

# **Soluzioni di retrofit NZEB, costi e comfort ottimali per un hotel italiano**

*T. Buso, C. Becchio, S.P. Corgnati*

In seguito all'emanazione della Direttiva EPBD recast, la maggior parte degli Stati membri hanno stabilito i requisiti minimi per raggiungere il livello NZEB di edifici nuovi ed esistenti. La Direttiva ha anche introdotto una metodologia cost-optimal come principio guida per stabilire i requisiti energetici degli edifici, in modo tale che le opzioni di progettazione NZEB comportino il minor costo globale durante il ciclo di vita stimato degli edifici.

Negli ultimi anni i progetti NZEB per gli edifici residenziali e per gli uffici sono migliorati in termini di costi, mentre altre categorie non residenziali non sono state prese molto in considerazione.

Le strutture ricettive sono responsabili di oltre il 20% delle emissioni totali connesse al turismo e un drastico cambiamento nella gestione di queste imprese potrebbe contribuire in modo significativo alle dimensioni economica, sociale e ambientale dello sviluppo sostenibile. Poiché gli hotel rappresentano un ampio spettro di edifici non residenziali in cui sono presenti molteplici funzioni, in questo articolo viene esaminata la proposta di soluzioni di retrofit per un hotel di riferimento situato in Italia. Tali soluzioni si basano su analisi energetiche, finanziarie e di comfort.

## **Caso studio**

Le analisi sono state eseguite per un hotel di riferimento fittizio, modellato seguendo i principi della Direttiva EPBD recast. Secondo la Commissione Europea, gli edifici di riferimento (RB) sono modelli basati sul patrimonio edilizio e rappresentativi delle tipologie di edifici europei, pertanto i risultati ottenuti sono rilevanti per un'ampia serie di edifici.

L'hotel di riferimento (RH) rappresenta un hotel urbano a 3 stelle, di medie dimensioni, aperto tutto l'anno, costruito tra il 1921 e il 1945 e situato nella zona climatica centrale. È stata selezionata questa sottocategoria edilizia a causa della sua rilevanza statistica nel patrimonio alberghiero italiano. Le prestazioni energetiche dell'RH sono state simulate in EnergyPlus 8.3, selezionando Torino come posizione rappresentativa.

## **Metodologia**

La ricerca è stata sviluppata attraverso i seguenti passaggi:

1. Definizione del livello minimo NZEB dei requisiti di prestazione energetica per la RH, secondo la normativa italiana;
2. analisi cost-optimal orientate al raggiungimento dell'obiettivo NZEB per l'RH da riqualificare;
3. analisi del comfort termico per le diverse soluzioni.

### ***Definizione del livello minimo NZEB dei requisiti di prestazione energetica***

Il decreto interministeriale 26/6/2015 "Requisiti Minimi" definisce i requisiti per gli NZEB e stabilisce gli standard energetici minimi aggiornati per nuove costruzioni e per edifici esistenti soggetti a ristrutturazione. L'approccio proposto nel decreto si basa sul concetto di edificio di riferimento o target. Tale edificio ha la stessa geometria, orientamento, posizione geografica, destinazione d'uso e tipo di sistema rispetto all'edificio oggetto di valutazione, ma possiede caratteristiche termiche ed energetiche predefinite. I valori limite per l'edificio in valutazione si riferiscono alle proprietà

termiche dell'involucro ( $H'_{T, A_{sol, est}/A_{net \text{ area}}}$ ), al fabbisogno energetico di riscaldamento e raffreddamento ( $EP_{H,nd}$  e  $EP_{,nd}$ ) e all'uso totale di energia primaria ( $EP_{gl, tot}$ ), che negli edifici non residenziali includono usi energetici per riscaldamento, raffreddamento, acqua calda sanitaria (ACS), ventilazione, illuminazione artificiale e ascensori. Sulla base delle disposizioni del decreto, è possibile scegliere tra 2 livelli di fabbisogno energetico minimo, obbligatorio per gli edifici privati dal 2015 e dal 2021, e i requisiti NZEB. L'edificio in valutazione può soddisfare questi requisiti attraverso qualsiasi combinazione adeguata di misure di efficienza energetica.

### ***Analisi cost-optimal***

Le fasi dell'analisi ottimale prevedono:

- Definizione di diverse misure di efficienza energetica (EEM).  
Le EEM sono state implementate nel modello in step successivi per verificare il soddisfacimento dei requisiti. In primo luogo sono state individuate delle EEM relative all'involucro, le quali sono state combinate tra loro in pacchetti (PE), verificando la conformità ai requisiti NZEB. Successivamente, alle strategie conformi sono state aggiunte misure di illuminazione artificiale (PEL). Tali pacchetti sono stati analizzati quindi in termini di fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffreddamento e quelli che soddisfano i relativi requisiti sono stati i modelli di base per l'attuazione di sistemi, impianti e misure di energia rinnovabile. Altri pacchetti di EEM sono stati creati aggiungendo luci, sistemi, impianti e misure RES ai PE in linea con i requisiti NZEB.

- Analisi energetica.  
L'analisi energetica è stata eseguita con l'obiettivo sia di soddisfare i requisiti minimi NZEB sia di trovare il livello ottimale di costo delle prestazioni energetiche per l'RH. In vista del primo obiettivo, le proprietà termiche dell'involucro, il fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti, l'energia prodotta da fonti energetiche rinnovabili e l'energia erogata sono state ottenute attraverso le simulazioni di EnergyPlus.

- Analisi finanziaria dei modelli ottenuti.  
Il costo globale è stato calcolato come indicato nell'equazione:

$$C_G(\tau) = C_I + \sum_j \left[ \sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j) \cdot R_d(i)) - V_{f,\tau}(j) \right]$$

dove  $C_G(\tau)$  rappresenta il costo globale riferito all'anno di avviamento  $\tau_0$ ,  $C_I$  è il costo di investimento iniziale,  $C_{a,i}(j)$  è il costo annuale per componente  $j$  all'anno (inclusi costi di gestione e costi periodici o di sostituzione),  $R_d(i)$  è il tasso di sconto per l'anno  $i$ ,  $V_{f,\tau}(j)$  è il valore finale del componente  $j$  alla fine del periodo di calcolo (riferito all'anno  $\tau_0$ ). Il periodo di calcolo  $\tau$  è stato impostato su 20 anni; è stato utilizzato il tasso di sconto del 4%; i costi di investimento sono stati prelevati dal listino prezzi del Piemonte 2015 e sono stati aumentati dall'IVA italiana (22%) e dalle tasse professionali. I costi energetici sono stati calcolati applicando le seguenti tariffe energetiche (tasse incluse), ricavate dalle bollette di alberghi reali: gas naturale 0,077 €/kWh; elettricità 0,231 €/kWh; teleriscaldamento 0,092 €/kWh (riscaldamento ambiente), 1679 € + 0,071 €/kW (acqua calda sanitaria).

- Costruzione del grafico cost-optimal.  
Il risultato finale dell'analisi cost-optimal è stato un grafico a punti sparsi, in cui sono stati riportati i costi globali rispetto ai corrispondenti indici di energia primaria, al fine di

identificare le soluzioni di retrofit ottimali in termini di costi e individuare il gap energetico e finanziario tra queste soluzioni e quelle NZEB.

### **Analisi del comfort termico**

L'hotel di riferimento è stato riscaldato meccanicamente e, per garantire elevate condizioni di comfort, i valori di setpoint della temperatura operativa per il riscaldamento e il raffreddamento degli ambienti sono stati rispettivamente di 21° C durante le ore di servizio dal 15 ottobre al 15 aprile e di 25,5° C durante le ore di servizio dal 15 aprile al 15 ottobre.

Tramite questa analisi è stato verificato che gli scenari di retrofit dell'edificio previsti fossero in grado di garantire agli occupanti le condizioni di comfort termico di categoria I secondo la norma EN 15251. La norma EN 15251 raccomanda gli indici PMV-PPD come gli indicatori più adatti del livello di comfort termico di un edificio meccanicamente condizionato. Il valore del PMV corrispondente alla categoria I deve essere compreso nell'intervallo (-0,2 ÷ +0,2).

I valori del PMV orari per una camera standard sono stati recuperati dagli output di simulazioni dinamiche e confrontati con i limiti della categoria di comfort PMV. Inoltre, questi indicatori di comfort termico sono stati plottati rispetto agli indici di energia primaria al fine di mettere in relazione le prestazioni di comfort ed energia delle opzioni di retrofit studiate e individuare le soluzioni ottimali per il comfort.

### **Risultati**

#### **Definizione dei requisiti di prestazione energetica minima e NZEB**

In conformità con il d.i. "Requisiti Minimi", la Tabella 1 riassume i requisiti minimi per 2015, 2021 e NZEB, nonché le prestazioni originali dell'RH.

Ai fini dello studio sono stati considerati solo i requisiti NZEB per il confronto con le prestazioni energetiche delle opzioni di retrofit proposte. In particolare, il coefficiente di trasmissione del calore di trasmissione  $H'_T$  deve essere abbassato di quasi 2 volte, è necessaria una riduzione del 32% per l'indice di energia primaria  $EP_{gl, tot}$  e una riduzione del 65% per soddisfare i requisiti di fabbisogno energetico di riscaldamento  $EP_{H,nd}$ . Viceversa, il fabbisogno di energia di raffreddamento è leggermente aumentato a causa delle migliori proprietà dell'involucro termico dell'RH.

Requirement	Limit values			RH
	2015	2021	NZEB	
$H'_T$		$\leq 0,75$		2,22
$A_{sol, ext}/A_{net area}$		$\leq 0,04$		0,03
$EP_{H,nd}$	27,6	24,1		69,3
$EP_{C,nd}$	25,72	27,5		20,9
$EP_{gl, tot}$	182,9	180,2		265,3
$\eta_H$		0,81 (u); 0,95 (g)		0,84 (u); 0,97 (g)
$\eta_W$		0,70 (u); 0,85 (g)		0,70 (u); 0,97 (g)
$\eta_C$		0,81 (u); 2,50 (g)		0,70 (u); 2,61 (g)
$RES_{DHW}$		50%		0%
$RES_{DHW-H-C}$		50% *		0%

**Tabella 1- Requisiti minimi, NZEB e prestazioni dell'RH**

## Analisi cost-optimal

Le figure 1, 2 e 3 mostrano la procedura combinata di analisi energetica e di selezione dei pacchetti che soddisfano i requisiti; in ogni figura la linea tratteggiata orizzontale evidenzia il limite NZEB per il requisito analizzato e i rettangoli gialli identificano le soluzioni di retrofit ad esso conformi.

La Figura 1 riporta i valori  $H_T$  dei modelli che implementano le EEM relative all'involucro e mostra che solo i pacchetti che prevedono una riqualificazione dell'involucro generale (superfici opache + trasparenti) possono soddisfare i requisiti minimi/NZEB.

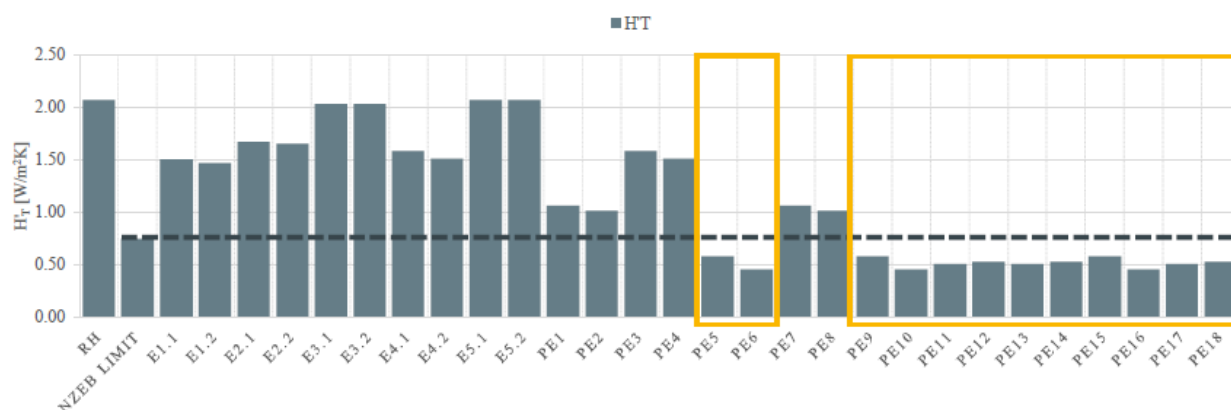


Figura 1 - Coefficiente di trasmissione del calore  $H'r$

La Figura 2 rivela che solo la combinazione con un alto livello di isolamento, ombreggiature fisse e sostituzione parziale del sistema di illuminazione, è in grado di soddisfare simultaneamente i requisiti  $EP_{H,nd}$  e  $EP_{C,nd}$ .

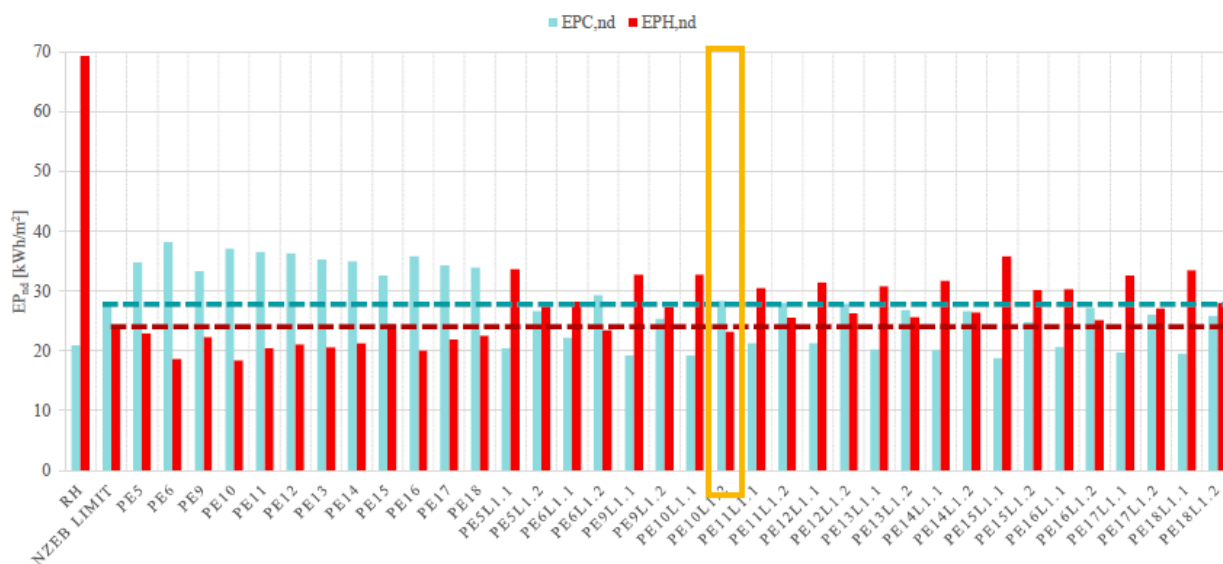


Figura 2 - Fabbisogno energetico di riscaldamento e raffreddamento

Nella figura 3 sono mostrate le quote di  $EP_{gl,tot}$  e RES, compresi i sistemi di impianto. Si può notare che nessuna delle opzioni di retrofit è conforme ai valori limite di energia primaria e rinnovabili. Anche se 10 pacchetti sono in grado di soddisfare i requisiti  $EP_{gl,tot}$  e  $RES_{DHW}$ ,  $RES_{DHW+H+C}$  è sempre inferiore alla quota minima obbligatoria.

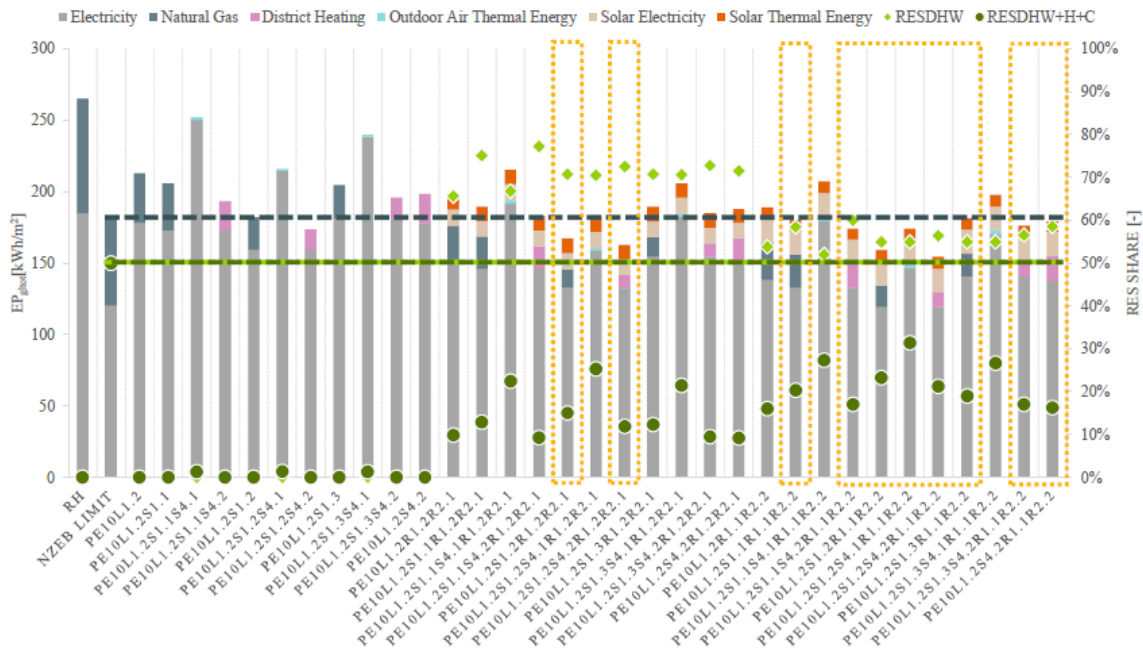


Figura 3 - Indice di prestazione energetica globale  $EP_{gl,tot}$  e quota RES

In Figura 4 sono riassunti in un grafico a dispersione i dati di costo primario e globale per tutti i pacchetti di EEM simulati, da cui deriva la curva costo-ottimale (linea tratteggiata rossa). Mediante questa figura è possibile quantificare il divario delle prestazioni energetico e finanziarie tra le opzioni ottimali di retrofit NZEB.

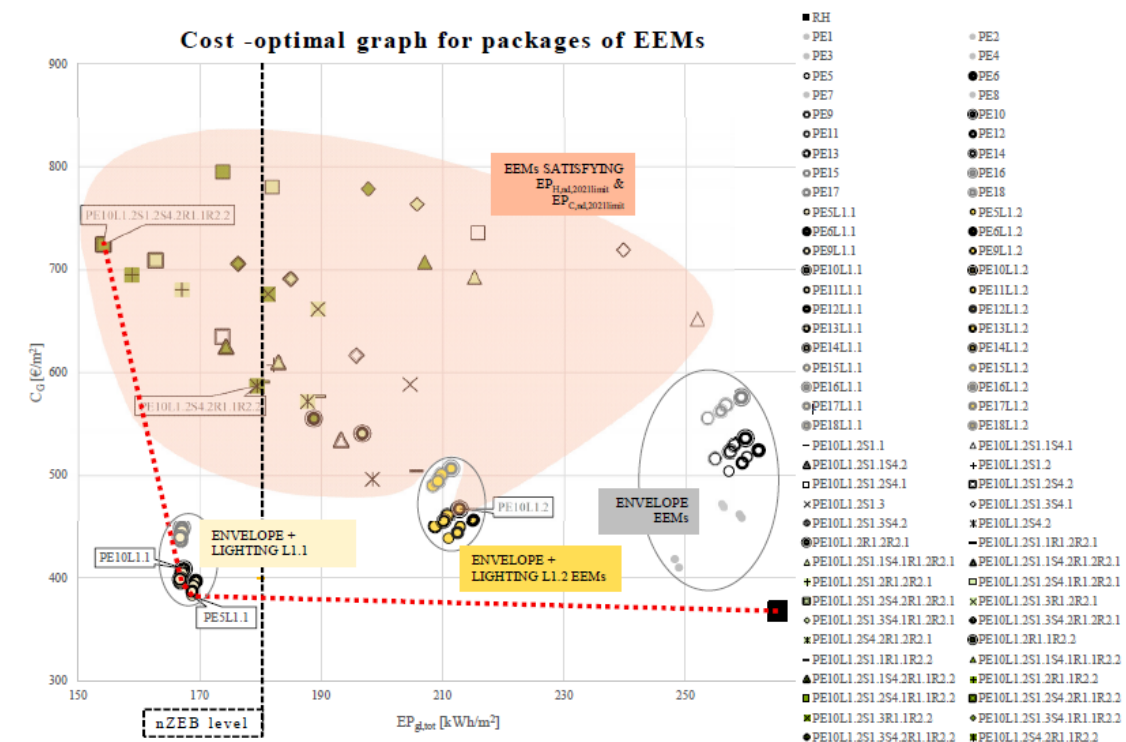


Figura 4 - Grafico cost-optimal

Dal grafico può sembrare che l'opzione cost-optimal sia rappresentata dal RH senza retrofit, poiché ha il costo globale più basso, ma ad esso è associato un indice  $EP_{gl,tot}$  non accettabile, essendo molto superiore al limite NZEB. In generale un intervento sull'involucro e sul sistema di illuminazione artificiale può ridurre significativamente l'utilizzo di energia primaria dell'hotel con un irrilevante

aumento dei costi globali. Le combinazioni che prevedono la sostituzione generale delle luci artificiali non possono essere prese in considerazione in quanto hanno un fabbisogno energetico di riscaldamento troppo elevato rispetto al limite NZEB. Viceversa, il punto più alto della curva ottimale dal punto di vista dei costi soddisfa i requisiti di prestazione energetica NZEB con una riduzione di  $EP_{gl,tot}$  del 42%, ma il costo globale è quasi raddoppiato rispetto all’RH.

Il livello ottimale di costo delle prestazioni energetiche può essere identificato dallo scenario PE5L1.1 a cui corrisponde un  $EP_{gl,tot}$  di 169 kWh/m<sup>2</sup> ed è inferiore a  $EP_{gl,tot}$  NZEB. Tuttavia, come si vede nella figura 2, questo scenario non soddisfa i requisiti di fabbisogno energetico.

### Analisi del comfort termico

In figura 5 è rappresentata la distribuzione statistica annua dei valori di PMV di una tipica camera orientata a sud durante le ore occupate, per ciascun modello di simulazione. Per ogni casella sono indicati i valori PMV minimi e massimi entro i quali è incluso il 50% dei dati orari. Le linee orizzontali tratteggiate rappresentano i limiti della categoria Comfort.

I risultati mostrano che:

- un retrofit dell'involucro termico complessivo riduce la variabilità del PMV rispetto all’RH e sposta la distribuzione del PMV a valori più alti, cioè verso sensazioni termiche più calde;
- ridurre i guadagni interni dell'illuminazione artificiale in modelli termicamente efficienti aumentano la variabilità dei valori del PMV, con valori al di fuori del range di accettabilità;
- le misure relative al sistema sono le uniche in grado di mantenere i valori del PMV della categoria I per il 50% del tempo e mantenere accettabili i valori di PMV per l'intero anno; tra questi pacchetti, il soffitto radiante mostra le migliori prestazioni di comfort.

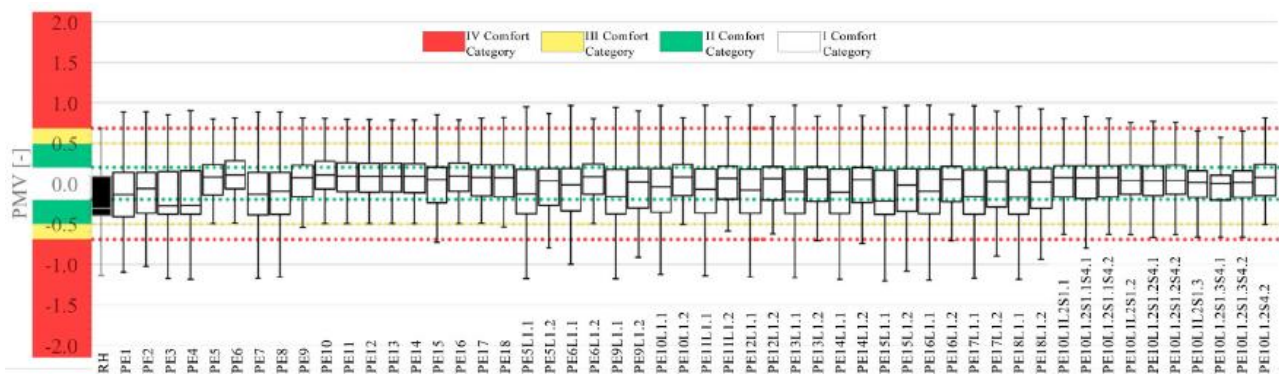


Figura 5 - Distribuzione dei valori del PMV

Nel grafico in figura 6 sono state messe in relazione le prestazioni energetiche con quelle di comfort termico. Sono riportate le prestazioni  $EP_{gl,tot}$  di ogni pacchetto in funzione della percentuale di tempo in cui i valori di PMV si trovano all'interno dei limiti della categoria I.



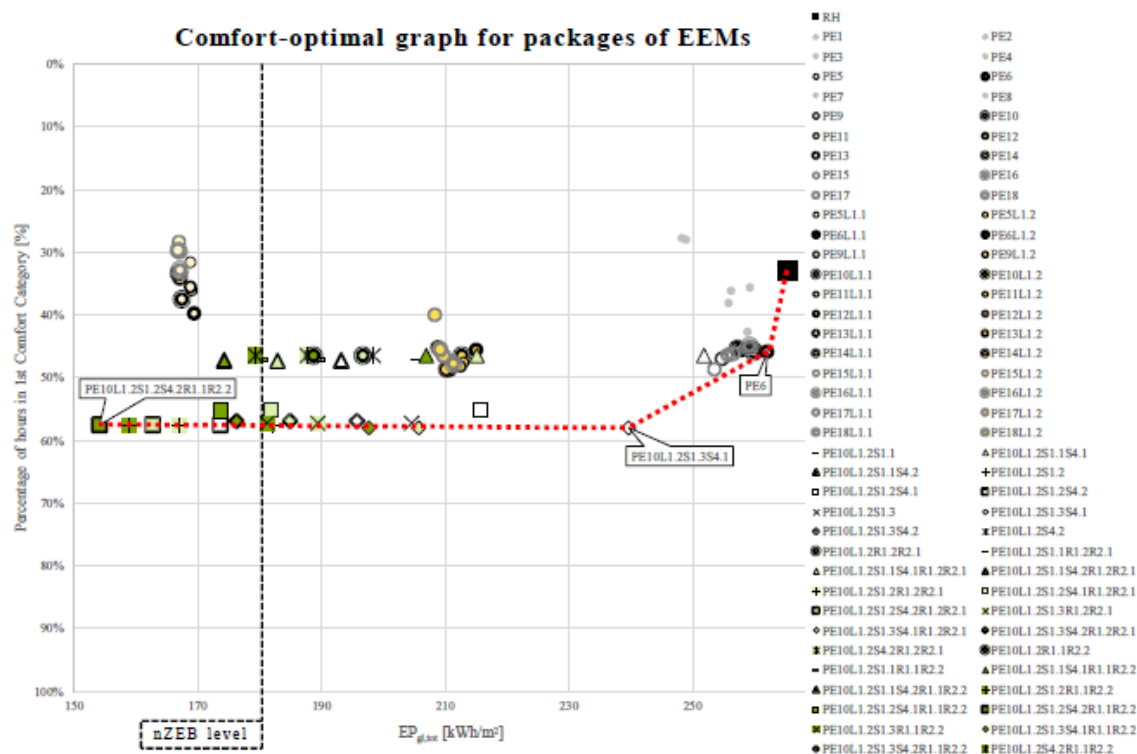


Figura 6 – Grafico comfort-optimal

La curva di comfort ottimale (linea tratteggiata in rosso) identifica le opzioni di retrofit che garantiscono condizioni di comfort ottimali, come le soluzioni che implementano pavimenti/soffitti radianti. Il confronto tra le Figure 4 e 6 evidenzia che pacchetti di EEM che rispondono ai bisogni energetici e ai requisiti NZEB di energia primaria hanno prestazioni economiche e di comfort contrastanti. Pacchetti con costi globali inferiori, ad esempio con prestazioni economiche migliori, hanno percentuali inferiori di valori di PMV nella categoria di comfort I (cioè prestazione peggiore di comfort termico) e viceversa. Questa analisi combinata suggerisce che per un edificio alberghiero, dove la comodità degli ospiti è una priorità, la convenienza finanziaria non dovrebbe essere considerata come unico parametro guida per valutare le opzioni di retrofit.

## Conclusioni

Questa ricerca si è impegnata a studiare il gap di prestazioni che sussiste tra le opzioni di retrofit NZEB ottimali in termini di costi per un hotel di riferimento e la qualità termica interna a seconda delle soluzioni progettuali considerate. Da un lato, l'obiettivo era informare i responsabili delle politiche sull'esistenza di barriere tecnologiche e/o di mercato verso l'adozione di progetti di efficienza energetica per edifici multifunzionali, come lo sono gli hotel. D'altro canto, lo studio voleva evidenziare che le performance finanziarie da sole non bastano a guidare gli investitori verso l'intervento di retrofit di maggior successo. Per scelte di investimento migliori, nella valutazione devono essere inclusi fattori non tangibili, come il comfort degli utenti.

Il confronto tra i valori limite NZEB e le prestazioni energetiche delle opzioni di retrofit ha fornito prospettive incoraggianti per gli edifici non residenziali esistenti. Invece la corrispondenza tra energia e prestazioni finanziarie ha fornito risultati deludenti. Mantenere la configurazione originale di RH si è rivelata l'opzione più conveniente. Va notato che alcune opzioni di retrofit hanno mostrato una consistente riduzione del consumo di energia insieme ad un aumento minimo del costo globale rispetto all'RH. In questo gruppo di modelli, un intervento sul sistema di illuminazione generale è stato determinante nel ridurre il consumo di energia. Ciononostante, qualsiasi soluzione prevista in

linea con i limiti NZEB aveva un costo globale almeno del 50% superiore alle soluzioni ottimizzate in termini di costi. Per quanto riguarda l'analisi del comfort, lo studio ha evidenziato che solo le soluzioni di progettazione, comprese le misure relative ai sistemi, erano in grado di mantenere costantemente condizioni accettabili. In linea generale, le opzioni di retrofit con prestazioni economiche migliori hanno mostrato valori di comfort peggiori.

Dai risultati ottenuti si può dedurre che esiste ancora una discrepanza significativa tra soluzioni di retrofit a costo zero e NZEB per edifici non residenziali italiani. In questi edifici, dove gli usi dell'elettricità (illuminazione e elettrodomestici) sono i principali responsabili delle prestazioni energetiche complessive, l'adempimento ai requisiti NZEB non consente di sfruttare appieno il potenziale di risparmio energetico. D'altra parte, tuttavia, l'inclusione dell'analisi del comfort potrebbe supportare l'implementazione di misure di retrofit orientate alla climatizzazione, come il riposizionamento di sistemi, poiché sono in grado di migliorare le condizioni di comfort interno.