

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN  
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE ED IL TERRITORIO**

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE(DII)

**TESI DI LAUREA**

**SIMULAZIONE DINAMICA DI UN EDIFICIO AD ENERGIA QUASI ZERO:  
ANALISI ENERGETICA ED ECONOMICA DI POSSIBILI SOLUZIONI  
PROGETTUALI**

**RELATORE**

CH.MO PROF. ING FRANCESCO CALISE

**CANDIDATO**

ANTONGAETANO CICCHILLO

MATR. M 67/13

**CORRELATORE**

ING. ANNAMARIA BUONOMANO

ANNO ACCADEMICO 2012/2013

Nel presente elaborato progettuale sono state determinate le dispersioni termiche di un edificio ad uso residenziale in relazione all'ambiente esterno, è stato calcolato l'indice termico e quindi la classe energetica di appartenenza (Legge10) ed infine è stata effettuata una simulazione dinamica. Questo iter è stato ripetuto per altre due possibili configurazioni, oltre quella originaria, valutando modalità di isolamento alternative e meno dispendiose. A valle delle considerazioni tecniche e delle elaborazioni effettuate si è effettuata con una valutazione del tempo necessario al recupero dei capitali investiti.

L'edificio che si è sottoposto alla nostra attenzione è situato nel Comune di Villanova del Battista (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) in provincia di Avellino.

La tipologia costruttiva è quella tipica di una palazzina di 4 piani, la cui differenza di quota tra l'intradosso e l'estradosso di un piano è di 2,83m. Tutti i piani risultano essere ad uso abitativo e quindi previsti di impianto di riscaldamento e raffrescamento. La struttura è realizzata con un classico schema latero-cementizio a travi e pilastri in cemento armato. L'edificio risulta avere una superficie totale di circa 650 m<sup>2</sup> che si ottengono dai primi tre piani che hanno un'area di circa 180 m<sup>2</sup> l'uno e il piano ultimo che, invece, si sviluppa per circa 100 m<sup>2</sup> coperti.

In primo luogo si è analizzato l'involucro della struttura ed effettuato un'analisi semistazionaria. Questo passaggio è stato effettuato al fine di individuare la classe energetica di appartenenza dell'immobile e le relative dispersioni. Il primo passo per un'analisi energetica di un immobile è stato dall'individuazione delle caratteristiche di coibentazione dell'involucro dell'edificio.

Gli ambiti a cui abbiamo fatto riferimento sono stati 6:

- muri perimetrali
- copertura
- pavimentazione su terra
- terrazzo esterno
- muro interrato di sostegno
- infissi

Le pareti verticali esterne dell'immobile sono state realizzate cercando di minimizzare le perdite di calore durante l'inverno e di isolare il più possibile gli ambienti dall'apporto gratuito estivo.

Grande attenzione è stata data anche alla tipologia di infisso, alla realizzazione del pacchetto di copertura esterna, alla pavimentazione su terra ed al terrazzo esterno.

La configurazione che si è costruito è stata realizzata per il conseguimento dell'obiettivo preposto dal committente, avere un edificio che fosse a risparmio energetico, utilizzando al contempo i materiali che egli stesso indicava. Una volta modellato l'involucro esterno, al fine di avere un modello il più possibile vicino alla realtà, si è realizzato l'intero edificio anche per quanto riguarda le ripartizioni interne.

Il tutto è stato realizzato attraverso l'ausilio del Software di progettazione SuiteMC4.

I risultati relativi alle dispersioni hanno confermato la bontà del progetto indicando un valore di dispersioni pari a 22,185 kW. Il valore delle dispersioni è solo il primo dei risultati che ci siamo posti di calcolare. La valutazione analitica delle dispersioni termiche viene impostata per le condizioni di regime cioè tenendo conto delle condizioni climatiche medie del periodo più freddo dell'anno per il riscaldamento, e più caldo per il raffrescamento estivo.

Si è passati poi al calcolo della classe energetica. Il risultato di 34,21 kWh/m<sup>2</sup>anno posiziona l'immobile alla classe A. Volendo esprimere l'indice termico in quantità di combustibile utilizzato,

si noti che per riscaldare un metro quadro di superficie abitabile , nel caso in esame, è necessario 3,421 litri di gasolio all'anno ovvero 3,421 m<sup>3</sup> di gas all'anno.

Un altro risultato riportato , sempre tramite l'utilizzo del Software MC4, è quello relativo all'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale E<sub>Pi</sub> ed estiva E<sub>pe</sub> che dovevano rispettare entrambi dei valori limite.

Dopo aver inquadrato la parte strutturale, le caratteristiche ambientali ed effettuato l'analisi Stazionaria, si è passato all'individuazione delle attività previste all'interno dell'immobile. Questa fase è necessaria al fine di calibrare al meglio gli apporti di calore interni ed avere una esatta valutazione del fabbisogno energetico. Per fare ciò è stato necessario un programma ad hoc, DesignBuilder; che ha permesso di programmare i vari profili di funzionamento e calcolarne l'eventuale apporto termico.

In seguito si è realizzato nuovamente il modello 3D della struttura, utilizzando sempre DesignBuilder come strumento di calcolo. Tale scelta è stata necessaria per poter effettuare la simulazione dinamica.

Nella simulazione statica, le temperature esterne, vengono introdotte come dati "medi" mensili, mentre in quella dinamica, si utilizzano le temperature orarie nelle 24 ore della giornata; nella simulazione statica la trasmittanza di un muro viene considerata come "univoca" nel tempo, mentre nell'analisi dinamica, la trasmittanza viene analizzata in funzione delle variazioni riconducibili alla temperatura esterna nelle varie ore della giornata.

La simulazione dinamica ha generato dati in output circa la quantità di energia necessaria per riscaldare e raffrescare l'edificio oggetto di studio. Inoltre il processo di analisi, effettuato ora per ora su un intero anno, ha permesso di avere un andamento assai dettagliato sulle modalità di funzionamento dell'impianto termico.

La tabella che si è generato è dunque una tavola di valori in cui abbiamo, per ogni ora dell'anno, i valori di tutti gli apporti dovuti ai carichi interni, delle infiltrazioni esterne, della ventilazione esterna, della temperatura esterna relativa alla località in cui è presente il nostro edificio (dato presente nel database del software) e dei valori di energia per il riscaldamento o raffrescamento necessari per mantenere l'interno dell'abitazione alle temperature di setpoint da noi precedentemente definite.

Il calcolatore, in base al profilo di funzionamento da noi impostato , ha fornito i dati dell'energia necessaria a mantenere le condizioni di comfort, ora per ora, dandoci quindi la possibilità di capire l'andamento di utilizzo dell'impianto di riscaldamento e raffrescamento.

I dati di output, di questo primo caso, hanno confermato la bontà del progetto.

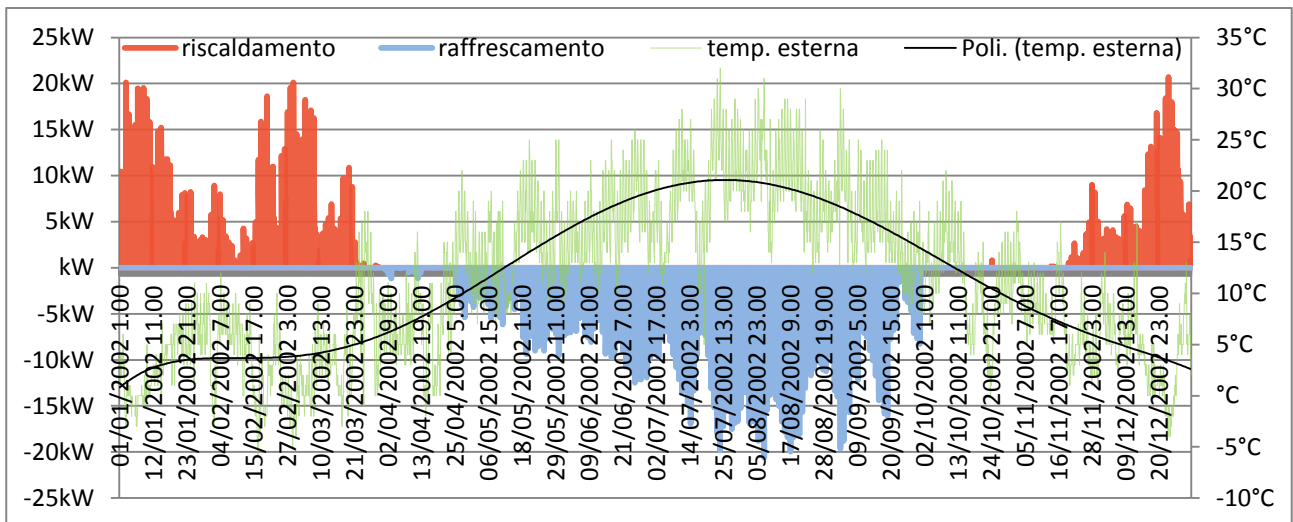
Il valore ultimo di energia primaria necessaria per il riscaldamento è stato di 7,16 kWh/m<sup>2</sup>anno.

Per quanto riguarda il raffrescamento il valore è stato di 9,84 kWh/m<sup>2</sup>anno.

In realtà questi dati sono frutto anche di un'ulteriore calcolo, dovuto alla variazione di rendimento dell'impianto termico (Pompa di calore) in funzione della temperatura esterna.

Per giungere quindi ai risultati visti poco prima, abbiamo avuto necessità di capire quale fosse il COP invernale ed estivo funzione della temperatura esterna. Per fare questo abbiamo utilizzato un supporto informatico fornito dall'AERMEC denominato Magellano. Una volta scelta la pompa di calore più vicina alle nostre esigenze abbiamo impostato la temperatura di mandata nel circuito, sia per l'inverno che per l'estate, e generato i valori di COP per le varie temperature esterne.

Nel grafico seguente l'andamento della simulazione caso in configurazione originaria.

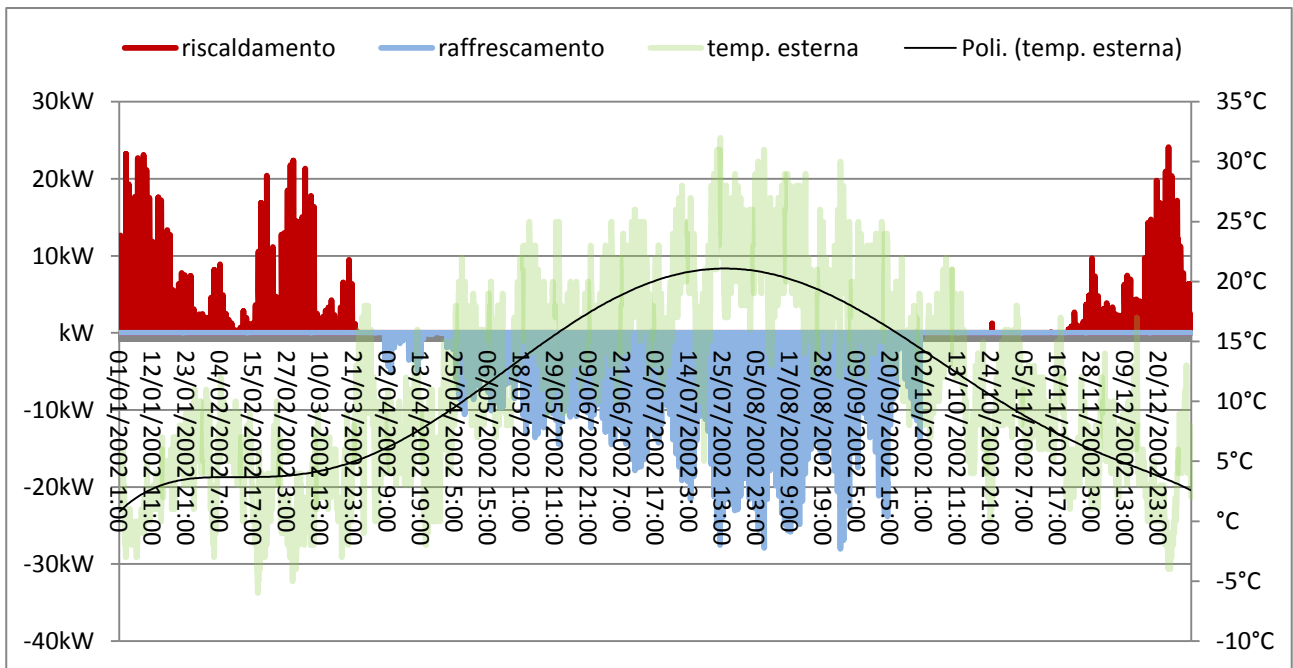


Essendo il nostro progetto di partenza realizzato con largo utilizzo di materiali coibenti ed elementi ad alte performance isolanti, proprio come richiesto dal committente, si sono elaborate due alternative prendendo in considerazione componenti dell'involucro dell'edificio con caratteristiche di isolamento meno dispendiose. Nel primo caso, denominato "Variante1", abbiamo sostituito gli infissi di progetto, con altri aventi caratteristiche di trasmittanza peggiori, con un costo, però, decisamente inferiore. Inoltre abbiamo diminuito la quantità di isolante sui muri perimetrali di 2 cm rispetto al caso studiato in precedenza. Dopo le suddette modifiche abbiamo nuovamente sottoposto il nostro modello all'analisi semistazionaria attraverso MC4 ed alla simulazione dinamica attraverso l'ausilio di DesignBuilder. I risultati relativi al fabbisogno energetico, alle dispersioni ed alla quantità di energia da impiegare per il riscaldamento e raffrescamento dell'edificio in configurazione "Variante1", hanno mostrato dei valori peggiori rispetto al caso iniziale, così come d'altronde ci aspettavamo.

Per quanto riguarda le dispersioni si è giunti ad un valore di circa 29 kW.

L'edificio è stato classificato in fascia B dato che Si è passato da un valore di circa 34 kWh/m<sup>2</sup>anno, relativo al primo caso, ad un valore di 54,5 kWh/m<sup>2</sup>anno, un aumento notevole dovuto principalmente alle minori caratteristiche prestazionali degli infissi.

I valori ultimi di energia primaria necessaria si sono assestati sui 7,21 kWh/m<sup>2</sup>anno per il riscaldamento e 15,1 kWh/m<sup>2</sup>anno per il raffrescamento con un lieve peggioramento, quindi, per il primo dato e un più cospicuo aumento del secondo. In seguito si riporta il grafico risultante dalla simulazione dinamica.

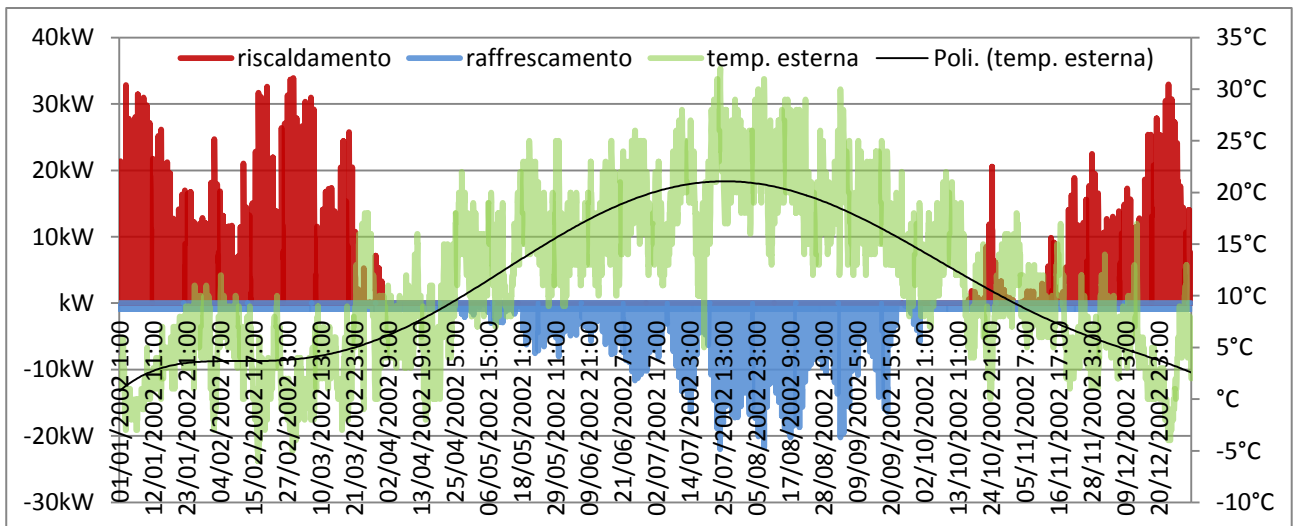


Successivamente abbiamo riproposto lo stesso lavoro di analisi per una seconda configurazione, soprannominata “Variante2”. In questo caso abbiamo utilizzato meno materiale isolante per la copertura esterna, per il pavimento a contatto con il terreno, per il terrazzo esterno, mentre abbiamo considerato l’utilizzo di chiusure trasparenti con caratteristiche ancora meno buone del caso “Variante1”. Per quanto riguarda i muri perimetrali, invece, abbiamo considerato lo stesso pacchetto utilizzato nel primo caso alternativo. L’analisi semistazionaria e la simulazione dinamica ha confermato il peggioramento prestazionale energetico dell’edificio così realizzato, generando risultati, anche di molto, più alti rispetto al caso originario.

Il primo calcolo che abbiamo lanciato è stato, come visto anche nei casi precedenti, quello relativo alle dispersioni energetiche.

Il valore totale di dispersione è pari a 31,3 kW di cui circa il 25% è generato da perdite per ventilazione, mentre per il rimanente circa 75% per trasmissione.

Si ricordi che nel caso originale il valore era tre volte più piccolo. L’indice termico individuato dalla struttura così configurata ricade nella fascia B, con un valore di 58,31 kWh/m<sup>2</sup>anno. Per definire l’andamento energetico attraverso la simulazione dinamica, anche per questa configurazione si è implementata la struttura denominata “Variante2”. In questo ultimo caso i valori di energia primaria per il riscaldamento e per il raffrescamento si sono assestati rispettivamente a 20,1 kWh/m<sup>2</sup>anno e a 7,73 kWh/m<sup>2</sup>anno. L’andamento della simulazione è proposta nella figura seguente.



Dopo aver implementato il processo di analisi per i tre casi, siamo giunti ai risultati finali. I valori ultimi, cioè l'energia primaria per riscaldamento e raffrescamento, hanno confermato la variabilità di risposta di un edificio per quanto riguarda il fabbisogno energetico. Nella tabella seguente riportiamo, in corrispondenza dei tre casi, i risultati generati dalla simulazione dinamica e i valori di trasmittanza dei componenti utilizzati nei tre modelli

TRASMITTANZA DEI COMPONENTI E FABBISOGNO ENERGETICO							
	Infissi U[W/m <sup>2</sup> K]	Muro U[W/m <sup>2</sup> K]	Copertura U[W/m <sup>2</sup> K]	Pavimento U[W/m <sup>2</sup> K]	Terrazzo U[W/m <sup>2</sup> K]	Epc kWh/m <sup>2</sup> anno	Epf kWh/m <sup>2</sup> anno
CASO EDIFICIO	0,87	0,273	0,159	0,250	0,198	7,16	9,84
CASO VARIANTE 1	1,50	0,340	0,159	0,250	0,198	7,21	15,1
CASO VARIANTE 2	2,70	0,340	0,300	0,322	0,300	20,1	7,73

Un quadro complessivo, però, ci è sembrato necessitare anche di una valutazione economica. Si è tenuto conto, in primis, della differenza di costo tra la configurazione originaria e la prima alternativa e poi nuovamente, calcolando la variazione di costo di realizzazione tra il caso oggetto di studio e la seconda configurazione soprannominata "Variante2". La tabella seguente riassume i risultati dei calcoli.



[Δ] DIFFERENZA DEI COSTI IN RELAZIONE AL CASO EDIFICIO (A)						
	Infissi [€]	Muro [€]	Copertura [€]	Pavimento [€]	Terrazzo [€]	DIFFERENZA TOTALE D'INVESTIMENTO [€]
B) CASO VARIANTE 1	Δ <sub>AB</sub> -12775	Δ <sub>AB</sub> -1326				Δ <sub>IAB</sub> =-14101
C) CASO VARIANTE 2	Δ <sub>AC</sub> -20075	Δ <sub>AC</sub> -1326	Δ <sub>AC</sub> -3010	Δ <sub>AC</sub> -3432	Δ <sub>AC</sub> -6699	Δ <sub>IAB</sub> =-34542

Inoltre si è calcolato il risparmio di energia elettrica tra una configurazione ed un'altra, come si evince dalla tabella seguente.

CALCOLO DEL RISPARMIO DELL'ENERGIA ELETTRICA					
	Energia elettrica Riscaldamento [kWh/anno]	Energia elettrica Raffrescamento [kWh/anno]	Energia elettrica Totale [kWh/anno]	Costo Energia Elettrica Totale [€/anno]*	Differenza costo En. elet. Totale [€/anno]
A) CASO EDIFICIO	2140	2943	5083	915	Δ <sub>TAB</sub>
B) CASO VARIANTE 1	2155	4510	6665	1200	-284,8
C) CASO VARIANTE 2	6009	2313	8322	1498	Δ <sub>TAC</sub> -583,1

Il risparmio di energia annuale per riscaldamento e raffrescamento tra la configurazione originaria e quella soprannominata "Variante1" è quindi pari a 284.8 €/anno, mentre quello rispetto alla seconda variante denominata "Variante2", è pari a 583,1 €/anno.

Noti i valori di differenza dei capitali da investire, Δ<sub>IAB</sub>= -14101 € Δ<sub>IAC</sub>= -34542 €, e calcolati i risparmi di energia in base annua, Δ<sub>TAB</sub>=-284,8 €/anno Δ<sub>TAC</sub>=-583 €/anno, possiamo calcolare il tempo necessario (Tr) per recuperare il capitale nei diversi casi.

$$Tr_{AB} = \Delta_{IAB} / \Delta_{TAB} = 49,5 \text{ anni}$$

$$Tr_{AC} = \Delta_{IAC} / \Delta_{TAC} = 59,2 \text{ anni}$$

Gli anni necessari al recupero del capitale iniziale, che nel nostro caso è la differenza di costo tra una configurazione e l'altra, sono risultati essere sempre oltre la vita utile degli elementi costruttivi sottoposti alla nostra attenzione. Infatti il tempo di recupero tra la configurazione originaria e quella soprannominata "Variante1" è stato di quasi 50 anni mentre, confrontando l'originale con il secondo caso alternativo, quello soprannominato "Variante 2", si è raggiunto addirittura un valore pari a quasi 60 anni.

Il lavoro, in conclusione, ha dimostrato che alla validità energetica del progetto iniziale non ha corrisposto una competitività economica di realizzazione. In entrambe le varianti, l'utilizzo di minore materiale isolante, ha permesso non solo un risparmio sul costo di costruzione ma anche dei buoni risultati da un punto di vista energetico, collocando l'edificio alla fascia B come classe energetica di appartenenza in entrambe le configurazioni alternative.