

**EX-DORMITORIO FFSS - PORRETTA TERME
STIMA DEL FABBISOGNO ENERGETICO DI
RISCALDAMENTO
CON SIMULAZIONE EnergyPlus**

Autore : Andrew Pindar

Data: 30-11-2005

La presente analisi ha l'obiettivo di stimare il fabbisogno energetico di riscaldamento dell'ex-dormitorio FFSS di Porretta Terme dopo il suo cambiamento di destinazione d'uso e di proporre soluzioni d'involucro atte a limitare tale fabbisogno annuale al di sotto di 70 kWh/m²/anno.

L'edificio, a due piani, verrà modificato realizzando, a pianterreno, una sala da ballo utilizzata da un centro anziani, e, al piano superiore, due uffici e una sala riunioni. Inoltre verrà realizzato ex-novo un corpo per la cucina e i servizi.

Metodologia

L'analisi è stata sviluppata attraverso la simulazione del comportamento termo-energetico dell'edificio, condotta con il software EnergyPlus (versione 1.2.2.030). Si è quindi provveduto a:

- produrre un file climatico per Porretta Terme;
- costruire un modello computerizzato dello stabile;
- definire i componenti edilizi;
- definire i carichi interni (persone, sistemi di illuminazione, apparecchiature) che si avranno dopo il cambiamento di destinazione d'uso;
- definire il regime di infiltrazioni e scambi interni d'aria, con l'utilizzo del software COMIS;
- stimare il fabbisogno energetico di riscaldamento in funzione di quattro diversi livelli di ricambio d'aria e al variare dei componenti d'involucro edilizio.

File climatico

Per funzionare EnergyPlus ha bisogno di un file climatico contenente i valori delle più importanti variabili climatiche (temperatura a bulbo secco, umidità relativa, velocità e direzione del vento, insolazione, pressione atmosferica, entità delle precipitazioni, ecc) per ogni ora dell'anno. Non avendo a disposizione i necessari dati climatici per Porretta Terme abbiamo utilizzato il file climatico per un anno tipo fornito dal WMO (*World Meteorological Organization*) per la città di Bologna. Il file è stato leggermente modificato, abbassando i valori di temperatura dell'aria riportati nel file per i giorni del periodo 15 ottobre – 15 aprile, in quanto i gradi-giorno di Porretta sono leggermente superiori a quelli di Bologna. Per gli altri dati climatici sono stati mantenuti i valori riportati per Bologna.

Da un lato, data la vicinanza di Bologna e Porretta (50 km in linea d'aria) si potrebbe supporre che le differenze climatiche dei due posti siano minime. D'altra parte Porretta, trovandosi sul pendio degli Appennini ad una quota di 349 m, è possibile che ci siano differenze sul livello di precipitazioni e sulla direzione e velocità del vento.

	Porretta (Casa Comunale)	Bologna (Casa Comunale)	Differenza
Altezza s.l.m. [m]	349	54	295
Latitudine	44°9'36"36 N	44°30'27"00 N	
Longitudine	10°58'23"88 E	11°21'5"04 E	
Gradi Giorno	2.648	2.259	15%

Tabella 1 – Confronto climatico tra Porretta Terme e Bologna.

Modello computerizzato

L'edificio è stato suddiviso nelle seguenti 9 zone termiche:

Zona termica	Area [m ²]	Volume [m ³]
Z1 - pianoterra - corpo principale	161	483
Z2 - pianoterra - zona interna	22	66
Z3 - pianoterra - zona servizi	32	96
Z4 - primo piano - corpo principale	161	483
Z5 - primo piano - zona interna	22	66
Z6 - primo piano - zona servizi	32	96
Z7 - sottotetto	237	387
Z8 - cucina esterna	60	181
Z9 - zona scala	24	72

Tabella 2 - Geometria delle zone termiche in cui è stato suddiviso l'edificio.

Senza considerare lo spessore dei muri, l'area e il volume totali dell'edificio sono pari a 752 m² e 1930 m³. L'area e il volume totali delle zone riscaldate sono pari a 514 m² e 1543 m³. Le superfici disperdenti ammontano a 1192.5 m² e il rapporto S/V vale circa 0.6 m⁻¹. La superficie finestrata è pari a circa 60 m².

Di seguito si riportano alcune immagini del modello prodotto.

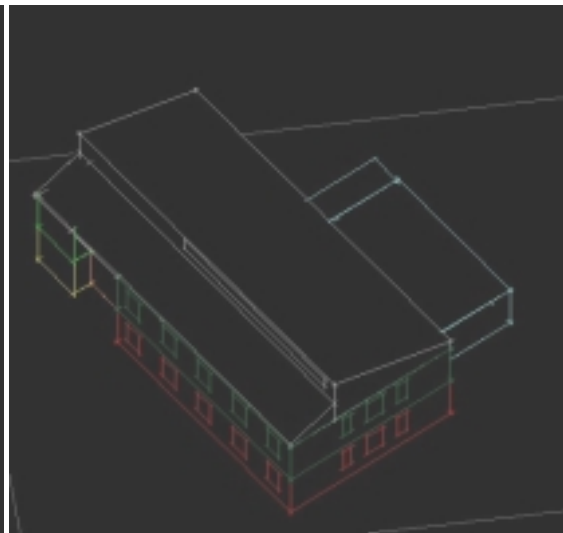
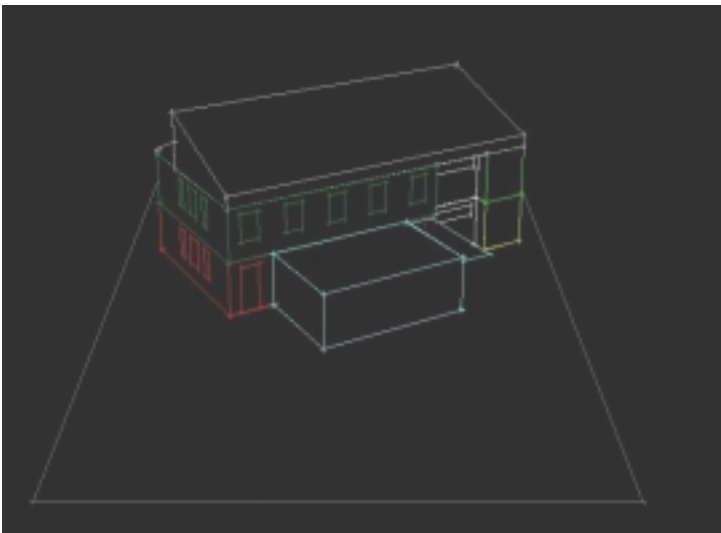
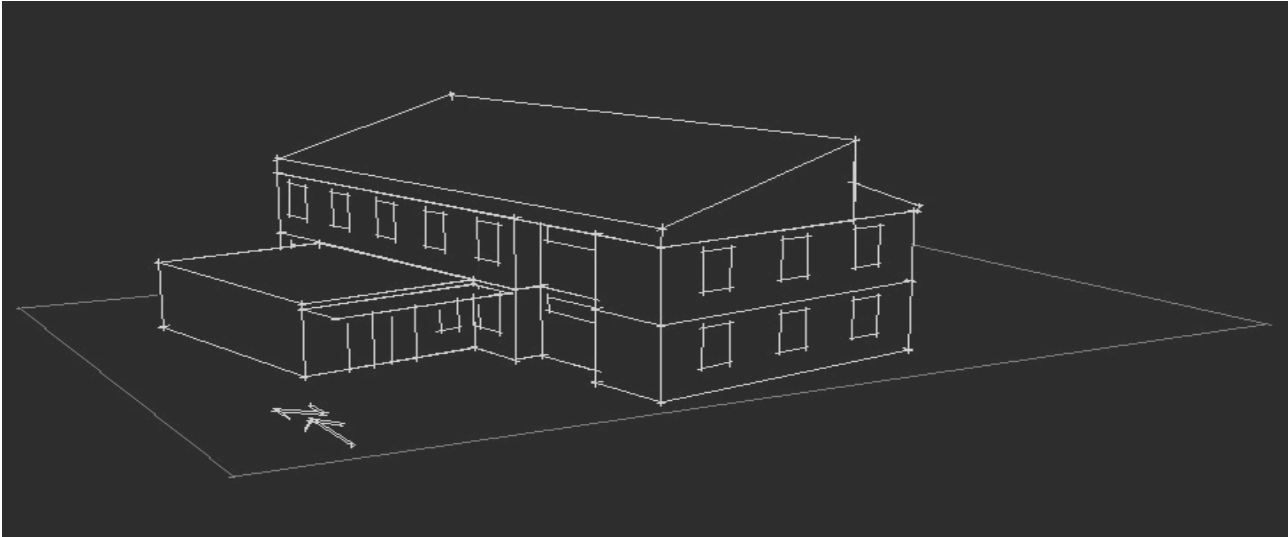


Figura 1 - Immagini del modello computerizzato di edificio.

Componenti edilizi

Gli elementi edilizi e le proprietà termo-fisiche dei materiali che li compongono vengono riportati nelle tabelle che seguono. Per il calcolo delle relative trasmittanze sono stati usati i coefficienti di convezione interno ed esterno pari a 8 e 23 W/m²K.

PARETE PERIMETRALE (dall'esterno all'interno)	Spessore [cm]	Conduttività [W/mK]	Densità [kg/m ³]	Calore Specifico [J/kgK]	Trasmittanza totale [W/m ² K]
Intonaco	1	0.9	1800	910	1.03
Mattoni forati	14	0.36	1000	840	
Mattoni forati	14	0.36	1000	840	
Intonaco	1	0.9	1800	910	

TETTO (dall'esterno all'interno)	Spessore [cm]	Conduttività [W/mK]	Densità [kg/m ³]	Calore Specifico [J/kgK]	Trasmittanza totale [W/m ² K]
Tegola	2	0.3	1000	840	2.42
Cls latero-cemento	16	0.8	250	880	
Intonaco	2	0.9	1800	910	

SOLETTA INTERNA (dall'esterno all'interno)	Spessore [cm]	Conduttività [W/mK]	Densità [kg/m ³]	Calore Specifico [J/kgK]	Trasmittanza totale [W/m ² K]
Piastrella	2	1	2300	800	2.03
Cls latero-cemento	16	0.8	250	880	
Intonaco	2	0.9	1800	910	

SOLETTA SU TERRENO (dall'esterno all'interno)	Spessore [cm]	Conduttività [W/mK]	Densità [kg/m ³]	Calore Specifico [J/kgK]	Trasmittanza totale [W/m ² K]
Ciotoli	30	0.7	1500	840	1.01
Cls latero-cemento	25	0.8	250	880	
Cls sabbia-ghiaia	13	1.2	2100	880	
Piasterlle	2	1	2300	800	

PARETE DI PARTIZIONE (dall'esterno all'interno)	Spessore [cm]	Conduttività [W/mK]	Densità [kg/m ³]	Calore Specifico [J/kgK]	Trasmittanza totale [W/m ² K]
intonaco	1	0.9	1800	910	1.65
Mattoni forati	12	0.36	1000	840	
Intonaco	1	0.9	1800	910	

Tabella 3 - Composizione e caratteristiche termo-fisiche dei componenti edilizi opachi.

Pensando di utilizzare infissi in legno con buone caratteristiche di isolamento termico, la trasmittanza di tali componenti dei sistemi finestrati è stata impostata a 1.5 W/m²K. Le finestre sono state poi dotate di classiche tapparelle esterne, regolate per rimanere abbassate durante la notte.

Carichi interni

Per condurre l'analisi sono stati definiti e fissati, per ogni zona termica, i carichi interni provenienti da persone, sistemi di illuminazione e apparecchiature.

Per quanto riguarda la presenza di persone nelle zone del pianoterra (Z1, Z2, Z3) e nella cucina (Z8) è stata considerata un'occupazione differente nei giorni di mercoledì e sabato, ipotizzando due feste serali a settimana. La presenza nelle zone di servizio (Z2 e Z3) è stata fissata al 10% dell'occupazione della zona principale (Z1).

Nelle zone del primo piano adibite a uffici e relativi servizi (Z4, Z5, Z6, Z9) è stata differenziata l'occupazione da giorni feriali e giorni festivi. La presenza nelle zone di servizio (Z5, Z6 e Z9) è stata fissata al 10% dell'occupazione della zona principale (Z4).

Si è poi ipotizzato un utilizzo della cucina solo nei giorni di feste serali.

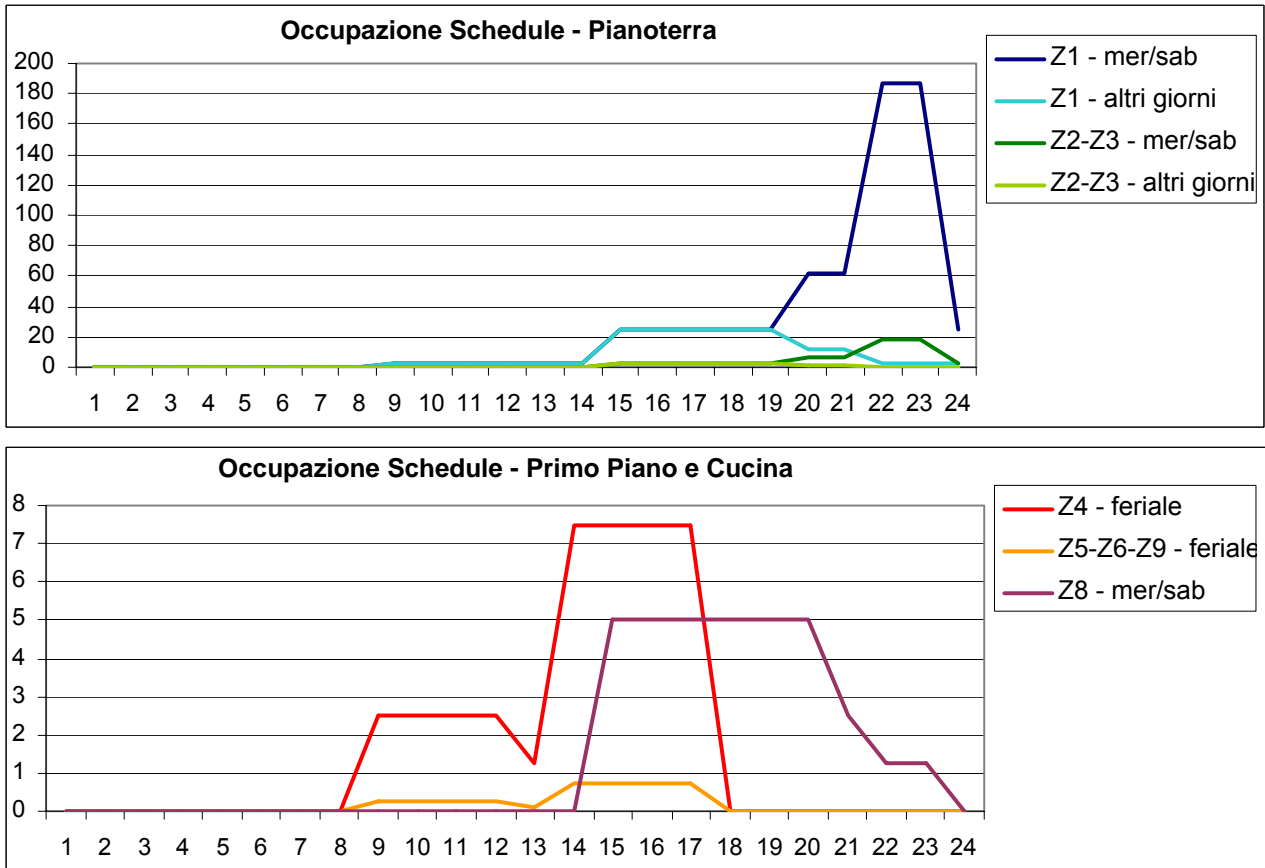
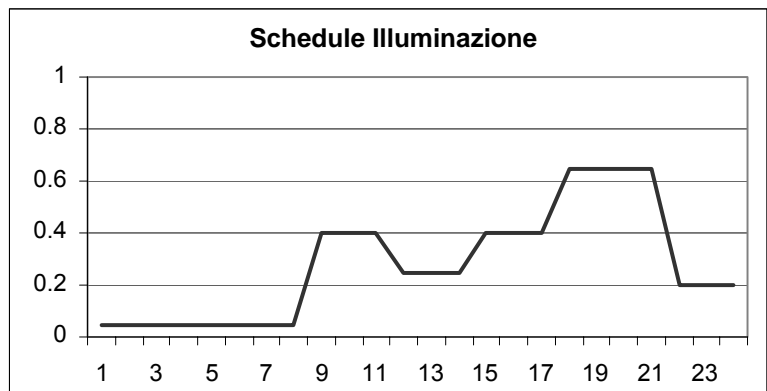


Figura 2 - Profili di occupazione delle 9 zone termiche.

Per quanto riguarda i sistemi di illuminazione sono state considerate le potenze installate e il regime di utilizzo di seguito riportati:

Zona termica	W	W/m2
Z1	1200	7.5
Z2	300	13.7
Z3	500	15.6
Z4	1200	7.5
Z5	300	13.7
Z6	500	15.6
Z7	0	0.0
Z8	500	8.3
Z9	400	16.7
TOT	4900	9.5



Per quanto concerne le altre apparecchiature è stato posta, per gli apparecchi d'ufficio (PC, monitor, stampanti, fax, fotocopiatrice) una potenza di 1500 W nella zona 4 e, per gli elettrodomestici, una potenza di 3000 W nella cucina.

Analisi

Partendo dai dati sopra citati è stata condotta una campagna di simulazioni volta a calcolare il fabbisogno di energia termica nel periodo di riscaldamento dell'edificio, per differenti caratterizzazioni dell'involucro edilizio: le variazioni hanno interessato la componente vetrata dei sistemi finestrati e l'aggiunta ai componenti edilizi di strati isolanti di diverso spessore. Sono stati ricavati 13 modelli d'edificio di cui è stato stimato il fabbisogno termico per 4 livelli di ricambio medio d'aria¹ (0.3, 0.5, 0.7 e 1 h⁻¹).

Le 13 varianti considerate vengono esplicitate nelle tabelle che seguono. L'attenzione è stata focalizzata prima sui componenti trasparenti e poi su quelli opachi. Per quanto riguarda questi ultimi è stato aggiunto uno strato d'isolante di diversi spessori ai componenti precedentemente descritti. Per la copertura dell'edificio principale sono stati considerati sia il tetto che la soletta tra sottotetto e primo piano.

Come materiale isolante sono stati utilizzati strati di polistirene espanso con conduttività di 0.04 W/mK, densità di 25 kg/m³ e calore specifico di 1340 J/kgK.

Modello	Vetri	Isolante mura perimetrali	Isolante copertura edificio	Isolante copertura cucina	Isolante fondamenta
mod1	vetro1	-	-	-	-
mod2	vetro2	-	-	-	-
mod3	vetro2	muro1	-	-	-
mod4	vetro2	muro2a	-	-	-
mod5	vetro2	-	tetto1+soletta1	soletta2	-
mod6	vetro2	-	tetto2+soletta1	soletta3	-
mod7	vetro2	muro1	tetto1+soletta1	soletta2	fondamenta1
mod8	vetro2	muro2a	tetto2+soletta1	soletta3	fondamenta2
mod9	vetro2	muro2a	tetto1+soletta1	soletta2	-
mod10	vetro2	muro2a	soletta2	soletta3	-
mod11	vetro2	muro2b	soletta2	soletta3	-
mod12	vetro2	muro2a	tetto1+soletta2	soletta3	-
mod13	vetro2	muro3	soletta2	soletta3	-

Tabella 4 - Varianti di modelli di edificio considerati.

Componenti edilizi isolati	Spessore isolante [cm]	Posizione isolante	Trasmittanza [W/m ² K]
muro1	4	esterna	0.51
muro2a	8	esterna	0.34
muro2b	8	interna	0.34

¹ Media dei ricambi stagionali effettivi calcolati da COMIS.

muro3	12	esterna	0.25
tetto1	8	esterna	0.41
tetto2	12	esterna	0.29
soletta1	4	esterna	0.71 (0.67)
soletta2	8	esterna	0.41 (0.40)
soletta3	12	esterna	0.29 (0.29)
Fondamenta1	4	intermedia	0.50
Fondamenta2	8	intermedia	0.33

Tabella 5 - Componenti edilizi opachi con strato di isolamento. Le trasmittanze riportate tra parentesi si riferiscono alle costruzioni interne all'edificio (con coefficiente convettivo di 8 W/m²K su entrambe le superfici).

Vetri	Tipologia	Trasmittanza [W/m ² K]
vetro1	Vetro singolo standard	5.8
vetro2	Vetro doppio - Aria (4-12-4)	2.8

Tabella 6 - Componenti edilizi trasparenti considerati.

Risultati

Il fabbisogno energetico di riscaldamento è stato calcolato da EnergyPlus impostando la temperatura interna degli ambienti sui 20°C, durante i loro periodi di utilizzo:

- per le zone di pianoterra (Z1, Z2 e Z3) dalle 11:00 alle 23:00 nei giorni di feste serali e dalle 11:00 alle 20:00 negli altri giorni;
- per le zone di primo piano (Z4, Z5, Z6 e Z9) dalle 10:00 alle 20:00 nei giorni feriali;
- per la cucina (Z8) dalle 14:00 alle 23:00 nei giorni di feste serali.

I modelli sono stati simulati dal 15 ottobre al 15 aprile dell'anno tipo ricavato.

In tabella 6 vengono riportati i risultati delle simulazioni in funzione dei quattro livelli di ricambi orari d'aria considerati.

Modello	Fabbisogno energia termica in kWh/m ² /anno			
	ach = 0.3 h ⁻¹	ach = 0.5 h ⁻¹	ach = 0.7 h ⁻¹	ach = 1 h ⁻¹
mod1	74.1	91.0	107.9	133.6
mod2	70.0	86.9	103.8	129.5
mod3	59.2	76.0	93.0	118.7
mod4	55.1	72.0	88.9	114.6
mod5	59.6	76.5	93.4	119.1
mod6	59.5	76.4	93.3	119.0
mod7	46.8	63.7	80.6	106.3
mod8	41.3	58.2	75.1	100.8
mod9	43.9	60.8	77.7	103.4
mod10	41.0	57.9	74.8	100.5
mod11	41.0	57.8	74.7	100.3

mod12	41.0	57.9	74.8	100.4
mod13	38.9	56.4	73.5	98.3

Tabella 7 - Stime del fabbisogno energetico di riscaldamento dei modelli d'edificio considerati.

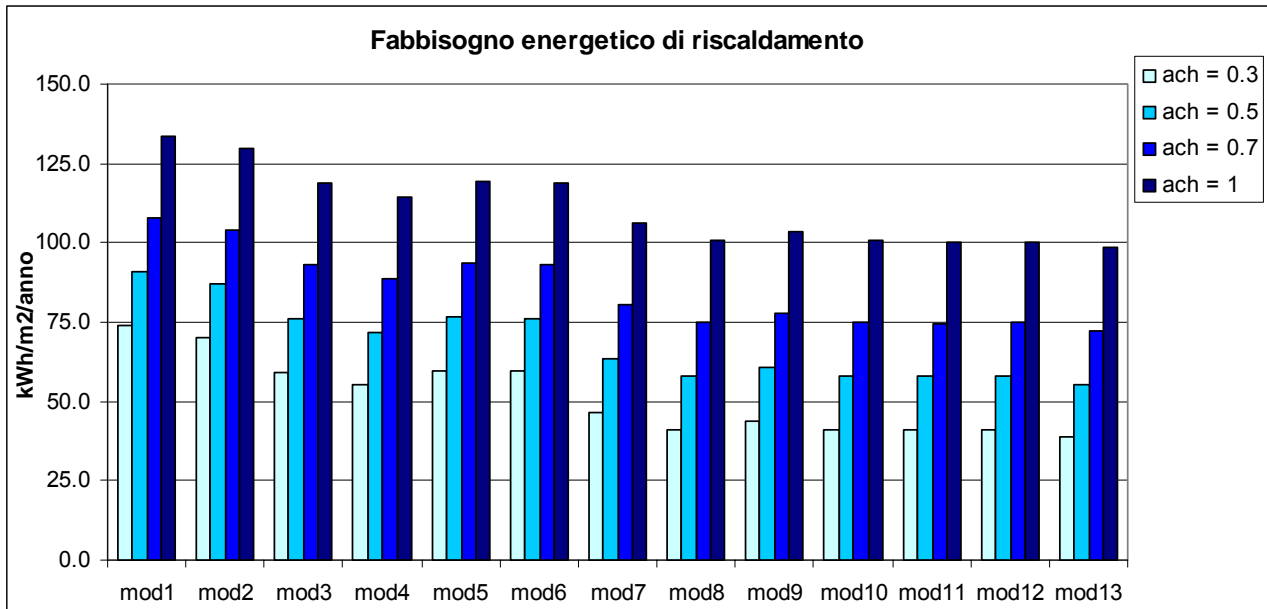


Figura 3 - Fabbisogno energetico di riscaldamento dei 13 modelli prodotti.

Il confronto delle stime condotte suggerisce le seguenti osservazioni:

- E' preferibile adottare vetrocamere doppie anziché vetri singoli (mod1-mod2).
- Per quanto concerne le mura perimetrali, un isolamento di 8 cm garantisce buoni risparmi ulteriori rispetto a un isolamento di 4 cm (mod3-mod4).
- Per la copertura dell'edificio principale, un isolamento di 12 cm non garantisce ulteriori risparmi rispetto a un isolamento di 8 cm (mod5-mod6). Per quanto riguarda invece la soletta di copertura della cucina è consigliabile, vista la sua locazione esterna all'edificio principale e il suo regime di utilizzo, l'applicazione di uno strato di isolante di 12 cm.
- L'isolamento delle fondamenta, oltre che difficoltoso, non risulta avere una significativa influenza (mod8-mod12). A tal proposito va poi sottolineato che l'isolamento delle fondamenta potrebbe avere effetti negativi durante la stagione calda.
- Posizionare l'isolamento sulla superficie interna delle mura perimetrali comporta una minima riduzione del fabbisogno (mod10-mod11). Risulta perciò preferibile applicare l'isolante con un "cappotto" esterno: tale tecnica permette di annullare in maniera più precisa i ponti termici della struttura e di utilizzare, durante l'estate (ventilazione naturale), la massa termica dell'edificio.
- Se la soletta che delimita il sottotetto dal primo piano è ben isolata, non risulta necessario un ulteriore isolamento del tetto (mod10-mod12).

- L'aggiunta di ulteriore isolante (12 cm) sulle pareti perimetrali non comporta elevati risparmi energetici (mod10-mod13).

Soluzione Consigliata

Attraverso un'operazione di ottimizzazione è stata quindi individuata la combinazione d'interventi con migliore rapporto area d'intervento/beneficio. La migliore soluzione risulta essere quella del modello 10:

- ▶ 8 cm di polistirene espanso o assimilabile sulle mura perimetrali e sulla soletta tra sottotetto e primo piano ($U_{mura}=0.34 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $U_{soletta}=0.40 \text{ W/m}^2\text{K}$);
- ▶ 12 cm di polistirene espanso o assimilabile sulla copertura della cucina ($U_{copertura\ cucina}=0.29 \text{ W/m}^2\text{K}$);
- ▶ vetrocamere doppie 4-12-4 con aria.

Moltiplicando la superficie da isolare (facciata esterna) per gli spessori scelti si calcola una quantità d'isolante pari a 63.3 m^3 (37.1 m^3 per l'isolamento delle mura perimetrali, 19 m^3 per quello della soletta del sottotetto e 7.2 m^3 per la copertura della cucina).

Il fabbisogno energetico del modello 10 varia tra 41 e $100.5 \text{ kWh/m}^2\text{/anno}$, in funzione del livello di ricambi d'aria. Nel presentare tali valori è opportuno sottolineare che, solitamente, le simulazioni computerizzate tendono a sottostimare leggermente i consumi energetici di un modello non calibrato. Tale imprecisione è dovuta ad approssimazioni di calcolo (come nel calcolo dei ponti termici e dei coefficienti di convezione) e alle approssimazioni connesse coi regimi di utilizzo di un edificio (il fattore umano che si traduce in estemporanee aperture di finestre o altro è difficilmente modellizzabile). Per questi motivi, riscontrati durante passate esperienze di simulazione, consigliamo quindi, aumentando le stime di EnergyPlus del 10-15%, di considerare, per il modello 10, fabbisogni energetici di 45, 63.5, 82 e $110 \text{ kWh/m}^2\text{/anno}$, in funzione del livello di ricambi d'aria.

Per quanto riguarda il raggiungimento dei quattro livelli di ricambi orari d'aria considerati è necessario proporre la seguente riflessione. I ricambi d'aria sono connessi con l'entità delle infiltrazioni attraverso i componenti apribili dell'involucro (finestre e porte esterne) e con la regolazione di un eventuale impianto di riscaldamento a distribuzione d'aria.

Nel caso in cui non sia presente un impianto di questo tipo, è possibile limitarsi alla considerazione delle caratteristiche di permeabilità all'aria degli infissi. Per far ciò ci si può riferire alla norma UNI EN 12207 che regola la certificazione degli infissi in commercio suddividendoli in 5 classi (da 0 a 4). Considerando la superficie finestrata dell'edificio soggetto ad analisi, è possibile concludere che, in prima istanza, l'utilizzo di infissi di classe 1 garantisce di raggiungere il limite di 1 h^{-1} , infissi di classe 2 il limite di 0.7 h^{-1} , infissi di classe 3 il limite di 0.5 h^{-1} e infissi di classe 4 il limite di 0.3 h^{-1} . Tali requisiti potrebbero anche risultare eccessivamente conservativi ma per una più precisa valutazione è necessario conoscere nel dettaglio il regime dei venti (direzione e velocità) dell'area in esame e condurre specifiche simulazioni dei flussi d'aria.

Nel caso in cui si decida di utilizzare un impianto di riscaldamento a distribuzione d'aria

che utilizza una designata portata di aria esterna, è necessario simulare in maniera approfondita l'intero sistema edificio-impianto.

Detto ciò, si ricorda che le normative di calcolo vigenti prevedono che negli ambienti il rinnovo d'aria debba essere di 0.5 h^{-1} . E quindi a tale valore invitiamo a riferirsi.

Osservazioni aggiuntive

- Come riportato l'utilizzo di una semplice doppio vetro (4-12-4) è sufficiente a garantire il livello di consumo richiesto. Comunque il comfort termico degli ambienti può essere accresciuto con l'utilizzo di vetrocamere basso-emissive che, innalzando la temperatura della faccia interna del vetro, aumentano la temperatura media radiante delle pareti. I vetri basso-emissivi ridurrebbero ulteriormente il fabbisogno energetico invernale. Un'alternativa per ridurre il discomfort in vicinanza delle finestre, non ugualmente efficiente ma a buon costo, è rappresentata dalla dotazione di tende interne.
- Per quanto riguarda la scelta del materiale isolante da utilizzare bisogna considerare la posizione in cui viene posto lo strato isolante. Di norma, per un cappotto esterno, vengono utilizzati pannelli di polistirene espanso o vetro cellulare o calcestruzzo in fibra di legno: materiali, caratterizzati da un coefficiente di dilatazione molto basso e da una elevata resistenza meccanica, che vengono generalmente rivestiti da strati protettivi (lastre o intonaco su rete portaintonaco).
- Per quanto riguarda l'impianto è consigliato l'utilizzo di una caldaia a condensazione o di una pompa di calore geotermica e di sistemi di distribuzione del calore con pannelli radianti a parete o a soffitto. Tali sistemi di riscaldamento sono caratterizzati da un'elevata efficienza e da una maggiore flessibilità di gestione rispetto ai pannelli radianti a pavimento. Oltre a ciò, sfruttando la massa termica dell'edificio, permettono di immagazzinare per maggior tempo l'energia termica prodotta.
- Ulteriori analisi che andrebbero condotte per aumentare la precisione dell'attuale studio sono: studio sulla permeabilità all'aria dell'involucro, verifica del comportamento termo-energetico estivo, definizione di una tipologia d'impianto e analisi del sistema edificio-impianto.