dei parametri relativi al calcolo dell'indice globale di efficienza energetica non rinnovabile (tabella 2). Si osservi che in entrambi i casi si ottiene un'etichetta di classe B e l'errore nel calcolo dell'energia primaria globale non rinnovabile di entrambi i modelli è rispettivamente del 13,8 e del 4,5% a Milano ea Roma.

Tabella 2. Risultati dell'Energia primaria annuale

Città	Milan		Roma	
	DOCET	Modello	DOCET	Modello
EPH,nd (kWh/m ² anno)	101.12	106.09	62.56	59.78
EPC,nd (kWh/m ² anno)	10.61	12.24	19.79	18.46
EPW,nd (kWh/m ² anno)	15.66	17.20	14.23	14.87
η _h	0.69	0.62	0.63	0.66
η _c	1.01	1.02	0.98	0.92
η _w	0.57	0.57	0.57	0.57
EPH,nren (kWh/m ² anno)	75.01	86.73	51.36	46.46
EPC,nren (kWh/m ² anno)	8.48	9.62	16.21	15.98
EPW,nren (kWh/m ² anno)	27.63	30.12	25.12	26.04
EPgl,nren (kWh/m ² anno)	111.12	126-47	92.69	88.48
Epgl,nren,rif (kWh/m ² anno)	104.82	117.41	86.83	84.45
Classe	B	B	B	B

4. CASO DI STUDIO

Per il caso di studio in cui viene analizzato il sistema di climatizzazione, viene scelta un'abitazione plurifamiliare convenzionale. L'appartamento dispone di 5 zone climatizzate (soggiorno, cucina, studio, camera da letto dei genitori e camera da letto dei bambini) con una superficie di 121 m², il resto è considerato come un'unica zona non riscaldata. È una casa situata al terzo piano di 5 piani, nel centro della città.

Il modello di calcolo richiede l'inserimento dei dati, per ciascuna delle zone, riguardanti: area della zona, lunghezza della parete esterna e area della superficie vetrata per ogni orientamento, lunghezza totale della parete interna e altezza. La figura 4 mostra il modello 3D della casa e la planimetria con le misure necessarie per l'introduzione dei dati.

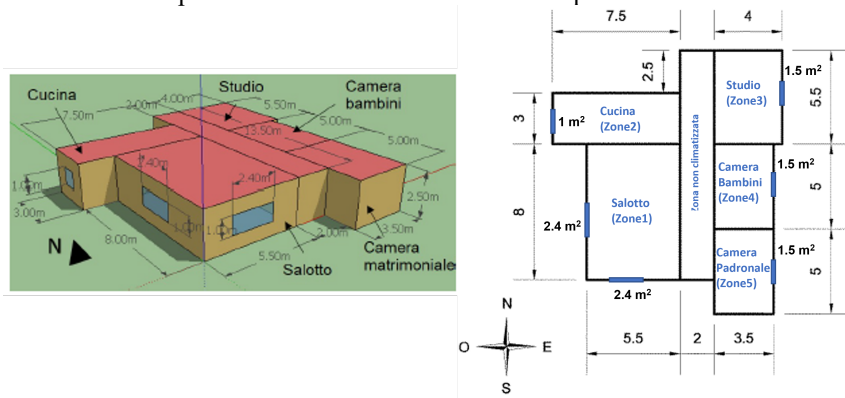


Figura 4 – Rappresentazione in 3D della casa.

Il DPR 412/93 suddivide il territorio nazionale italiano in 6 zone climatiche, in base al parametro gradi-giorno (DPR 412/1993, 1991). I file climatici utilizzati provengono dal database (epw) del programma EnergyPlus. In questo caso studio verranno analizzate 3 zone climatiche corrispondenti alle città di Milano (Zona E), Roma (Zona D) e Napoli (Zona C).

Per la definizione dell'involucro opaco si introduce la tipologia di muratura (muro, pavimento e soffitto) e per la definizione delle finestre si parte dalla definizione della composizione di telaio, vetro e camera d'aria. Le caratteristiche termiche dell'involucro edilizio sono uno degli elementi più influenti nell'etichetta energetica risultante, come dimostrato in diversi studi (Ascione 2022). In questo caso vengono proposti 4 edifici con un involucro di caratteristiche termiche diverse:

- Edificio di Classe 3 (Struttura in calcestruzzo). Corrispondente ad una costruzione dell'anno 1921-1945. Edificio con isolamento termico scadente.
- Edificio B. Edificio di isolamento medio. Definito nello studio di Ascione et al (Ascione 2022)
- Edificio C. Isolamento dell'edificio accettabile. Definito nello studio di Ascione et al (Ascione 2022).
- Edificio regolamentare. Edificio con un elevato grado di isolamento come stabilito dalla norma D.Lgs. 19 agosto 2005 n. 192.

Le caratteristiche termiche definite dal coefficiente di scambio termico globale calore U è definito nella tabella 3.

Tabella 3. Trasmittanza termica (W/(m² K)) per tipologia di edificio

Tipologia di Edificio	$U_{\text{Parete esterna}}$	$U_{\text{Parete interna}}$	$U_{\text{pav/soffitto interno}}$	U_{Finestra}
EdifClasse3	1.26	1.30	1.3	5.80
EdifC	0.95	1.02	1.02	5.80
EdifB	0.51	0.71	0.71	2.72
EdifNorm	0.26	0.50	0.50	2.40

Come descritto nella sezione 2.2, la definizione del profilo occupazionale è essenziale. Per questo motivo vengono proposti una serie di profili predefiniti che vengono assegnati a ciascuna delle zone definite, come mostrato in figura 5.

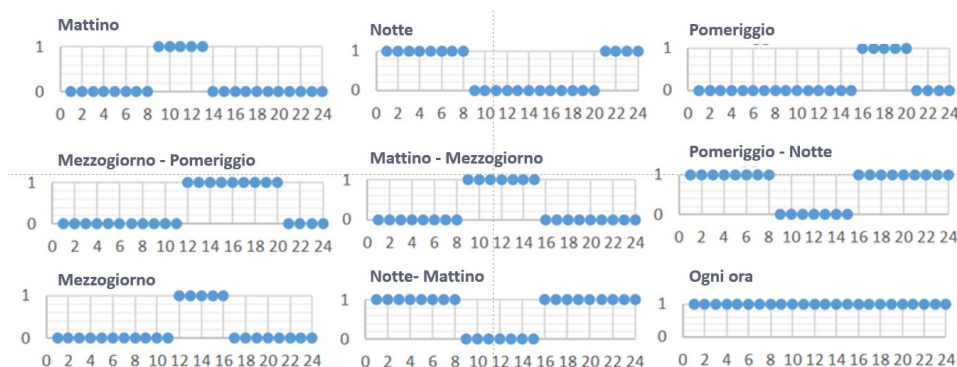


Figura 5 – Profili di occupazione

Nel caso studio è stato selezionato un tipico profilo residenziale in funzione della zona abitativa, con il profilo Mezzogiorno-Pomeriggio per il soggiorno e la cucina, Pomeriggio per l'ufficio e Pomeriggio-Notte e Notte per le camerette dei ragazzi e principale, rispettivamente.

L'impianto di climatizzazione oggetto di studio è un impianto ad espansione diretta canalizzato che deve essere definito inserendo la potenza termica di riscaldamento e raffrescamento in kW, il COP e l'EER stagionali e le portate volumetriche (bassa e alta) in m³/h. A seconda del tipo di abitazione, della superficie e delle caratteristiche termiche, viene determinato un modello di apparecchiatura corrispondente a una potenza di 7 kW per il riscaldamento e 5,7 kW per il raffrescamento, le cui caratteristiche sono specificate nel riferimento (Daikin 2022). Il sistema, invece, funzionerà secondo i setpoint di riscaldamento e raffrescamento che, di default, sono stabiliti secondo le normative a 20 e 26°C rispettivamente per il riscaldamento e il raffrescamento.

5. RISULTATI

Si presentano i risultati ottenuti dopo la simulazione della casa proposta nello strumento di certificazione energetica proposto in questo studio, dove vengono confrontati il caso del sistema di climatizzazione non zonizzato (NonZon) e del sistema di climatizzazione a zone (Zon). Sono stati considerati i seguenti parametri di valutazione:

- EP_{gl,nren} (in kWh/m²*anno)
- L'etichetta energetica
- Emissioni di CO₂ (kgCO₂/m²*anno) e la percentuale di risparmio ottenuta dopo la zonificazione termica.

Le emissioni di CO₂ sono calcolate dai fattori di conversione corrispondenti ad un impianto di climatizzazione con consumo di energia elettrica (Ascione 2022):

- Fattore di potenza primario dell'elettricità: 1,96
- Fattore di emissione dell'energia elettrica: 0,424 kgCO₂/kWh.

La figura 6 mostra il confronto dei risultati di energia primaria non rinnovabile globale, etichetta energetica ed emissioni di CO₂ per zona climatica e tipologia di edificio.

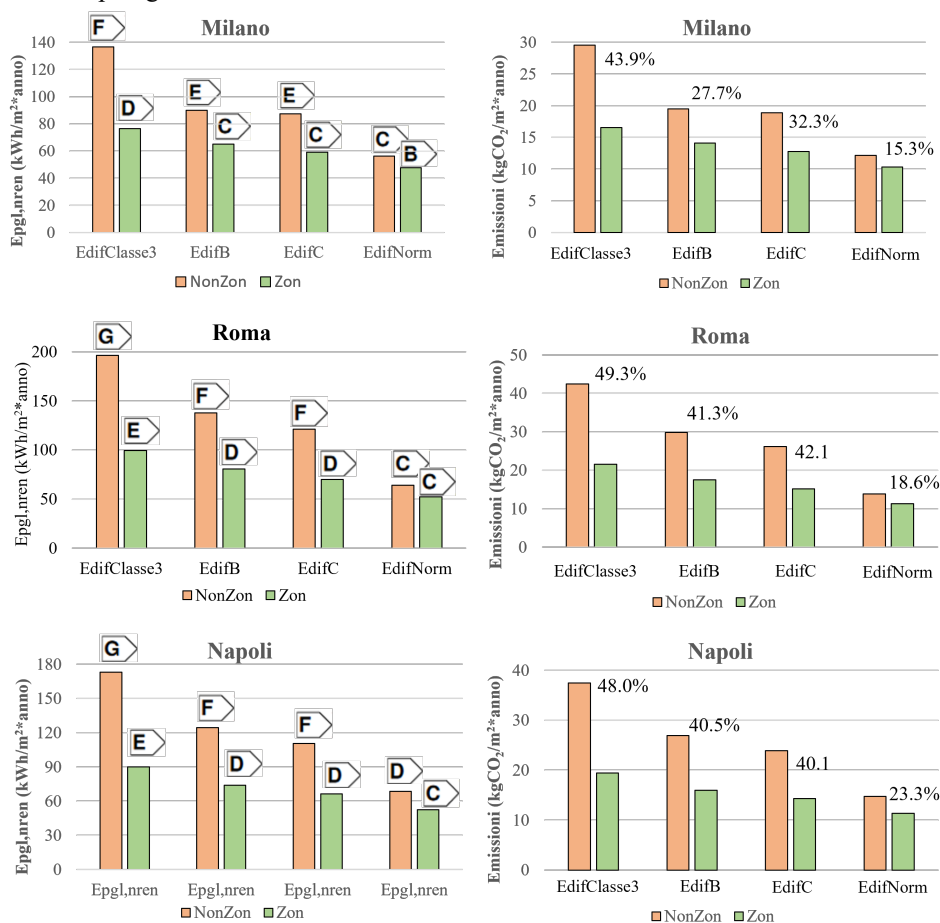


Figura 6 – Risultati della energia primaria globale no rinnovabile, etichetta energetica e emissioni di CO₂ a seconda della zona climatica e della tipologia di edificio.

In una prima analisi, se si valutano i risultati per la città di Milano nell'edificio in Classe3, si nota come il sistema di controllo a zone consegua un notevole miglioramento dell' $E_{pgh,nren}$, che porta ad un miglioramento dell'etichetta energetica dalla classe F alla D, che significa un cambio di due livelli sulla scala, il che significherebbe poter usufruire dei benefici degli incentivi del Superbonus. In termini di emissioni di CO₂, si registra una riduzione da 29 a 16 kgCO₂/m²*anno, che rappresenta una riduzione del 43,9%.

Se si pone l'accento sull'influenza del tipo di edificio, va notato che al migliorare delle condizioni termiche dell'involucro termico, rendendo l'edificio più isolato, si può osservare che in tutti i casi l'etichetta energetica migliora, e il sistema a zone mantiene il salto di due livelli nell'edificio B e C, anche se non nel caso dell'edificio con il miglior livello di isolamento, dove la riduzione di energia primaria è molto inferiore, che si traduce anche in una minore percentuale di risparmio di CO₂ emissioni che si riducono al 18,6%.

Infine, viene analizzata l'influenza della zona climatica sui risultati ottenuti. Le città di Roma e Napoli aumentano il consumo di energia primaria rispetto alla città di Milano a causa dell'aumento dell'energia termica dovuta al raffrescamento, il che significa generalmente che si ottiene un'etichetta energetica peggiore in tutti gli edifici, sebbene l'influenza del sistema di climatizzazione sia simile in ogni tipologia di edificio come nel caso della città di Milano. Si può tuttavia notare che la percentuale di riduzione delle emissioni di CO₂ negli edifici B e C aumenta a Napoli e Roma rispetto alla città di Milano, che passa dal 30 al 40% circa.

CONCLUSIONI

Questo studio analizza l'influenza dei sistemi di controllo dell'aria condizionata sull'efficienza energetica dell'edificio attraverso la modellazione di un sistema di controllo zonizzato, che consente di controllare la temperatura in ciascuna delle zone dell'edificio utilizzando un sistema inverter canalizzato.

L'interesse per questi sistemi è sempre più diffuso, come indicato dalle normative europee legate all'automazione dei sistemi negli edifici, sia per il comfort termico che per il risparmio energetico. Al fine di promuoverne l'uso, si intende quantificare l'effetto di questi sistemi di regolazione nel calcolo dell'etichetta energetica degli edifici, introducendo l'effetto della zonizzazione termica nel metodo di calcolo regolamentato secondo UNI TS 11300. A tal scopo, è stato utilizzato l'ambiente di programmazione del software Trnsys17.

Innanzitutto, il modello è stato validato per un caso di studio di una casa semplificata confrontando i risultati del calcolo dell'energia termica per il riscaldamento e il raffreddamento e dell'indice globale di efficienza energetica ottenuti tramite lo strumento Docet.

Una volta validato, viene presentato il modello di controllo zonizzato adattato al calcolo dell'etichetta energetica degli edifici e viene eseguita la simulazione per un caso di studio di una casa residenziale situata in diverse zone climatiche e con diversi livelli di isolamento termico dell'involucro.

I risultati rivelano che il sistema di controllo a zone consente di migliorare l'etichetta energetica praticamente in tutti i casi ottenuti dopo la simulazione e, nella maggior parte di essi, di ottenere un cambio di due livelli della scala, il che significherebbe poter sfruttare dei benefici degli incentivi Superbonus. Questo miglioramento è più significativo negli edifici con un isolamento termico peggiore e con un maggiore consumo di energia termica, ottenendo risparmi nella riduzione delle emissioni di CO₂ fino al 49%.

SIMBOLOGIA

$C_{p,air}$	Calore specifico dell'aria, kJ/(kgK)
$E_{Pc,nd}$	Energia primaria per la climatizzazione estiva, kWh/m ²
$E_{Ph,nd}$	Energia primaria per la climatizzazione invernale, kWh/m ²
$E_{Pw,nd}$	Energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria, kWh/m ²
$E_{Pc,nren}$	Energia primaria non rinnovabile per la climatizzazione estiva, kWh/m ²
$E_{Pgl,nren}$	Energia primaria globale non rinnovabile, kWh/m ² *anno
$E_{Ph,nren}$	Energia primaria non rinnovabile per la climatizzazione invernale, kWh/m ²
$E_{Pv,nren}$	Energia primaria non rinnovabile per la ventilazione meccanica, kWh/m ²
$E_{Pw,nren}$	Energia primaria non rinnovabile per la produzione di acqua calda sanitaria, kWh
$m_{imp,zi}$	Portata aria di immissione alla zona i, kg/s
$Q_{C,ht}$	Scambio di energia termica totale nel caso di raffrescamento, MJ
$Q_{C,nd}$	Fabbisogno energetico per raffrescamento, kWh
$Q_{C,nd,ZM}$	Fabbisogno energetico per raffrescamento della zona maestra, kWh
$Q_{C,tr}$	Scambio di energia termica per trasmissione nel caso di raffrescamento, MJ
$Q_{C,ve}$	Scambio di energia termica per ventilazione nel caso di raffrescamento, MJ

Q_{gn}	Sono gli apporti totali di energia termica, MJ
$Q_{H,ht}$	Scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento, MJ
$Q_{H,nd}$	Fabbisogno energetico per riscaldamento, kWh
$Q_{H,tr}$	Scambio di energia termica per trasmissione nel caso di riscaldamento, MJ
$Q_{H,ve}$	Scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento, MJ
$Q_{H,nd,ZM}$	Fabbisogno energetico per riscaldamento della zona maestra, kWh
Q_{int}	Sono gli apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne, MJ
$Q_{sol,w}$	Sono gli apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente sui componenti vetriati, MJ
$T_{imp,raf}$	Temperatura di mandata in raffrescamento, C
$T_{imp,ris}$	Temperatura di mandata in riscaldamento, C
$T_{z,raf}$	Temperatura di set-point di zona in raffrescamento, C
$T_{z,ris}$	Temperatura di set-point di zona in riscaldamento, C
U	Trasmittanza termica del componente costruttivo, W/(m ² K)

Simboli greci

η_c	Efficienza media stagionale impianto raffrescamento
$\eta_{c,ls}$	Fattore di utilizzazione delle dispersioni di energia termica
η_h	Efficienza media stagionale impianto riscaldamento
$\eta_{H,gn}$	Fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica
η_w	Efficienza media stagionale impianto produzione ACS

BIBLIOGRAFIA

- Ascione F., Masi R.F.D., Mastellone M., Ruggiero S., Vanoli G.P. Improving the building stock sustainability in european countries: A focus on the italian case. *Journal of Cleaner Production*, 365 (2022), Article 132699
- Daikin 2022. Recommended prices. September 2021
- Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio sulla prestazione energetica nell'edilizia. Segretariato generale del Consiglio 21 ottobre 2022.
- DPR 412/1993, 1991. Italian Presidential Decree, "Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della legge 9 gennaio, p. 10 (in italian).
- EN ISO 52120-1:2022; Energy Performance of Buildings—Contribution of Building Automation, Controls and Building Management—Part 1: General Framework and Procedures. Available online: <https://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/06/58/65883.html> (accessed on 6 May 2022).
- Fernández Hernández F., Peña Suárez J.M., Bandera Cantalejo J.A., González Muriano M.C. Impacto f zoning heating and air conditioning control systems in users comfort and energy efficiency in residential buildings. *Energy Conversion and Management*, Vol. 267, 115954 (2022).
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate Change 2014 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects: Working Group II Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report*. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781107415379
- Italian Superbonus. Available online at: <https://www.agenziaentrate.gov.it/portale/web/guest/superbonus-110%25>.
- Italian Committee for Standardization, 2008. Standard UNI TS 11300 Part 1: 2008, Energy Performance of Buildings: Evaluation of Energy Need for Space Heating and Cooling.
- UNI, 2014. Technical specification. Energy performance of buildings. Part 2. Evaluation of primary energy need and of system efficiencies for space heating and domestic hot water production. UNITS 11300-2.