

Ricerca di Sistema elettrico



Misure ed analisi del thermal comfort e IAQ in edifici del terziario ed implicazioni di carattere energetico parte II (LA1.14)

Domenico Iatauro, Carmen Lavinia, Iole Nardi, Raniero Sannino

MISURE ED ANALISI DEL THERMAL COMFORT E IAQ IN EDIFICI DEL TERZIARIO ED IMPLICAZIONI DI CARATTERE ENERGETICO - PARTE II (LA1.14)

Domenico Iatauro, Carmen Lavinia, Iole Nardi, Raniero Sannino.

Con il contributo di: S. Di Turi, D. Palladino, P. Signoretti.

ENEA, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

Dicembre 2024

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - ENEA Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: Decarbonizzazione

Progetto: Progetto 1.5 - Edifici ad alta efficienza per la transizione energetica - WP.1 Strumenti e tecnologie per la riqualificazione del parco edilizio nazionale

Linea di attività: LA 1.14 Misure ed analisi del thermal comfort e IAQ in edifici del terziario ed implicazioni di carattere energetico - Parte II

Responsabile del Progetto: ing. Giovanni Puglisi, ENEA

Responsabile del Work Package: ing. Domenico Iatauro, ENEA

Responsabile Linea di Attività: ENEA

Mese inizio previsto: Luglio 2023

Mese inizio effettivo: Luglio 2023

Mese fine previsto: Dicembre 2024

Mese fine effettivo: Dicembre 2024

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione: Si ringrazia per la collaborazione alle attività svolte

Indice

1	Risultati attesi	4
2	Risultati ottenuti	5
3	Prodotti attesi	8
4	Prodotti sviluppati	9
5	Analisi degli scostamenti su attività e risultati.....	10
6	Sintesi delle attività svolte	11
7	Dettaglio delle attività svolte.....	12
7.1	L'Efficienza energetica, il benessere termoigrometrico e la qualità dell'aria degli edifici nella nuova Direttiva EPBD	12
7.1.1	Obiettivi dello studio	12
7.2	Conclusione monitoraggio sperimentale: misure e analisi delle grandezze termoigrometriche nel periodo estivo.....	12
7.3	Caratteristiche termofisiche dell'edificio	12
7.4	Metodologia	13
7.4.1	Modello climatico.....	13
7.4.2	Assunzioni di calcolo, profili di utenza e zonizzazione dell'edificio.....	14
7.5	Risultati	15
7.5.1	Confronto delle principali grandezze termoigrometriche ottenute dalle simulazioni con le misure	15
7.5.2	Implicazioni dal punto vista della performance energetica dell'edificio e applicazioni nelle diagnosi energetiche	16
7.5.2.1	Scenario 1: installazione schermature solari	18
7.5.2.2	Scenario 2: sostituzione impianto con PdC di tipo VRF	20
7.5.2.3	Scenario 3: installazione schermature solari e sostituzione impianto con un VRF	21
7.5.2.4	Discussione	21
7.6	Conclusioni	21
8	Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte.....	23
9	Pubblicazioni scientifiche.....	24
10	Eventi di disseminazione	25

Indice delle figure

Figura 1 – Esempio di profilo di occupazione	14
Figura 2 – Profili di temperatura al variare dei coefficienti di ricambio dell'aria (Niu, Nue e Qve)	15
Figura 3 – Confronto delle temperature misurata e simulata per un ufficio esposto a sud	16
Figura 4 – Confronto delle temperature misurata e simulata per un ufficio esposto a nord	16
Figura 5 – Fabbisogno netto mensile potenziale di riscaldamento, normalizzato sulla superficie, distinto per piano e per esposizione	17
Figura 6 – Fabbisogno netto mensile potenziale di raffrescamento, normalizzato sulla superficie, distinto per piano e per esposizione	17
Figura 7 – Fabbisogno netto per le due stagioni distinto per piano ed esposizione	18
Figura 8 – Fabbisogno netto totale per le due stagioni per l'edificio	19
Figura 9 – Distribuzione delle ore nelle classi di comfort distinta per piano ed esposizione ...	20
Figura 10 – Fabbisogno di energia primaria non rinnovabile per gli scenari proposti	21

Indice delle tabelle

Tabella 1 - Caratteristiche termofisiche dei componenti opachi	13
Tabella 2 - Caratteristiche termofisiche dei componenti trasparenti	13
Tabella 3 – Fabbisogno termico potenziale esteso all'intero anno	17
Tabella 4 - Dati nominali impianti VRF	20

1 Risultati attesi

- Analisi delle misure derivanti dal monitoraggio nel periodo estivo: le principali grandezze misurate verranno analizzate a differente scala spaziale e temporale;
- analisi del comfort termico e IAQ (periodo estivo), a livello di singolo ambiente e di zona termica mediante l'utilizzo di opportuni indicatori;
- modellazione energetica dell'edificio in esame e simulazione mediante applicazione del metodo orario della UNI 52016;
- analisi comparativa tra misure sperimentali e simulazioni numeriche;
- simulazioni di possibili interventi correttivi delle criticità termoigrometriche e/o ambientali individuate e valutazioni delle implicazioni di carattere energetico.

2 Risultati ottenuti

I principali risultati dell'attività svolta comprendono:

1. analisi delle misure derivanti dal monitoraggio nel periodo estivo e del thermal comfort e IAQ mediante utilizzo di opportuni indicatori;
2. modellazione energetica dell'edificio in esame e simulazione mediante applicazione del metodo orario della UNI EN ISO 52016-1:2018;
3. analisi comparativa tra misure sperimentali e simulazioni numeriche;
4. simulazioni di possibili interventi correttivi delle criticità termoigrometriche e/o ambientali individuate e valutazioni delle implicazioni di carattere energetico.

1) Nella Linea 1.14 è stato, innanzitutto, completato il monitoraggio indoor dell'edificio, analizzando, in analogia a quanto fatto in precedenza, uffici con differente esposizione nel periodo estivo.

Per tutti gli ambienti monitorati, non sono emerse criticità, in termini di andamenti medi giornalieri dei principali parametri termoigrometrici ed ambientali ed indici di comfort, nei periodi di occupazione degli uffici. Infatti, i dati medi rilevati, per tutti gli ambienti indagati, segnano la condizione di conformità alle prescrizioni della norma EN 16798, con l'indice di comfort PMV compreso nel range $[-0,09 \div 0,5]$ e il PPD $\leq 10\%$. Tali risultati evidenziano che, in estate, l'accensione dell'impianto di raffrescamento garantisce la compensazione dei carichi.

In riferimento al periodo intermedio, le valutazioni sono state condotte attraverso i metodi adattivi della norma UNI EN 16798. Dal confronto fra due uffici collocati di fronte (esposizioni opposte: nord e sud), si evince l'asimmetria termica dell'edificio. La differenza di temperatura pari a circa $3\text{ }^{\circ}\text{C}$, a parità di condizioni esterne, comporta una variazione significativa della classificazione del comfort termoigrometrico negli ambienti chiusi secondo le normative tecniche: infatti, mentre l'ufficio a nord manifesta una condizione di lieve discomfort per gli occupanti, quello a sud, per effetto della temperatura operativa risultante dalle misure eseguite, si colloca nella categoria I, per la quale il comfort indoor viene definito "alto".

2) La fase successiva del lavoro è stata rivolta alle simulazioni termoenergetiche dell'edificio mediante applicazione del metodo orario della norma UNI 52016. Differenti frame di calcolo e modelli dell'edificio sono stati definiti in funzione degli obiettivi di studio previsti.

Per l'analisi comparativa tra misure e simulazioni è stato definito un modello ad elevato dettaglio dell'edificio, con zone termiche distinte per singolo ufficio e con dati climatici orari specifici, relativi all'anno 2022-2023, elaborati a partire dalle misure ottenute dalle centraline installate nel C.R. ENEA Casaccia.

È stata quindi effettuata un'analisi comparativa tra i valori delle principali grandezze termoigrometriche ottenuti con le misure sperimentali e mediante simulazioni.

3) Per tutti i confronti effettuati su ambienti con differente esposizione e profilo di utilizzo, sono stati analizzati gli andamenti orari e sono stati calcolati gli indici di accostamento MBE, MBE%, RMSE, RMSE%. I risultati, confrontati sui singoli locali monitorati, hanno mostrato una sufficiente convergenza delle simulazioni in termini di andamento e valori medi nei periodi monitorati, seppur con scostamenti più rilevanti sui valori puntuali, soprattutto nelle ore di maggior irraggiamento, per gli uffici con esposizione sud. Nel paragrafo 7 sono riportati due esempi significativi dei locali analizzati.

4) Successivamente, per le valutazioni di carattere energetico, sono stati impostati modelli di simulazione dell'edificio, con zone termiche differenziate per piano ed esposizione, nonché dati climatici orari (CTI) e profili di utilizzo standard.

Il fabbisogno energetico netto complessivo dell'edificio in esame è pari a circa 48 kWh/m² anno con una prevalenza della domanda nel periodo estivo, rispetto a quello invernale.

Le esposizioni a sud hanno mostrato un fabbisogno netto minore nel periodo invernale dell'84%, a fronte di una maggior richiesta energetica nel periodo estivo del 49%, per effetto soprattutto dell'incidenza degli apporti solari, non adeguatamente schermati.

L'ultima fase del lavoro è stata dedicata alla valutazione di tre interventi base di riqualificazione relativi all'involucro e agli impianti dell'edificio:

- l'applicazione di elementi schermanti relativi alle superfici vetrate esposte a sud, sud-est e sud-ovest;
- la sostituzione degli impianti termici attuali con pompe di calore ad espansione diretta di tipo VRF;
- l'applicazione combinata dei due interventi.

Partendo dai risultati ottenuti con metodo orario, è stato possibile evidenziare il differente impatto degli interventi ipotizzati in termini di fabbisogno netto potenziale dell'edificio, di miglioramento del comfort interno, nonché di energia primaria non rinnovabile effettivamente fornita.

L'analisi dei differenti scenari ha evidenziato che:

- l'applicazione di schermature fisse (grado di copertura al 55%) può ridurre il fabbisogno netto e migliorare le condizioni indoor dell'edificio, ma non necessariamente comportare un risparmio in termini di energia primaria.;
- la sostituzione dell'impianto idronico centralizzato attuale, costituito da caldaia a condensazione per il riscaldamento e chiller per la climatizzazione estiva, con pompe di calore di tipo VRF consentirebbe di climatizzare in maniera differenziata le zone dell'edificio. Tale intervento, pur non riducendo a monte gli effetti degli apporti solari, ottimizza l'energia fornita in funzione dei differenti carichi richiesti, e permette di raggiungere un rilevante risparmio in termini di energia primaria fornita;
- la soluzione combinata, a fronte di un apparente risparmio leggermente inferiore rispetto alla sola sostituzione degli impianti, risulta l'unico scenario in grado di ridurre a monte i carichi termici richiesti dall'edificio e quindi migliorare le condizioni termoigrometriche indoor anche nei mesi in cui gli impianti sono disattivati.

L'attività svolta, in linea con gli obiettivi preposti, evidenzia l'importanza delle verifiche di comfort e qualità ambientale indoor nell'ambito delle diagnosi energetiche.

In particolare, l'applicazione del metodo dinamico orario, al netto dell'implementazione della metodologia di calcolo attualmente disponibile (UNI 52016:2018) e dei possibili margini di calibrazione del modello di simulazione definito, può supportare e/o integrare la verifica delle condizioni termoigrometriche indoor dell'edificio in esame, fornendo utili indicazioni per la valutazione dei possibili interventi di energy saving e favorendo la convergenza tra incremento dell'efficienza energetica e miglioramento delle condizioni di comfort ambientale degli utenti.

Nel successivo paragrafo 7 del presente Report, è riportata una sintesi descrittiva dell'attività svolta ed un estratto dei principali risultati ottenuti.

Come ulteriore confronto, a titolo di approfondimento in aggiunta a quanto previsto nel capitolato, sono stati analizzati i risultati delle simulazioni ottenuti applicando il metodo dinamico orario della norma UNI 52016 con quelli ottenuti mediante il metodo mensile quasi-stazionario delle attuali norme UNI TS 11300. Il fabbisogno netto complessivo totale in questo caso è stato del 42% maggiore rispetto a quello calcolato con metodo orario, seppur con una distribuzione sostanzialmente simile dei carichi termici tra le zone con differente esposizione dell'edificio.

3 Prodotti attesi

È prevista la redazione di un Report tecnico con descrizione delle attività e risultati raggiunti.

4 Prodotti sviluppati

È stato prodotto un Report tecnico con descrizione delle attività e dei risultati raggiunti.

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Le attività svolte non presentano alcuno scostamento rispetto agli obiettivi previsti in termini di risultati raggiunti.

Le spese per le attrezzature di misura sono state effettuate regolarmente, in linea con quanto previsto.

6 Sintesi delle attività svolte

Il monitoraggio indoor dell'edificio è stato esteso al periodo estivo e non ha evidenziato situazioni di discomfort, visto il corretto funzionamento dell'impianto di climatizzazione.

L'attività è stata quindi focalizzata sull'analisi comparativa fra i dati sperimentali e i valori simulati, e sull'analisi energetica dell'edificio in esame. Dal confronto tra le grandezze calcolate e quelle misurate, è emersa una sufficiente convergenza in termini di andamenti medi, mentre a livello puntuale sono stati riscontrati scostamenti più rilevanti per effetto della complessità di modellizzazione dei singoli uffici, in termini di profili di occupazione e parametri operativi. Successivamente sono state valutate le implicazioni energetiche di tre scenari di intervento: i risultati hanno evidenziato i possibili miglioramenti sotto l'aspetto del comfort termoigrometrico e il differente impatto relativo alla domanda energetica complessiva dell'edificio.

7 Dettaglio delle attività svolte

7.1 L'Efficienza energetica, il benessere termoigrometrico e la qualità dell'aria degli edifici nella nuova Direttiva EPBD

La nuova Direttiva (UE) 2024/1275 sulla prestazione energetica nell'edilizia (EPBD) ha ribadito l'importanza del controllo del benessere termoigrometrico e della qualità dell'aria indoor nell'ambito delle riqualificazioni energetiche. Tali verifiche dovrebbero essere parte integrante delle diagnosi energetiche, finalizzate alla riduzione dei consumi dell'edificio in esame. L'attuale metodologia di calcolo, basata sull'applicazione delle norme UNI TS 11300 (calcolo mensile), non permette di appurare se siano verificate condizioni di comfort microclimatiche. Invece, l'implementazione della metodologia dinamica oraria, basata sulla norma UNI 52016:2018, potrebbe consentire di superare questa criticità permettendo, già in fase di simulazione, la verifica delle condizioni termoigrometriche dell'edificio.

Pertanto, il recepimento della nuova Direttiva EPBD potrebbe portare all'adozione, nei prossimi anni, di una metodologia di calcolo più accurata, in grado di fornire in output le principali grandezze microclimatiche indoor tali da indirizzare le diagnosi energetiche nella scelta di interventi che possano non solo ridurre i consumi energetici degli edifici, ma anche migliorare il comfort ambientale degli utenti.

7.1.1 Obiettivi dello studio

Nell'attuale linea di ricerca, LA 1.14, dopo aver riportato i risultati dei monitoraggi effettuati nel periodo estivo, è stata condotta un'analisi comparativa tra le misure sperimentali e i risultati ottenuti mediante simulazione dinamica oraria in applicazione della norma UNI EN ISO 52016:2018. Successivamente, il modello definito è stato utilizzato per valutare le implicazioni energetiche di possibili interventi di riqualificazione. L'obiettivo è verificare quanto e con quali limiti le simulazioni possano riprodurre le differenti condizioni termoigrometriche misurate, e come utilizzare i risultati dell'analisi per ridurre le criticità riscontrate e, al tempo stesso, migliorare l'efficienza dell'edificio.

7.2 Conclusione monitoraggio sperimentale: misure e analisi delle grandezze termoigrometriche nel periodo estivo

In analogia a quanto fatto per il periodo di riscaldamento, anche per il periodo giugno-agosto 2023, il monitoraggio condotto su uffici con diversa esposizione ha permesso di tracciare un quadro esaustivo della condizione microclimatica dell'edificio.

Per tutti gli ambienti monitorati, sono stati ricavati gli andamenti medi giornalieri delle grandezze termoigrometriche e sono stati calcolati gli indici di comfort: questi sono risultati sempre compresi nei range di accettabilità prescritti dalla norma EN 16798, evidenziando che nella stagione estiva i carichi sono compensati dall'impianto di raffrescamento.

7.3 Caratteristiche termofisiche dell'edificio

Nel seguito sono riepilogate le principali caratteristiche termofisiche dei componenti dell'involucro edilizio dell'edificio, la cui geometria è stata definita nella LA1.13.

Descrizione	s [mm]	U [W/m ² K]	Ms [kg/m ²]	Yie [W/m ² K]
Parete esterna	300	0.23	221	0.09
Partizioni interne	104	1.69	83	1.52
Basamento	300	0.20	362	0.60
Solai intermedi	300	1.54	362	0.62
Solaio di copertura	610	0.19	583	0.01

Tabella 1 - Caratteristiche termofisiche dei componenti opachi

Descrizione	A [m ²]	U _w [W/m ² K]	U _{w,shut} [W/m ² K]	g _{gl} [-]
Finestra tipo	4.24	2.83	2.50	0.75
Porta su vano scala	2.78	2.57	2.44	0.75
Porta su scale esterne	4.29	2.86	2.50	0.75

Tabella 2 - Caratteristiche termofisiche dei componenti trasparenti

7.4 Metodologia

Integrando lo studio degli elaborati progettuali originali dell'edificio con le verifiche in situ, è stato possibile realizzare un dettagliato modello dell'edificio, finalizzato alle simulazioni energetiche.

Per lo scopo, si è utilizzato un software commerciale, conforme alle normative vigenti e certificato dal CTI, che ha reso possibile:

- il confronto delle principali grandezze termoigrometriche indoor ottenute dal modello energetico (UNI EN ISO 52016), con le misure sperimentali;
- le valutazioni di carattere energetico sia con metodo mensile (UNI TS 11300) che orario;
- l'ipotesi di scenari di riqualificazione finalizzati a ridurre le criticità emerse dall'attività di monitoraggio.

7.4.1 Modello climatico

Il calcolo del fabbisogno energetico, mediante l'applicazione del metodo dinamico orario della UNI 52016, prevede, di default, l'utilizzo di dati climatici orari del Typical Meteorological Year (TMY) elaborati dal CTI, da cui sono stati derivati i valori medi mensili della norma UNI 10349 utilizzata in ambito EPBD. Ai fini dell'analisi comparativa, tuttavia, il file climatico è stato sostituito con dati orari misurati in situ dalle centraline installate nel C.R. ENEA Casaccia nel periodo 2022-2023 corrispondente al monitoraggio effettuato. Nelle simulazioni successive,

per valutare le implicazioni di carattere energetico, è stato reimpostato il TMY standard (CTI), relativo al sito in esame.

7.4.2 Assunzioni di calcolo, profili di utenza e zonizzazione dell'edificio

Per le simulazioni, si è impostata una zonizzazione variabile in funzione degli obiettivi dello studio.

Ai fini dell'analisi comparativa, per poter confrontare in maniera puntuale le misure orarie delle grandezze termoigrometriche con quelle ottenute mediante simulazioni, sono state implementate 33 zone termiche differenti, in modo da caratterizzare tutti gli uffici monitorati in termini di profilo di utilizzo (Figura 1), apporti interni, ventilazione, utilizzo delle schermature.

Ai fini dello studio delle implicazioni energetiche, l'edificio è stato modellato implementando sei zone termiche in funzione dei tre piani e delle due esposizioni nord e sud.

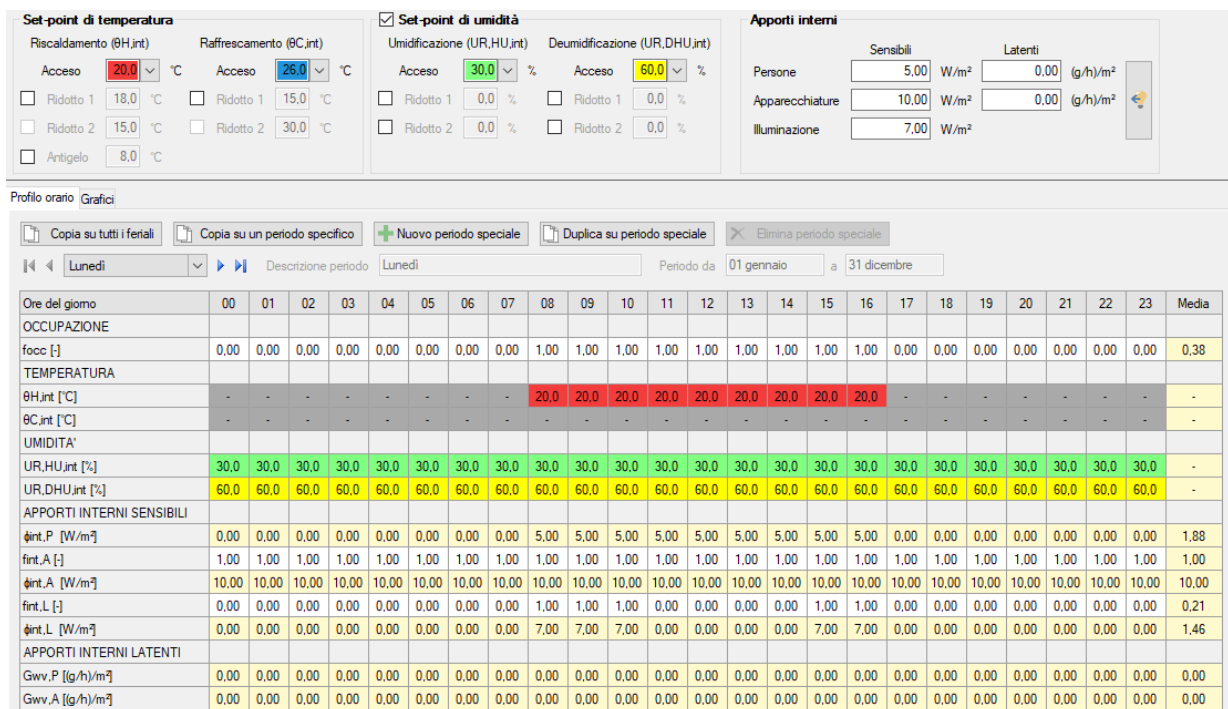


Figura 1 - Esempio di profilo di occupazione

Il periodo di climatizzazione considerato è stato quello di effettivo funzionamento degli impianti, ossia 1° novembre - 31 marzo per il riscaldamento e 15 giugno - 15 settembre per il raffrescamento. Il fabbisogno termico potenziale è stato invece calcolato considerando l'intero anno per riscaldamento e raffrescamento.

7.5 Risultati

7.5.1 Confronto delle principali grandezze termoigrometriche ottenute dalle simulazioni con le misure

L'analisi comparativa tra simulazione e misurazioni è stata focalizzata prevalentemente sui risultati ottenuti durante il periodo di riscaldamento in cui, in fase di monitoraggio, erano emerse maggiori criticità in termini di sovrariscaldamento degli ambienti.

Occorre sottolineare che l'implementazione della UNI 52016:2018 nel software utilizzato implica alcune scelte di "compromesso" nella definizione di specifici parametri di simulazione, che seppur influenti negli scambi termici dei singoli ambienti, non possono essere differenziati per ciascuna zona termica e per periodo (ad esempio, i tassi di ricambio dell'aria tra le zone climatizzate e quelle non climatizzate adiacenti). A ciò si aggiunge la difficoltà di definire, in maniera accurata, a livello orario, ulteriori elementi la cui variabilità di utilizzo è fortemente legata all'utenza e ad al periodo considerato (aperture finestre e porte, accensione luci, utilizzo elementi schermanti). Non è in sostanza possibile definire valori ottimali per tutti i parametri, validi per l'intero edificio in esame, e per tutto il periodo di simulazione. Per cercare di ridurre i margini di incertezza dovuti a tali aspetti, i confronti tra grandezze indoor simulate e misurate, sono stati effettuati eseguendo differenti simulazioni e impostando, di volta in volta, tali parametri, così come altre condizioni al contorno, in funzione del singolo locale in esame e del periodo specifico considerato.

Si riportano di seguito i risultati ottenuti per alcuni locali significativi, selezionati in base all'esposizione, al periodo di monitoraggio e al profilo di utilizzo.

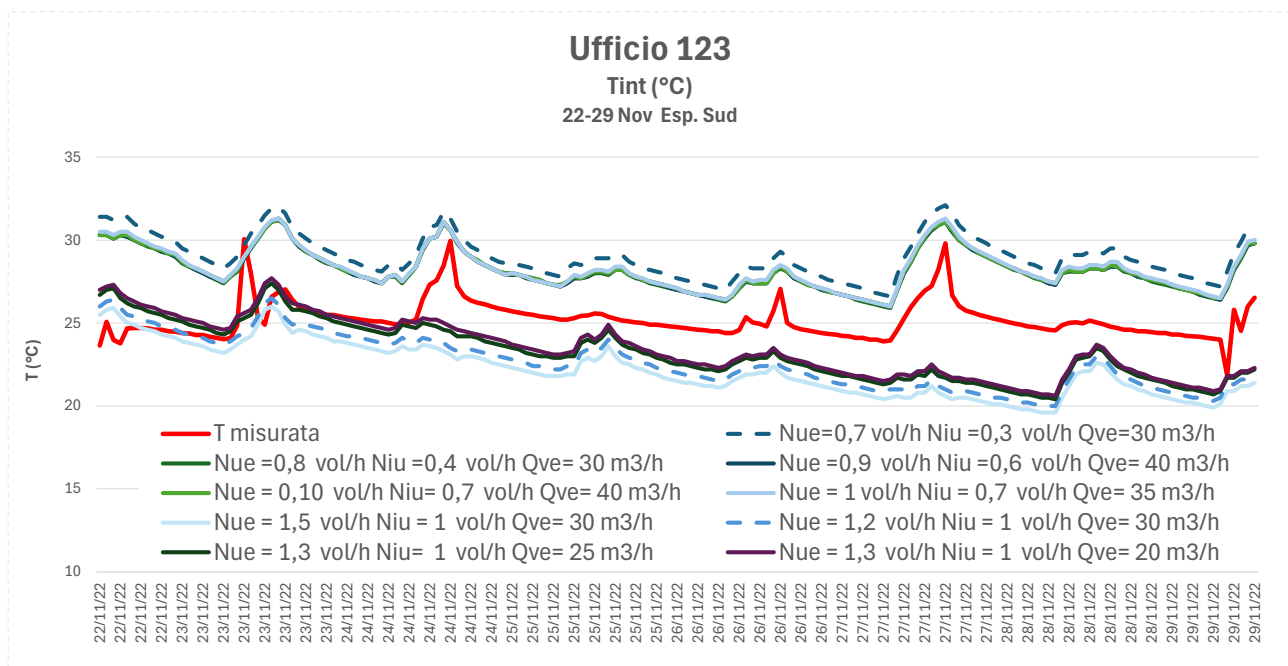


Figura 2 – Profili di temperatura al variare dei coefficienti di ricambio dell'aria (Niu, Nue e Qve)

Dal confronto tra le temperature misurate e simulate, si evidenzia una sufficiente convergenza in termini di andamento orario, seppur con scostamenti variabili, in misura rilevante, in funzione della scelta dei coefficienti di ricambio dell'aria, della zona in esame e di quelle ad essa contigue, che determinano gli scambi termici mutui tra zone climatizzate e non (Figura 2).

In base agli indici di accostamento (MBE, MBE%, RMSE, RMSE%) è stata individuata la simulazione di migliore approssimazione rispetto all'andamento delle misure.

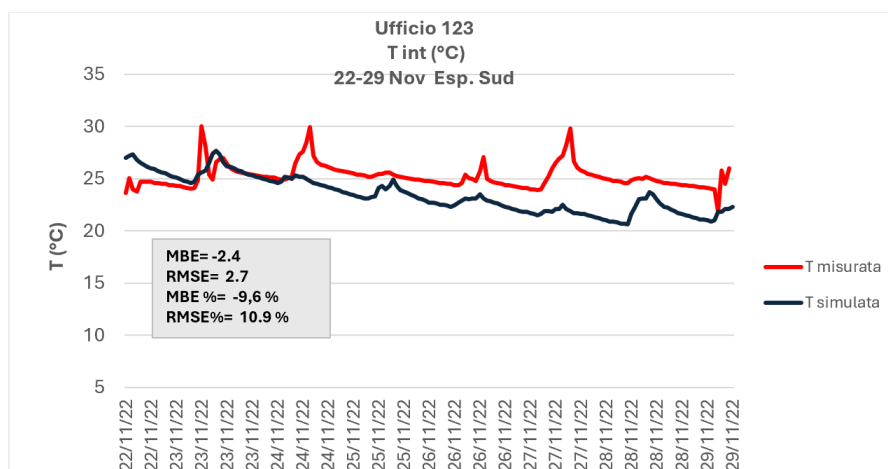


Figura 3 - Confronto delle temperature misurata e simulata per un ufficio esposto a sud

In modo analogo sono stati confrontati uffici con differente esposizione:

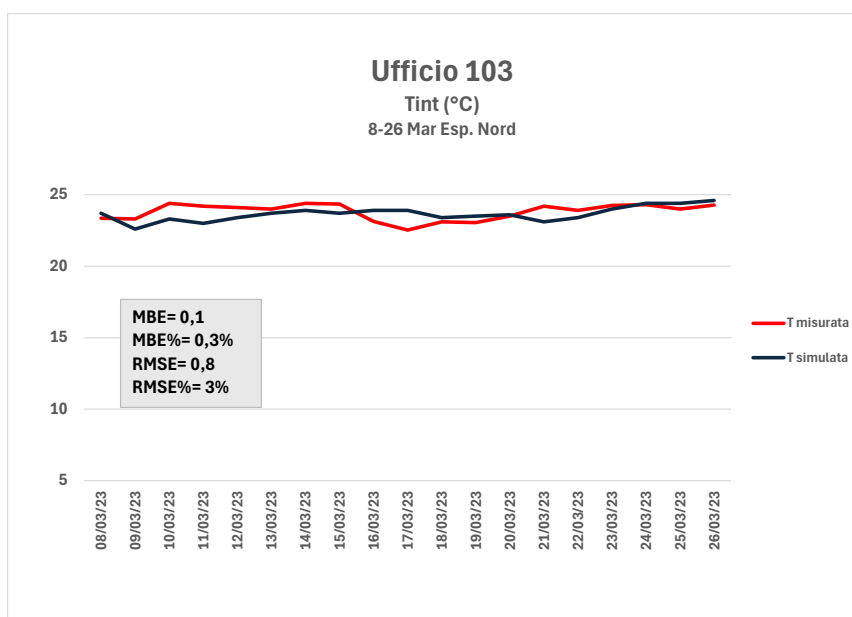


Figura 4 - Confronto delle temperature misurata e simulata per un ufficio esposto a nord

Nell'ufficio 103 che ha esposizione nord emergono scostamenti minori rispetto al lato sud, con un RMSE% pari al 3% (Figura 4), e quindi inferiore al RMSE del caso precedente (ufficio 123) che è pari a 10,9% (Figura 3).

7.5.2 Implicazioni dal punto vista della performance energetica dell'edificio e applicazioni nelle diagnosi energetiche

Il modello di calcolo realizzato ha consentito di analizzare le prestazioni energetiche dell'edificio nello stato di fatto e di analizzare i fabbisogni termici potenziali di riscaldamento (Figura 5) e di raffrescamento (Figura 6) applicando la norma UNI EN ISO 52016.

Fabbisogno termico potenziale [kWh/m ²]		
Heating	Cooling	Totale
6.86	41.08	47.94

Tabella 3 - Fabbisogno termico potenziale esteso all'intero anno

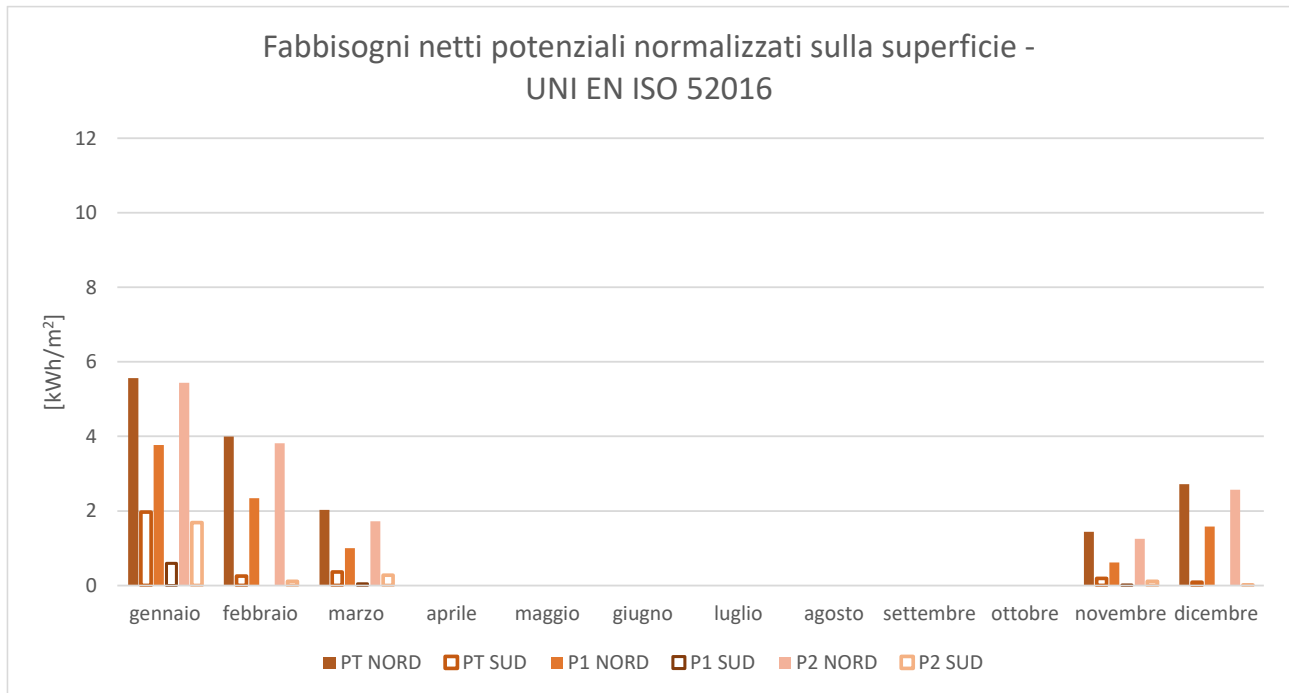


Figura 5 - Fabbisogno netto mensile potenziale di riscaldamento, normalizzato sulla superficie, distinto per piano e per esposizione

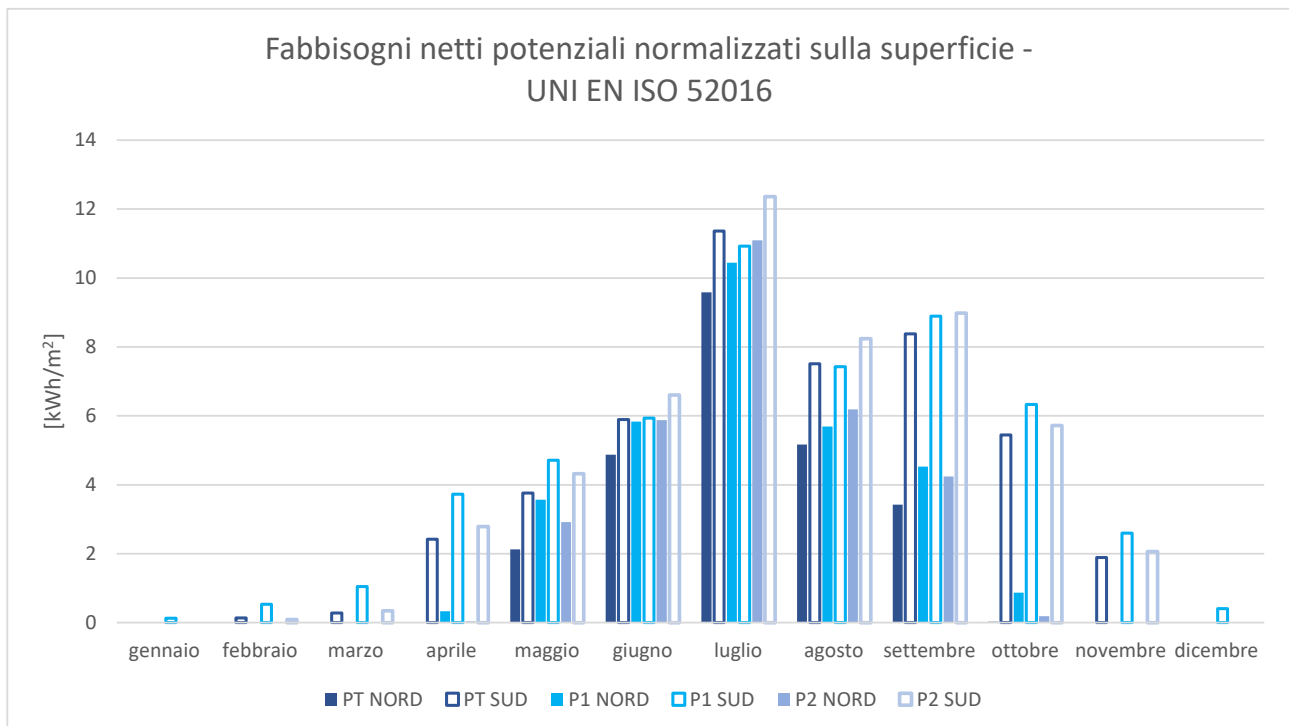


Figura 6 - Fabbisogno netto mensile potenziale di raffrescamento, normalizzato sulla superficie, distinto per piano e per esposizione

Il fabbisogno netto normalizzato di riscaldamento è maggiore per le esposizioni nord e minimo per quelle sud; tale differenza è meno rilevante analizzando i fabbisogni di raffrescamento che, peraltro, si evidenziano per tutti i piani ed esposizioni, anche nelle stagioni intermedie (aprile, maggio e ottobre). Si nota inoltre, negli uffici a sud, la necessità di compensare carichi termici da raffrescamento persino nella stagione invernale: tale aspetto, seppur limitato ad alcune ore, conferma la forte disomogeneità termica riscontrata nei monitoraggi tra le zone a differente esposizione e suggerisce potenziali condizioni di discomfort.

L'analisi del fabbisogno termico dell'edificio ha permesso di ipotizzare tre scenari di intervento:

1. installazione di schermature solari esterne;
2. sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale ed estiva con unità ad espansione diretta di tipo VRF;
3. applicazione combinata degli scenari 1 e 2.

7.5.2.1 Scenario 1: installazione schermature solari

L'installazione di schermature solari esterne è stata ipotizzata sui componenti finestrati con esposizione sud-est, sud e sud-ovest, nella fascia oraria 8:00-16:00 dei giorni feriali. Nella Figura 7, sono riportati i fabbisogni netti per riscaldamento e raffrescamento suddivisi per piano ed esposizione: si nota che, con l'introduzione delle schermature, il fabbisogno di riscaldamento diminuisce lievemente negli ambienti con esposizione nord e aumenta significativamente per le zone esposte a sud. Viceversa, nella stagione estiva, il fabbisogno a nord aumenta mentre a sud si riduce, sempre in maniera significativa.

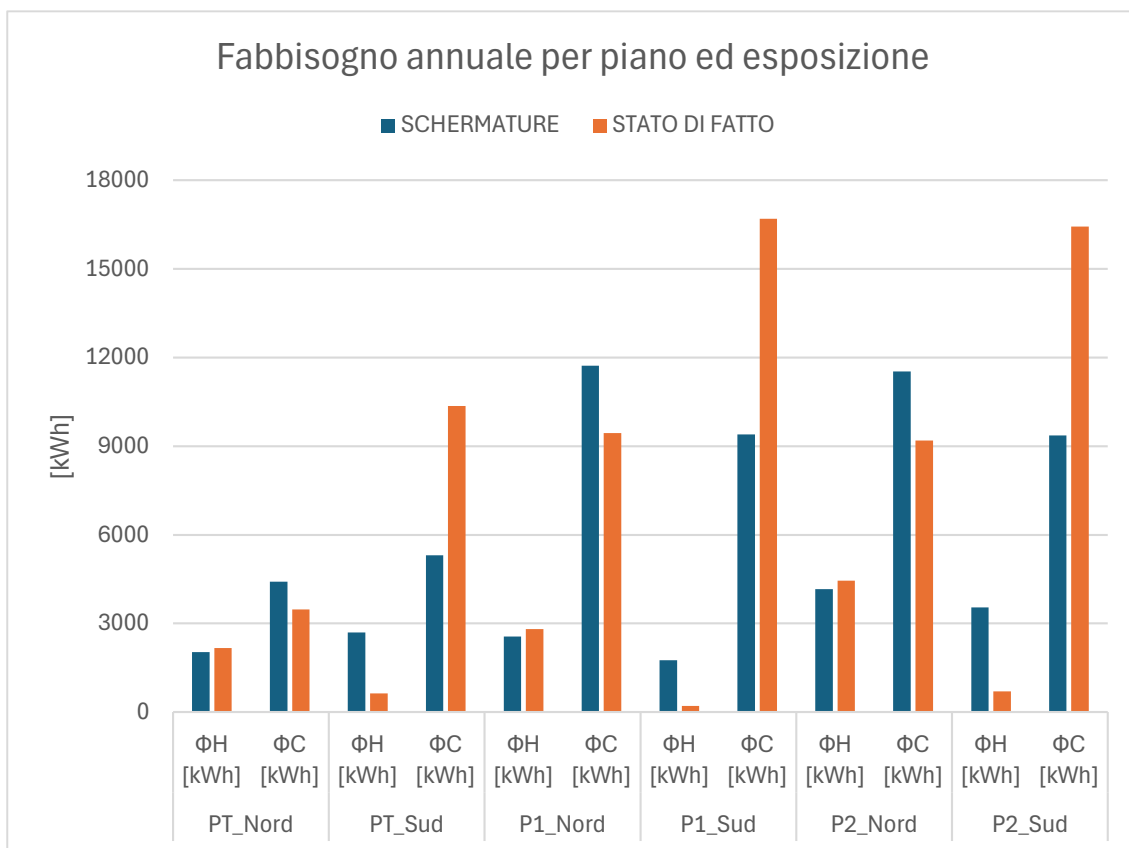


Figura 7 - Fabbisogno netto per le due stagioni distinto per piano ed esposizione

In Figura 8 sono riportati i fabbisogni totali per le due stagioni: l'utilizzo delle schermature comporta un lieve aumento di domanda per il riscaldamento (+5,8 MWh) a fronte di una significativa riduzione per il raffrescamento (-13,9 MWh).

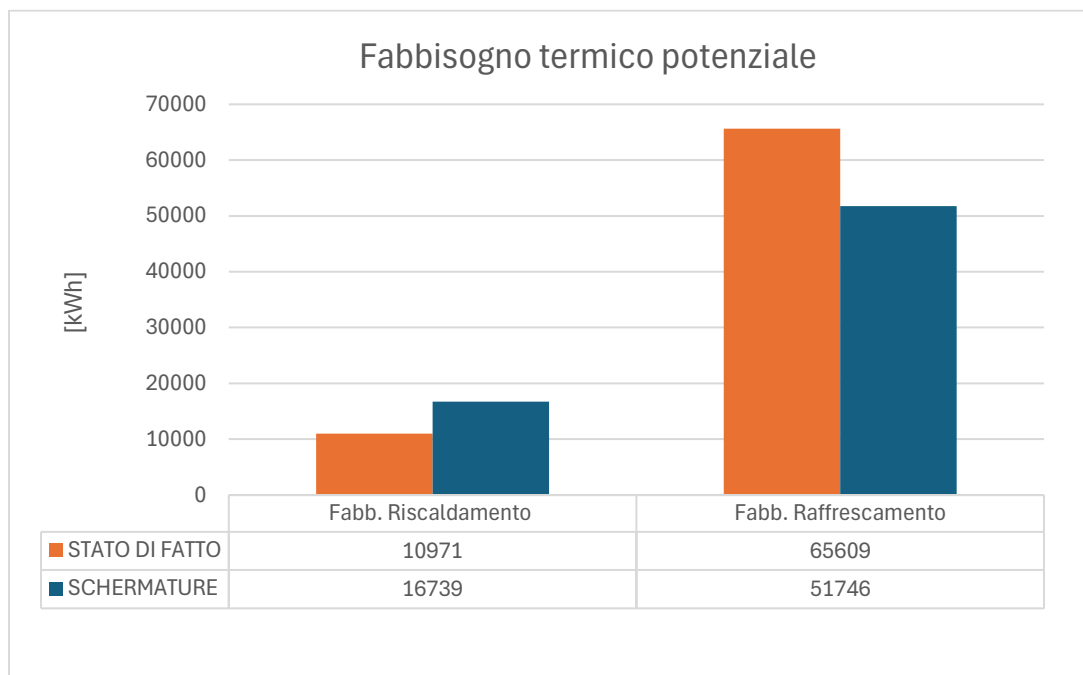


Figura 8 - Fabbisogno netto totale per le due stagioni per l'edificio

Particolarmente interessante è il confronto nelle stagioni intermedie tra lo stato di fatto e lo scenario 1, in riferimento al thermal comfort, che è stato possibile definire con i range forniti dalla norma EN 16798-1.

La Figura 9 mostra la distribuzione percentuale delle ore nelle tre classi di comfort per lo stato di fatto e per lo scenario 1 (aree tratteggiate). L'analisi mostra che l'aumento delle ore di comfort nelle zone a sud è nettamente superiore alla riduzione per le zone a nord, il cui valore minimo per la classe I si assesta comunque al 60%.

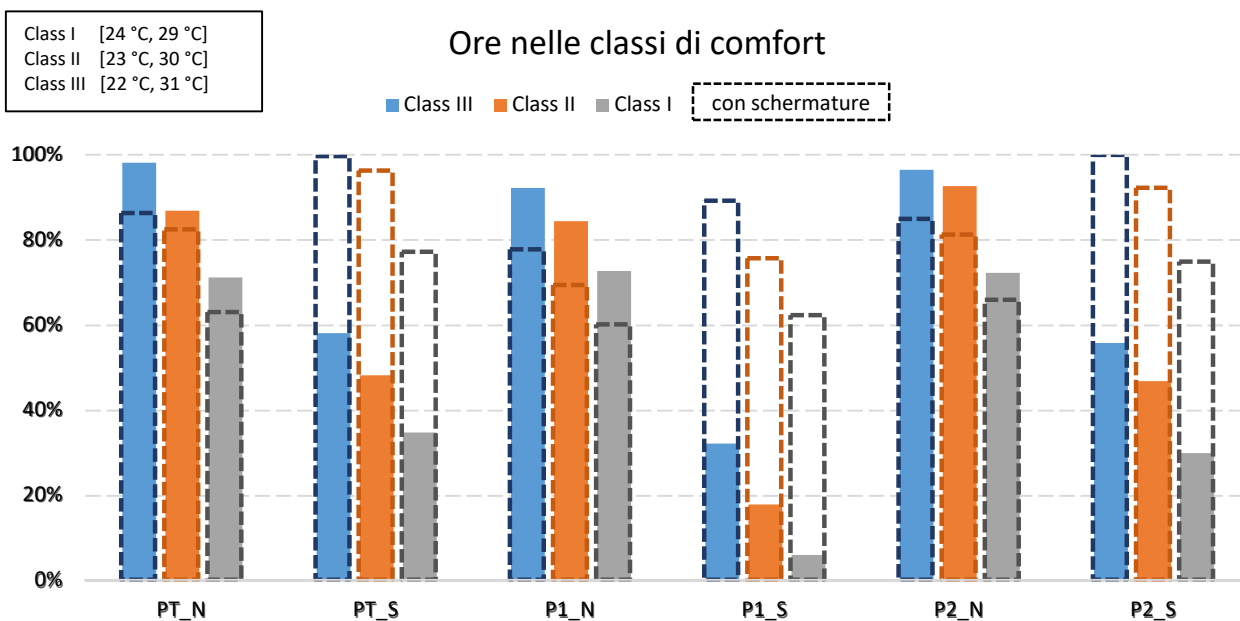


Figura 9 – Distribuzione delle ore nelle classi di comfort distinta per piano ed esposizione

7.5.2.2 Scenario 2: sostituzione impianto con PdC di tipo VRF

Il secondo scenario proposto per il miglioramento delle prestazioni energetiche prevede la sostituzione degli impianti di condizionamento esistenti con impianti ad espansione di tipo VRF. Attualmente, l'edificio studiato è servito da una caldaia a condensazione per il riscaldamento e da un chiller per il raffrescamento. Per ridurre l'energia primaria necessaria alla copertura dei carichi termici, si è ipotizzata l'installazione di 3 unità VRF, ognuna al servizio di un singolo piano.

	Riscaldamento		Raffrescamento	
	Potenza [kW]	COP [-]	Potenza [kW]	EER [-]
Piano 0	50	4.00	50	3.40
Piano 1	81.5	4.20	78	3.57
Piano 2	76.5	4.12	73	3.52

Tabella 4 riassume i dati nominali degli impianti ad espansione diretta utilizzati per il calcolo.

	Riscaldamento		Raffrescamento	
	Potenza [kW]	COP [-]	Potenza [kW]	EER [-]
Piano 0	50	4.00	50	3.40
Piano 1	81.5	4.20	78	3.57
Piano 2	76.5	4.12	73	3.52

Tabella 4 - Dati nominali impianti VRF

7.5.2.3 Scenario 3: installazione schermature solari e sostituzione impianto con un VRF

Il terzo scenario, infine, è costituito dalla combinazione dei primi due. Tale configurazione agisce sia sul fabbisogno termico netto, tramite le schermature come si evince nello scenario 1, sia sull'energia primaria, tramite l'impianto VRF.

7.5.2.4 Discussione

Gli scenari sono stati confrontati anche in termini di energia primaria non rinnovabile.

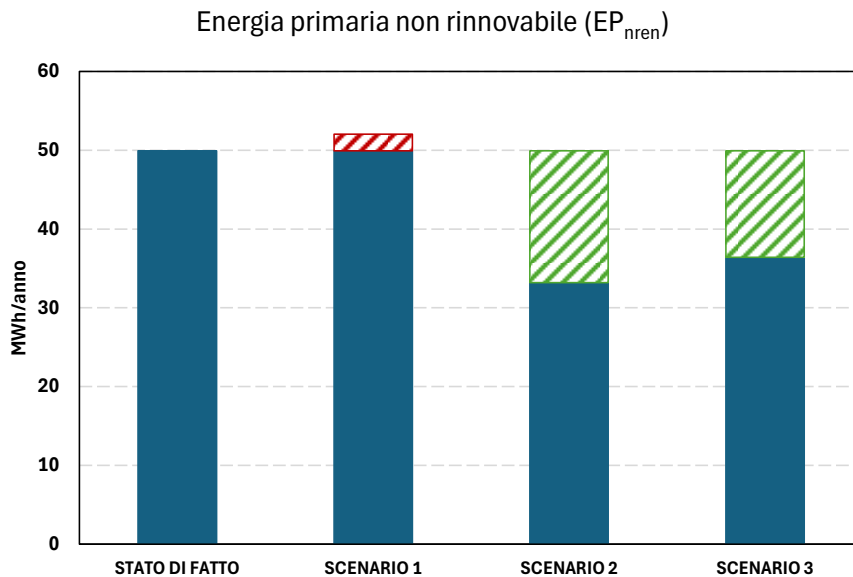


Figura 10 - Fabbisogno di energia primaria non rinnovabile per gli scenari proposti

L'analisi in Figura 10 mostra che le schermature comportano un lieve aumento dell'energia primaria non rinnovabile su base annuale (campitura rossa), mentre l'utilizzo di impianti VRF comporta una significativa diminuzione (campitura verde) di energia primaria non rinnovabile rispetto allo stato attuale; lo scenario combinato, invece, prevede un consumo di energia primaria non rinnovabile superiore rispetto allo scenario con solo VRF.

Ad ogni modo, tali risultati devono essere analizzati alla luce delle implicazioni sul comfort indoor di ciascuno scenario (Figura 9): l'impiego di schermature, benché, penalizzi il consumo di energia primaria non rinnovabile sia nello scenario 1 che in quello 3, è necessario per mitigare il sovrariscaldamento nel periodo invernale e migliorare il comfort termoigrometrico nelle stagioni intermedie.

7.6 Conclusioni

Nella linea 1.14 è stata completata l'analisi delle condizioni termoigrometriche di un edificio ad uso ufficio, iniziata con il monitoraggio sperimentale descritto nella linea 1.13.

L'analisi comparativa tra misure e simulazioni ha consentito di evidenziare possibilità e limiti nell'applicazione del metodo dinamico orario UNI 52016 per la verifica delle condizioni microclimatiche indoor. Con la stessa metodologia di calcolo sono state valutate le prestazioni energetiche, e sono stati infine ipotizzati tre possibili interventi di riqualificazione sull'involucro e sugli impianti dell'edificio in esame. L'attività svolta evidenzia come la verifica

del comfort ambientale indoor rappresenti un driver nella conduzione della diagnosi energetica.

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

Non sono state previste consulenze per lo svolgimento delle attività descritte.

9 Pubblicazioni scientifiche

Alcuni dei risultati di questa attività di ricerca sono stati pubblicati attraverso il seguente articolo:

“Thermal comfort monitoring in office buildings: A case study”

Domenico Iatauro, Carmen Lavinia, Iole Nardi* and Raniero Sannino

E3S Web of Conferences 523, 06006 (2024)

<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452306006>

È prevista la predisposizione di articoli e/o pubblicazioni sugli ulteriori risultati di questa attività.

10 Eventi di disseminazione

Parte dell'attività di ricerca è stata divulgata in occasione del

53rd AiCARR International Conference "From NZEB to ZEB: The Buildings of the Next Decades for a Healthy and Sustainable Future"

12-13 marzo presso Fiera Milano Rho (Milano) in occasione della Mostra Convegno Expocomfort

Infine, tutti i risultati sono stati divulgati attraverso l'evento

"Piano Triennale di Realizzazione della Ricerca di Sistema elettrico nazionale | I risultati dei progetti 1.5 e 1.6"

26-27-28 novembre presso il Centro Congressi Frentani di Roma

È prevista la possibilità di partecipazione ad eventi e convegni sul tema.