

Ricerca di Sistema elettrico



Misure ed analisi del thermal comfort e IAQ in edifici del terziario ed implicazioni di carattere energetico parte I (LA1.13)

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 I (LA1.13)

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

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

Giugno 2023

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 1.13 Misure ed analisi del thermal comfort e IAQ in edifici del terziario ed implicazioni di carattere energetico - Parte I

Responsabile del Progetto: ing. Giovanni Puglisi, ENEA

Responsabile del Work Package: ing. Domenico Iatauro, ENEA

Responsabile Linea di Attività: ENEA

Mese inizio previsto: Gennaio 2022

Mese inizio effettivo: Gennaio 2022

Mese fine previsto: Giugno 2023

Mese fine effettivo: Giugno 2023

Indice

1	RISULTATI ATTESI	4
2	RISULTATI OTTENUTI.....	5
3	PRODOTTI ATTESI.....	6
4	PRODOTTI SVILUPPATI	7
5	ANALISI DEGLI SCOSTAMENTI SU ATTIVITÀ E RISULTATI	8
6	SINTESI DELLE ATTIVITÀ SVOLTE	9
7	DETTAGLIO DELLE ATTIVITÀ SVOLTE.....	9
8	CONTRIBUTO DELLE EVENTUALI CONSULENZE ALLE ATTIVITÀ SOPRA DESCRITTE.....	19
9	PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE.....	20
10	EVENTI DI DISSEMINAZIONE	21

1 Risultati attesi

1.1 Lista dei risultati attesi come da capitolato vigente

- Descrizione dell'edificio in esame e delle modalità di monitoraggio;
- Descrizione degli strumenti di misura;
- Analisi delle misure derivanti dal monitoraggio nel periodo di riscaldamento invernale: le principali grandezze misurate verranno analizzate a differente scala spaziale e temporale;
- Analisi di thermal comfort e IAQ (periodo invernale), mediante l'utilizzo di opportuni indicatori.

2 Risultati ottenuti

2.1 Elenco dei risultati ottenuti:

I risultati ottenuti sono del tutto in linea con i risultati attesi.

- Descrizione dell'edificio in esame e delle modalità di monitoraggio;
- Descrizione degli strumenti di misura;
- Analisi delle misure derivanti dal monitoraggio nel periodo di riscaldamento invernale: le principali grandezze misurate sono state analizzate a differente scala spaziale e temporale;
- Analisi di thermal comfort e IAQ, mediante l'utilizzo di opportuni indicatori.

Nello specifico, l'estensivo monitoraggio dell'edificio F83 del C.R. ENEA Casaccia ha permesso di esaminare le principali grandezze termoigrometriche: *temperatura*, *umidità*, *temperatura media radiante* e *velocità dell'aria* a diversa scala spaziale e temporale. A queste, si è aggiunta la misura della concentrazione di CO₂ per valutare la qualità dell'aria indoor ed il tasso di ventilazione.

L'elevato numero di ambienti monitorati ha consentito di prendere in esame locali con differente esposizione e profilo d'utenza, nonché di includere nei monitoraggi anche zone di transito e locali non occupati, per aver maggior contezza delle condizioni microclimatiche globali dell'edificio.

Le misure sono state estese anche ai periodi di chiusura del Centro, per ampliare le possibilità di analisi anche in condizioni di free-floating delle temperature indoor.

Durante il periodo convenzionale di accensione degli impianti, si è valutato il comfort applicando i metodi predittivi di Fanger (PMV e PPD) e verificando la conformità degli ambienti esaminati ai parametri previsti dalla norma UNI EN 16798. Per alcuni locali particolarmente significativi, è stato effettuato il confronto anche in termini di temperatura operativa, per meglio evidenziare le differenti condizioni termoigrometriche dovute alla diversa esposizione.

Sono state, inoltre, effettuate ulteriori misurazioni, al di fuori della stagione di riscaldamento, per verificare le condizioni di comfort in alcuni ambienti selezionati mediante l'applicazione di metodi adattivi che consentono di correlare la temperatura operativa indoor alle temperature dell'aria esterna.

L'analisi dei risultati ottenuti ha messo in evidenza rilevanti fenomeni di sovrariscaldamento e asimmetria termica tra gli uffici con differente esposizione.

Nella seconda fase di attività, mediante un modello di simulazione dell'edificio in esame, sarà effettuata un'analisi comparativa, al fine di confrontare i risultati ottenuti dal monitoraggio con quelli numerici basati su simulazione mediante metodo orario implementato nella norma UNI EN ISO 52016. L'attività svolta è, infatti, finalizzata ad evidenziare come la verifica delle condizioni termoigrometriche ed ambientali indoor possa indirizzare la diagnosi energetica di un edificio, in modo da far convergere l'incremento dell'efficienza con un miglioramento delle condizioni di benessere microclimatico degli utenti.

3 Prodotti attesi

Lista dei prodotti hardware/software eventualmente attesi per la

3.1 È previsto un Report tecnico con descrizione delle attività e risultati raggiunti.

4 Prodotti sviluppati

Lista dei prodotti hardware/software eventualmente sviluppati nella LA:

- 4.1** *È stato prodotto un Report tecnico con descrizione delle attività e risultati raggiunti e l'Allegato LA 1.13 Report Esteso in cui è descritta l'attività svolta in forma completa e dettagliata.*

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

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

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

5.3 *Le spese per dissemination e relative missioni sono risultate minori rispetto alle previsioni in quanto articoli per conferenze e/o riviste sono in fase di completamento e saranno presentati nel 2024.*

6 Sintesi delle attività svolte

6.1 Sintesi delle attività svolte e dei risultati ottenuti in relazione ai risultati attesi.

La Direttiva EU 2018/844, recepita in Italia dal D.Lgs 48/2020, esorta gli Stati Membri nell'ambito delle riqualificazioni energetiche degli edifici, a considerare il benessere microclimatico degli ambienti interni. L'attività svolta nella linea 1.13 è stata focalizzata sul monitoraggio strumentale effettuato nell'edificio F83 del C.R. ENEA Casaccia. L'analisi delle misure relative alle principali grandezze termoigrometriche e l'elaborazione di opportuni indicatori di comfort, ha consentito di avere un quadro completo delle condizioni indoor, evidenziando rilevanti disuniformità termiche tra uffici con differente esposizione. I risultati ottenuti saranno oggetto, nella prossima fase delle attività, di analisi comparativa con quelli derivanti dalle simulazioni di calcolo, basate sul metodo orario implementato nella norma UNI EN ISO 52016, in cui saranno valutate le implicazioni sul piano energetico di possibili interventi di miglioramento del comfort ambientale dell'edificio esaminato.

7 Dettaglio delle attività svolte

7.1 Introduzione

La riduzione dei consumi energetici nel settore degli edifici è uno dei punti cardine della strategia europea per il contrasto ai cambiamenti climatici (Green Deal) che, attraverso specifici programmi nazionali di riqualificazione del parco immobiliare nazionale mira a raggiungere la riduzione del 55% delle emissioni di CO₂ entro il 2030 e la "carbon neutrality" entro il 2050.

In tale prospettiva, la Direttiva EU 2018/844 [1], recepita in Italia dal D.Lgs. 48/2020, esorta gli Stati Membri nell'ambito delle riqualificazioni degli edifici, "...all'utilizzo di sistemi ad alta efficienza [...] prendendo in considerazione le questioni del benessere termo-igrometrico degli ambienti interni". In sostanza, agli Stati Membri viene richiesto che nelle valutazioni del fabbisogno energetico sia considerata e garantita, allo stesso tempo, anche la verifica e l'ottimizzazione delle condizioni termoigrometriche e di salubrità dell'aria per gli occupanti. Molti studi condotti negli ultimi anni, infatti, hanno evidenziato che anche in edifici riqualificati verso standard elevati di efficienza energetica, possono riscontrarsi rilevanti carenze in termini di condizioni di benessere indoor [2,3].

Attualmente, la metodologia di calcolo tradizionale, a valle dei calcoli energetici effettuati su base mensile, non consente il calcolo di quelle grandezze termoigrometriche (quali *Temperatura dell'aria interna*, *Temperatura media radiante* e *Temperatura operativa*), o di opportuni indicatori, al fine di verificare se sussistano, effettivamente, condizioni di comfort microclimatico ed ambientale.

L'evoluzione delle normative tecniche e in particolare l'adozione della norma UNI EN ISO 52016:2018 che prevede la valutazione del bilancio energetico dell'edificio basata su metodi di calcolo orari, potrebbe, invece, offrire la possibilità di valutare parametri o indicatori che consentano, già in fase di progettazione o di diagnosi energetica, di valutare le condizioni microclimatiche indoor degli edifici in esame, evitando possibili criticità successive alla riqualificazione.

Nella presente linea di ricerca, l'attività svolta è stata, pertanto, focalizzata sull'analisi del thermal comfort e della Indoor Air Quality - IAQ di un edificio reale, al fine della successiva comparazione tra misure strumentali e simulazioni con metodo orario (UNI 52106:2018). Lo studio è, inoltre, finalizzato ad evidenziare come la verifica delle condizioni termoigrometriche ed ambientali indoor possa indirizzare la diagnosi energetica di un edificio. L'obiettivo sarà quello di verificare quanto l'applicazione del metodo orario, previsto dalla normativa UNI EN ISO 52016:2018, su edifici reali, con condizioni e profili di utenza estremamente vari, possa

convergere con accettabili margini di errore verso i risultati derivanti da misure di thermal comfort, basate su monitoraggi sperimentali.

7.1 Descrizione edificio

L'edificio F83 oggetto di studio (Figura 1) è ubicato presso l'area Capanna del Centro Ricerche ENEA Casaccia di Roma.

In pianta, l'edificio risulta orientato sull'asse principale est-ovest e gli uffici, essendo disposti sui lati lunghi, hanno esposizione nord e sud e sono serviti da un corridoio centrale. In ciascuno di essi, sono presenti uno o due occupanti. L'edificio, che si sviluppa su tre piani con copertura a lastrico solare, è dotato di ascensore, sala server e laboratori al piano terra e sala riunioni al secondo piano, oltre ai servizi igienici presenti su tutti i piani.

I piani sono caratterizzati da una distribuzione planimetrica analoga, di conseguenza, è possibile definire il piano-tipo (Figura 2) con area di 900 m² e volume pari a 2700 m³.

Anche gli uffici sono simili, dunque si può schematizzare l'ufficio-tipo avente superficie di 20 m² e volume di 60 m³ (Figura 1).

Il monitoraggio delle grandezze termo-igrometriche e di qualità dell'aria indoor è stato condotto in differenti uffici, selezionati identificando quelli maggiormente significativi, mediante centraline multisensori e data-logger.



Figura 1. Caso studio: edificio F83 – Centro Ricerche ENEA Casaccia di Roma (sinistra) e interno ufficio – tipo (destra)



Figura 2. Pianta piano-tipo – edificio F83

7.2 Modalità di monitoraggio

Il piano di monitoraggio è stato articolato in tre fasi: set up di misurazione, effettuazione della misurazione e analisi dei dati.

Sono state, pertanto, verificate tipologia e numerosità della strumentazione disponibile e si è fatto ricorso a misure di test, necessarie per confrontare gli output dei diversi sensori a parità di condizioni di impiego.

Nell'effettuazione delle misurazioni, si è fatto riferimento al calendario prefissato, riposizionando la strumentazione di misura in funzione dell'esigenza di risolvere eventuali criticità, come interruzioni di acquisizione, malfunzionamenti dei misuratori, o altro.

Infine, è stata eseguita l'analisi delle misure, operando il data cleaning e definendo la più opportuna formattazione dei dati e le modalità di visualizzazione, in ragione degli output o grandezze di interesse, ed anche delle considerazioni deducibili dal monitoraggio stesso.

Sono state condotte sia misurazioni durante la stagione di riscaldamento che in condizioni di impianto spento (off-work) (cap. 6 dell' Allegato_LA 1.13_Report esteso). In parallelo sono stati, inoltre, acquisiti dati dalla stazione meteorologica esterna, situata nel centro Casaccia nelle vicinanze dell'edificio oggetto di studio.

Tre centraline sono state posizionate a rotazione in uffici con differenti esposizioni, sia nell'ala est che nell'ala ovest dell'edificio. Un'ulteriore centralina è stata posizionata in un "ufficio di riferimento", non occupato ed esposto a sud. Sono stati, inoltre, installati termoigrometri negli ambienti limitrofi per controllare le condizioni al contorno. Le caratteristiche tecniche della strumentazione sono riportate nel paragrafo 3 dell'Allegato_LA 1.13_Report esteso.

I dati acquisiti durante il periodo di accensione dell'impianto e in condizione di off-work sono stati analizzati rispettivamente con gli indicatori di Fanger e con i metodi adattivi.

L'analisi dei risultati è consistita, principalmente, in elaborazioni grafiche, su scala giornaliera, dei dati filtrati, in relazione all'effettiva presenza dell'occupante e all'orario tipico di lavoro. A ciò, si è aggiunta la valutazione giornaliera di PMV (voto medio previsto) e PPD (percentuale prevista di insoddisfatti) e la valutazione della categoria di ambiente interno, ai sensi della norma UNI EN 16798. Tale valutazione è stata riportata su diagramma psicrometrico mediante il **CBE Thermal Comfort Tool: online tool for thermal comfort calculations and visualizations** [4].

Infine, per meglio comprendere i risultati del monitoraggio e risalire all'esatto profilo di utilizzo di ciascun ufficio monitorato, è stata predisposta una "scheda profilo utenza" che ha permesso di ricostruire, in maniera fedele, le modalità di gestione e fruizione degli spazi.

7.3 Analisi dei risultati

I monitoraggi effettuati delle principali grandezze termoigrometriche e di qualità dell'aria (CO₂), relativi alla stagione di riscaldamento, hanno consentito di evidenziare delle rilevanti differenze, in termini di uniformità termica tra gli uffici con diversa esposizione. Si riportano, di seguito, i principali risultati relativi ad alcuni uffici particolarmente significativi:

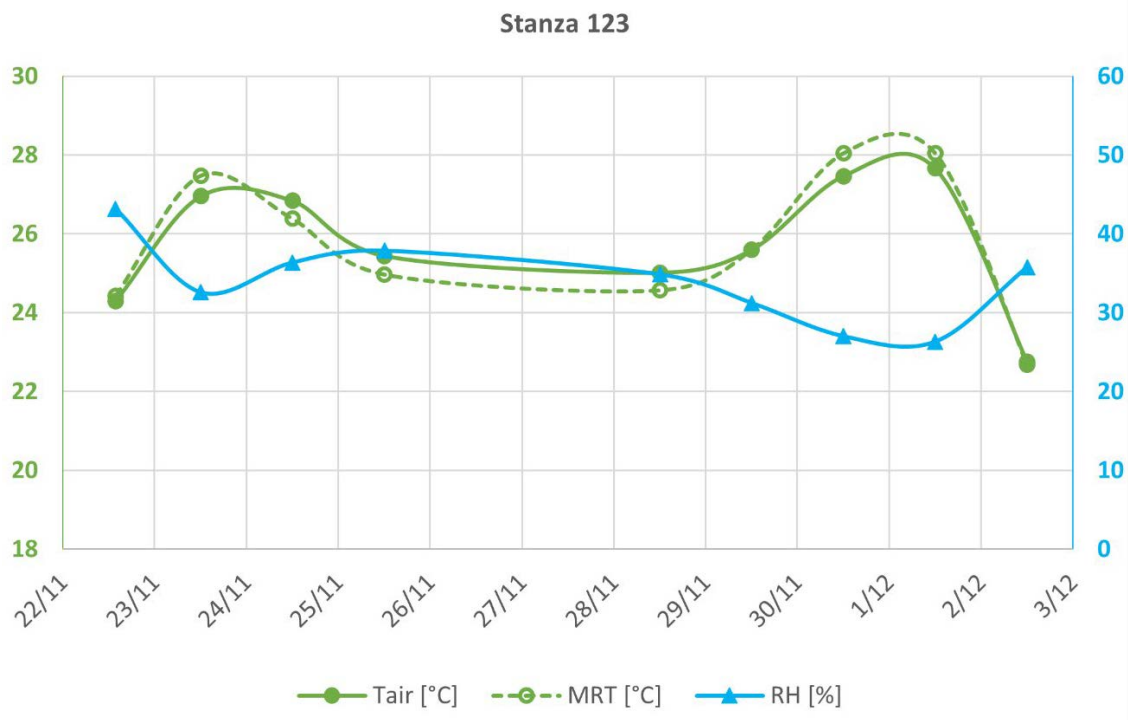


Figura 3. Tair, MRT e RH stanza 123

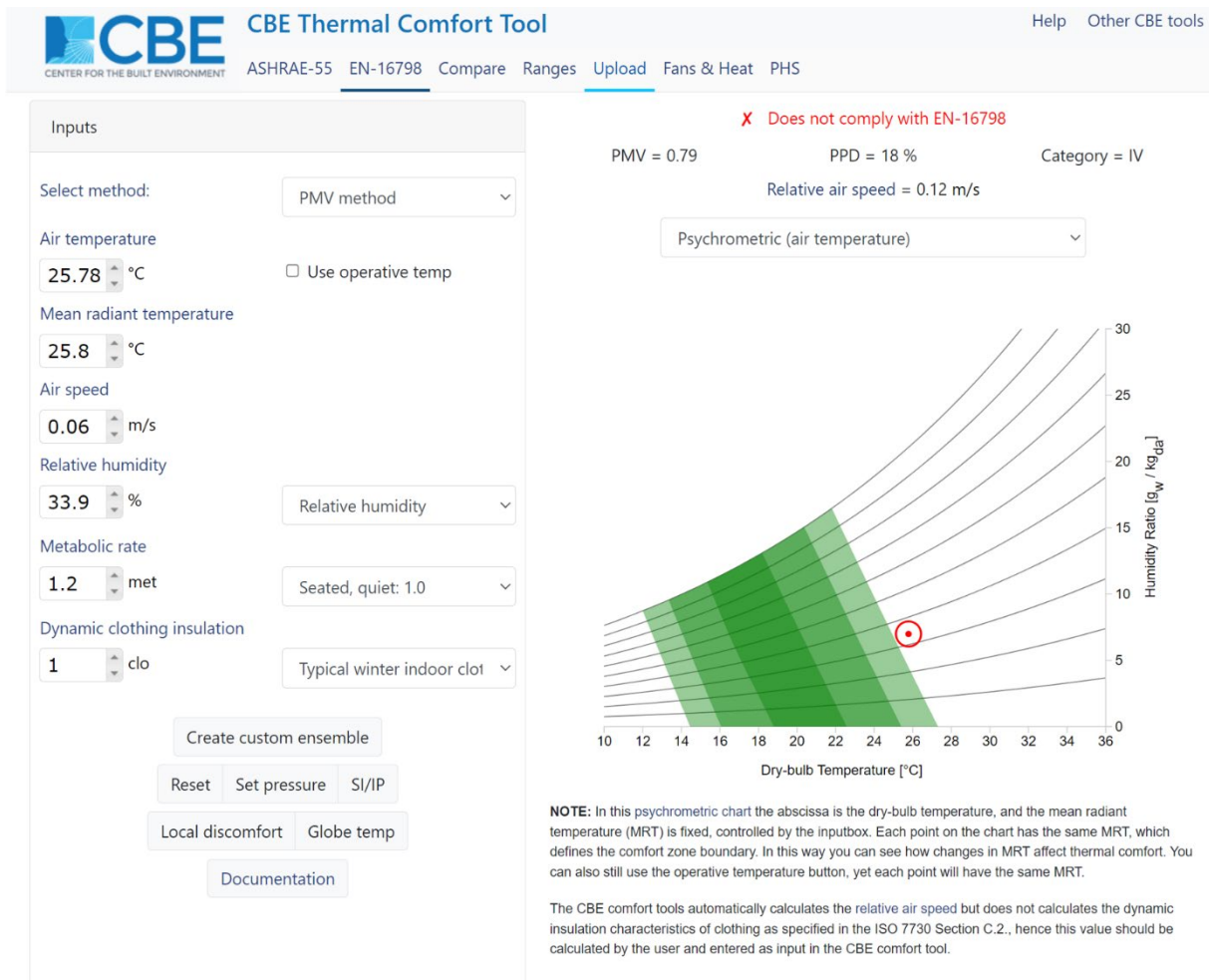


Figura 4. Riepilogo PMV e PPD stanza 123

Per l'ufficio 123, gli andamenti della temperatura dell'aria e della temperatura media radiante, mostrano una situazione di evidente sovrariscaldamento della stanza in esame, con una media di circa 25,8 °C e picchi di oltre 27 °C in alcune giornate con presenza contemporanea degli utenti. Importante, inoltre, sottolineare che tali valori sono raggiunti con i terminali scaldanti, sostanzialmente, sempre spenti, per cui sono riconducibili, essenzialmente, agli apporti solari e a quelli interni, dovuti alla presenza degli utenti e dei due pc nell'ufficio. L'umidità relativa si attesta intorno al valor medio del 34% ma raggiunge anche valori piuttosto bassi, al di sotto del 30% nei giorni corrispondenti ai maggiori rialzi termici. La velocità dell'aria e la concentrazione di CO₂ mostrano, invece, andamenti sempre compresi nei range di accettabilità, con valori medi, rispettivamente, di 0,06 m/s e di 459 ppm. Le condizioni di sovrariscaldamento sono, inoltre, ben evidenti se si considerano le condizioni di comfort termoigrometrico valutate mediante gli indici PMV e PPD: considerando i valori medi su tutto il periodo (Figura 4) con una temperatura a bulbo secco di circa 26 °C e un'umidità specifica di circa 8 g/kg, l'ambiente risulta non conforme alle prescrizioni della UNI EN 16798 con un PMV = 0,79 e un PPD=18%; considerando, invece, i valori degli indici a scala giornaliera, emergono 6 giorni su 10 con valori fuori range, a conferma di frequenti condizioni di riscaldamento eccessivo dell'ufficio esaminato.

Tabella 1. PMV e PPD stanza 123

Data	Thermohygrometric variables					Indexes			
	Air Temperature	MRT	RH	Air speed	Operative Temperature	met	clo	PMV	PPD
22/11/22	24,29	24,43	43,17	0,06	24,36	1,2	1	0,54	11
23/11/22	26,96	27,48	32,56	0,06	27,22	1,2	1	1,09	30,2
24/11/22	26,84	26,38	36,35	0,06	26,61	1,2	1	1	25,9
25/11/22	25,44	24,97	37,84	0,06	25,21	1,2	1	0,69	15,1
28/11/22	25,01	24,57	34,84	0,06	24,79	1,2	1	0,58	12
29/11/22	25,59	25,60	31,21	0,07	25,60	1,2	1	0,71	15,7
30/11/22	27,46	28,04	27	0,07	27,75	1,2	1	1,15	33
01/12/22	27,66	28,05	26,3	0,07	27,86	1,2	1	1,17	34
02/12/22	22,75	22,68	35,75	0,06	22,72	1,2	1	0,13	5,3

La stanza 123 rappresenta un esempio significativo di ciò che accade nella quasi totalità degli uffici con esposizione sud (**vedi** Allegato_LA 1.13_Report esteso), mentre situazioni diverse si registrano negli ambienti con esposizione nord. Il grafico di confronto diretto con l'ufficio 127 evidenzia bene le differenti condizioni termoisometriche riscontrate (Figura 5). Il confronto fra gli uffici, sostanzialmente, con posizionamento quasi speculare e con differente esposizione, mostra un evidente sovrariscaldamento nella stanza 123, con una differenza di circa 4 °C tra le temperature interne, e dell'11% di RH. Tali discrepanze si riflettono in termini di temperatura operativa, relativa al periodo considerato (tra 22/11/2022 e 7/12/2022), la quale per la stanza 123, risulta, chiaramente, al di fuori dei range di accettabilità.

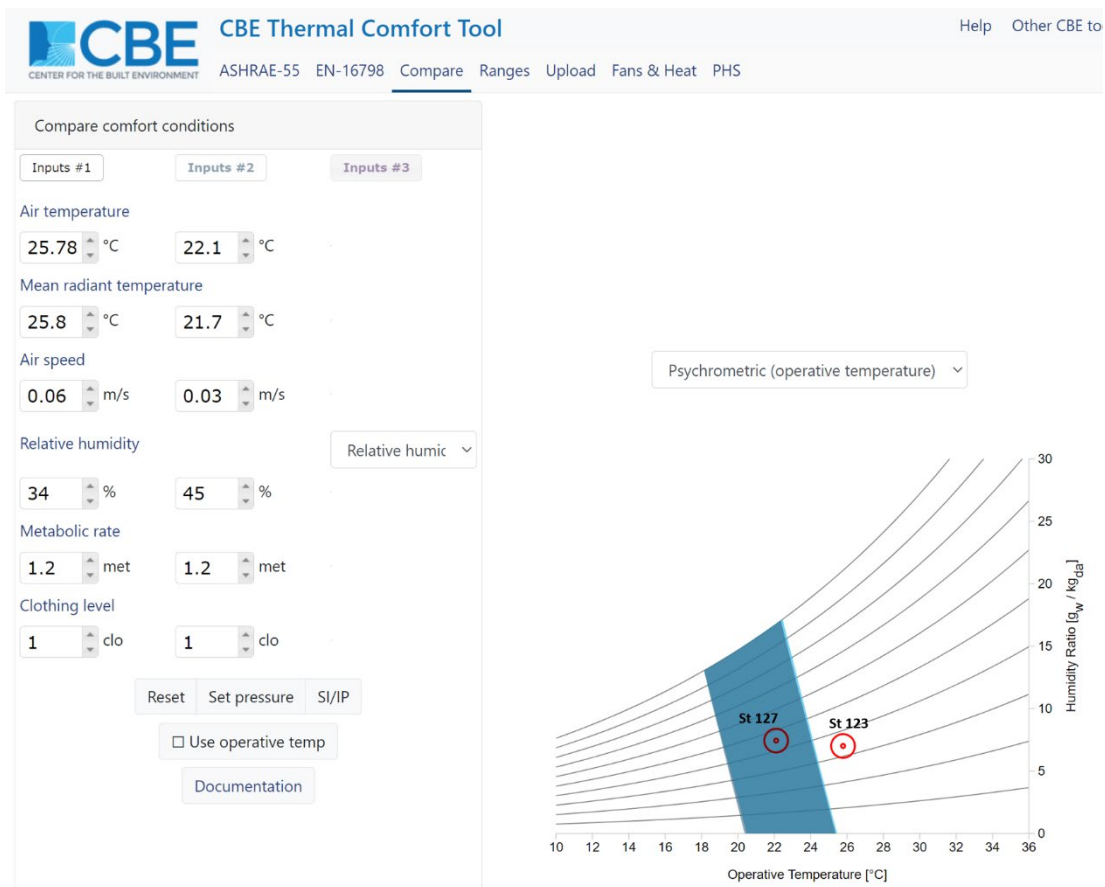


Figura 5. Confronto T operativa tra uffici con differente esposizione

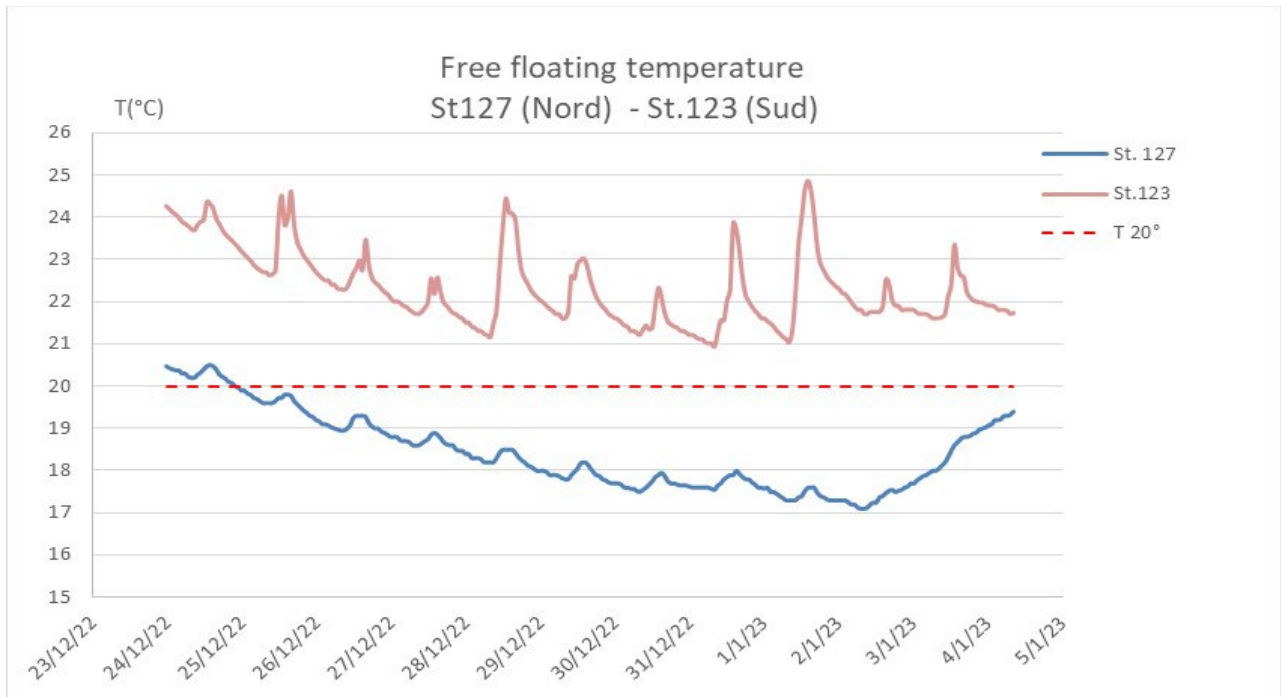


Figura 6. Confronto della Tair negli uffici 123 e 127 ad impianto spento (free floating)

L'andamento di free-floating della temperatura interna di due uffici con orientamento speculare, la stanza 123 a sud e la stanza 127 a nord, durante la chiusura del Centro Ricerche Casaccia nel periodo delle feste natalizie conferma una situazione di non omogeneità tra gli uffici con opposta esposizione, anche nei periodi di impianto spento. A partire dal 24 dicembre 2022, in assenza di occupanti e con impianto di riscaldamento spento, i due uffici mostrano un progressivo trend di riduzione delle temperature interne, ma con differenze piuttosto evidenti. La stanza 127, esposta a nord, mostra una riduzione quasi costante della temperatura dai 20,5 °C registrati il 24 dicembre 2022 ai circa 17 °C di temperatura minima del 3 gennaio 2023. Nella stanza 123 invece, che espone verso il lato sud, si parte da una temperatura di circa 24,3 °C per arrivare a circa 21 °C di minima, ma l'abbassamento della temperatura è intervallato da picchi di risalita nelle ore centrali della giornata, dovuti agli apporti solari che mantengono, comunque, l'andamento complessivo della temperatura sempre al di sopra dei 20 °C. Complessivamente nei 10 giorni di chiusura, si registra una differenza media di circa 4 °C tra i due ambienti.

Le differenze, in termini di condizioni termoigrometriche nei diversi ambienti monitorati, sono sintetizzate nelle tabelle seguenti:

Tabella 2. Riepilogo dei dati in input e output dal tool del CBE – stagione di riscaldamento – prima indagine

	Esp.	Air temp. [°C]	MRT [°C]	Air speed [m/s]	Relative Humidity [%]	Metabolic rate [met]	Dynamic clothing insulation [clo]	Complies with EN 16798	Category
Stanza 123	SUD	25.78	25.8	0.06	33.9	1.2	1	NO	IV
Stanza 113	SUD	25.9	26.5	0.1	30.6	1.2	1	NO	IV
Stanza 110	SUD	25.31	25.14	0.065	35.03	1.2	1	YES	III
Stanza 127	NORD	22.10	21.7	0.03	45	1.2	1	YES	I
Stanza 106	NORD	24.69	24.3	0.071	37.11	1.2	1	YES	III
Stanza 103	NORD	24.2	23.9	0.03	36.9	1.2	1	YES	II
Stanza 104	NORD	25	24.8	0.1	31.6	1.2	1	YES	III

Tabella 3. Riepilogo dei dati in input e output dal tool del CBE – stagione di riscaldamento – seconda indagine

	Esp.	Air temp. [°C]	MRT [°C]	Air speed [m/s]	Relative Humidity [%]	Metabolic rate [met]	Dynamic clothing insulation [clo]	Complies with EN 16798	Category
Stanza 107	NORD	24.5	24.2	0.1	31.4	1.2	1	YES	II
Stanza 119	SUD	23.4	23.2	0.03	35.2	1.2	1	YES	II
Stanza 129	NORD	21.9	21.5	0.06	45.8	1.2	1	YES	I
Stanza 131	NORD	22.6	22.3	0.07	30.8	1.2	1	YES	I
Stanza 124	SUD	21.8	22.1	0.16	50.3	1.2	1	YES	I
Stanza 125	NORD	21.7	21.5	0.03	48.4	1.2	1	YES	I
Stanza 130	NORD	23.4	23.1	0.06	32.4	1.2	1	YES	II

Tabella 4. Riepilogo dei dati in input e output dal tool del CBE –metodi adattivi

	Esp.	Air temp. [°C]	MRT [°C]	Air speed [m/s]	Outdoor running mean outdoor temperature	Adaptive method	Complies with EN 16798
Stanza 127	NORD	19.34	19.34	<0.6	18.72	YES	NO
Stanza 122	SUD	22.74	22.03	<0.6	18.72	YES	YES

È importante sottolineare che, nelle tabelle di riepilogo, è riportata la conformità alla norma UNI 16798 in termini di valori medi riscontrati nel periodo di monitoraggio dei singoli ambienti. Tuttavia, in molti uffici monitorati, risultati mediamente conformi, sono state riscontrate situazioni di discomfort termico su scala giornaliera o oraria. Questo aspetto dimostra che non si può prescindere da un'indagine di approfondimento alle differenti scale temporali ed ai diversi livelli di aggregazione dei dati, come quella condotta nella presente linea di ricerca, per avere un quadro completo delle condizioni di comfort indoor ed individuare tutte le anomalie termoigrometriche che caratterizzano gli uffici esaminati.

7.4 Conclusioni

L'estesa attività di monitoraggio strumentale, condotta nel periodo compreso da novembre 2022 a maggio 2023, ha fornito un quadro esaustivo della situazione microclimatica dell'edificio oggetto di studio, consentendo di evidenziare differenti criticità dal punto di vista termoigrometrico, per i diversi ambienti esaminati. L'analisi dei risultati, infatti, ha mostrato due evidenti tendenze per le diverse esposizioni dell'edificio: in particolare, gli ambienti con esposizione sud hanno, ripetutamente, manifestato fenomeni di sovrariscaldamento, dovuti, in larga parte, alla radiazione solare incidente sulla facciata dell'edificio. Viceversa, la temperatura registrata negli ambienti con esposizione nord è sempre stata inferiore rispetto agli ambienti omologhi con orientamento speculare. Inoltre, occorre sottolineare, che tale differenza di temperatura, nella maggioranza dei casi, si è verificata con terminali di riscaldamento accesi nei soli uffici con esposizione nord.

Gli indicatori di comfort termoigrometrico, verificati in base alla normativa tecnica UNI EN 16798, hanno confermato le criticità riscontrate a seguito del monitoraggio. Infatti, le stanze con esposizione sud risultano caratterizzate da indici di comfort (PMV e PPD) spesso al di fuori dei range di accettabilità, mentre negli ambienti con esposizione nord non si riscontrano criticità. L'analisi in free-floating, condotta su stanze omologhe ma con simmetrica esposizione, durante i periodi di chiusura centro, ha fornito ulteriore conferma della disomogeneità termica riscontrata (differenze medie di 4°C).

In conclusione, un'evidente asimmetria termoigrometrica è stata riscontrata durante tutto il periodo di monitoraggio, mentre la concentrazione di CO₂ e la velocità dell'aria non hanno mai mostrato valori critici, a conferma di un sufficiente tasso di ventilazione degli ambienti esaminati.

Nella seconda parte delle attività, si porterà a termine la campagna di misura nella stagione di raffrescamento e, in analogia a quanto effettuato in precedenza, verranno condotte le analisi delle grandezze termoigrometriche e di qualità dell'aria degli uffici. Inoltre, si realizzerà il modello di simulazione dell'edificio in esame al fine di confrontare i risultati numerici basati sul metodo orario, implementato nella norma UNI EN ISO 52016, con quelli sperimentali, e analizzare le implicazioni dal punto di vista energetico.

7.5 Riferimenti bibliografici

1. EU Directive 2018/844 (Energy Performance Building Directive) <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0844> (accessed on 11/09/2023)
2. M. Zinzi, F. Pagliaro, S. Agnoli, F. Bisegna D. Iatauro, "On the Built-Environment Quality in Nearly Zero-Energy Renovated Schools: Assessment and Impact of Passive Strategies", *Energies journal MDPI* 2021 <https://doi.org/10.3390/en14102799>
3. M. Zinzi, F. Pagliaro, S. Agnoli, F. Bisegna D. Iatauro, "Assessing the overheating risks in Italian existing school buildings renovated with nZEB targets" *Energy Procedia*, 2017 <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.192>
4. F. Tartarini, S. Schiavon, T. Cheung, T. Hoyt "CBE Thermal Comfort Tool: Online tool for thermal comfort calculations and visualizations", *SoftwareX*, volume 12 (2020), 100563, <https://doi.org/10.1016/j.softx.2020.100563>

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

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

9 Pubblicazioni scientifiche

Elenco delle pubblicazioni scientifiche eventualmente risultanti dall'attività svolta:

Sono in fase di stesura articoli per conferenze e/o riviste, tra i quali:

53 Convegno Internazionale AICARR 12-14 Marzo 2024 Milano: presentazione articolo "Thermal comfort monitoring in office buildings: a case study" ENEA *D. Iatauro, C. Lavinia, I. Nardi, R. Sannino*

La conclusione dei monitoraggi, tutt'ora in corso, nonché l'analisi dei risultati definitivi dell'attività prevista nel triennio consentirà ulteriori pubblicazioni.

10 Eventi di disseminazione

Lista degli eventi di disseminazione eventualmente scaturiti dall'attività svolta.

Relativamente ai risultati della I fase di attività (LA 1.13) è in corso la stesura di articoli/contributi per eventuale partecipazione a conferenze, workshop o altri eventi di dissemination dei risultati raggiunti.