

# **ANALISI SPERIMENTALE DI UNA APPLICAZIONE DI CLIMATIZZAZIONE AMBIENTALE CON PANNELLI RADIANTI**

Paolo Bondi, Francesco Piccininni, Pietro Stefanizzi

Dipartimento di Fisica Tecnica, Politecnico di Bari

## **SOMMARIO**

Si riportano i primi risultati di una campagna sperimentale volta al monitoraggio ed ottimizzazione impiantistica di un sistema di riscaldamento/raffrescamento a soffitto radiante. Tanto nel regime di riscaldamento quanto in quello di raffrescamento, l'impianto monitorato ha assicurato condizioni di comfort soddisfacenti all'interno di un monolocale uso ufficio. La prestazione ottenuta se da un lato conferma le considerazioni positive riportate in letteratura per questo tipo di impianto di climatizzazione, dall'altro ha messo in evidenza l'esigenza di correzioni impiantistiche volte a realizzare una più corretta regolazione della temperatura ed umidità dell'aria ambiente insieme ad un soddisfacente ricambio di aria esterna.

## **INTRODUZIONE**

L'utilizzo di pannelli radianti in forma di controsoffitto, alimentati con acqua calda o refrigerata è una soluzione impiantistica per la climatizzazione degli ambienti abitati sempre più diffusa negli ultimi anni.

Nelle realizzazioni esistenti e descritte ampiamente in letteratura, i pannelli radianti sono accoppiati ad un sistema di ventilazione a dislocazione, che provvede alla regolazione dell'umidità dell'aria ed alla sua corretta distribuzione nell'ambiente assicurando un adeguato tasso di ricambio con aria esterna.

Queste soluzioni impiantistiche si sono dimostrate più efficienti rispetto ad impianti di condizionamento a tutta aria, sia dal punto di vista economico [1, 2, 3] sia da quello del benessere realizzato nell'ambiente [4].

In questo lavoro si analizza il funzionamento di un sistema di riscaldamento/raffrescamento a soffitto radiante, alimentato con acqua calda/refrigerata per la climatizzazione di un monolocale.

L'impianto è stato monitorato in una fase iniziale di messa a punto, con configurazione incompleta per quanto riguarda il sistema di regolazione di temperatura ed umidità ambiente.

## **LA CLIMATIZZAZIONE CON SOFFITTI RADIANTI**

La sola presenza di una superficie fredda non è in grado di realizzare la climatizzazione dell'ambiente in condizioni estive, per il problema del limite di rugiada legato al contenuto di umidità dell'aria e per quello della necessità di un'adeguata portata di aria di ricambio.

L'utilizzo più diffuso dei soffitti radianti in regime estivo è in combinazione con un sistema di ventilazione a dislocazione

[5]. Una portata di aria fresca è movimentata a bassa velocità a livello del pavimento. Il riscaldamento della stessa, provocato dagli apporti di calore, ne provoca la salita in alto verso il soffitto freddo e le bocche di espulsione, con conseguente trascinarsi degli inquinanti diffusi nell'ambiente.

Un importante limite di funzionamento dei soffitti radianti in regime estivo è dato dal valore della temperatura di rugiada dell'aria che lambisce la superficie fredda. La temperatura di mandata dell'acqua refrigerata va mantenuta almeno 1 K sopra il limite di rugiada dell'aria ambiente [6]. La temperatura superficiale viene di solito mantenuta sui 16-19 °C [7] evitando di realizzare nell'ambiente asimmetrie della temperatura radiante superiori a 14 °C in regime di raffrescamento [8].

I metodi di calcolo utilizzati per il dimensionamento dei pannelli radianti sono diversi. Si va dal metodo ASHRAE [9] ad algoritmi complessi implementati al computer tipo RADCOOL [10] o quello disponibile in EnergyPlus, complesso codice di simulazione numerica del sistema edificio-impianto [11].

In [12] si illustra un metodo di calcolo per il dimensionamento dei soffitti radianti per il raffrescamento estivo che valuta separatamente i contributi di origine radiativa, immediatamente trasformati in carico termico per l'acqua refrigerante fluente nel pannello data la scarsa capacità di accumulo di questo, e gli apporti di natura convettiva e latente trasmessi dall'aria ambiente alla superficie del pannello per scambio termico liminare.

## **SPERIMENTAZIONE**

L'impianto monitorato è situato in provincia di Bari ed

utilizzato per la climatizzazione di un monolocale adibito ad ufficio. Il locale, di superficie in pianta  $28 \text{ m}^2$  e volume  $98 \text{ m}^3$  circa, è ricavato in un vecchio edificio con muratura portante in pietra e volta a botte. Esso si trova al primo piano, è circondato da ambienti non climatizzati da 5 lati, l'unica parete esterna presenta una porta-finestra di circa  $2 \text{ m}^2$ . Le pareti presentano uno spessore di circa 90 cm.

La collocazione del locale è tale da rendere trascurabile l'apporto gratuito di radiazione solare. Gli apporti gratuiti presenti sono: illuminazione artificiale, apparecchiature elettriche e persone.

Il 70% circa del soffitto è occupato da una lastra radiante che è in pratica il risultato dell'assemblaggio di 9 pannelli radianti di dimensioni  $1,5 \times 1,2 \text{ m}$  ciascuno.

I pannelli sono realizzati annegando una serpentina in polietilene (diametro esterno 6 mm) tra una lastra di cartongesso ed una di polistirolo.

Lo schema idraulico è rilevabile dalla Fig. 1.

Il fluido termovettore è acqua riscaldata o refrigerata da una pompa di calore a compressione di vapore R22.

Come si rileva dalla figura l'attuale configurazione dell'impianto non prevede un circuito secondario di regolazione della portata mandata ai pannelli. In questa prima fase di messa a punto dell'impianto durante le misure effettuate e qui parzialmente riportate, la regolazione è stata demandata ad una sonda termostatica ambiente che interviene sul funzionamento del compressore della pompa di calore.

La portata di acqua circolante è stata misurata con un flussimetro. Le temperature sono state misurate con termocoppie rame-costantana (T).

Due termocoppie rilevano la temperatura superficiale dei tubi di rame di mandata e ritorno dell'acqua alla pompa di calore, in prossimità dell'innesto ai collettori di distribuzione dell'acqua ai serpentine.

Le altre termocoppie sono state utilizzate per misurare la temperatura della superficie interna della parete esterna, del pavimento, della superficie inferiore del pannello a soffitto, dell'aria esterna e dell'aria dell'ambiente interno a diverse altezze dal pavimento: 10, 60, 110 e 170 cm. Le termocoppie in aria sono state schermate dall'irraggiamento diretto con cilindretti di lamierino lucido.

Tutte le termocoppie sono state lette e registrate ogni 10 s da un computer attraverso l'acquisitore dati AGILENT 34970A.

Le condizioni di benessere realizzate sono state monitorate da una centralina microclimatica LSI tipo BABUC/A collocata al centro del locale ad 1,5 m dal pavimento (Fig. 2). I dati acquisiti ogni minuto sono stati elaborati successivamente con un software apposito [13] che calcola i parametri definiti dalla normativa sul benessere negli ambienti moderati [8].

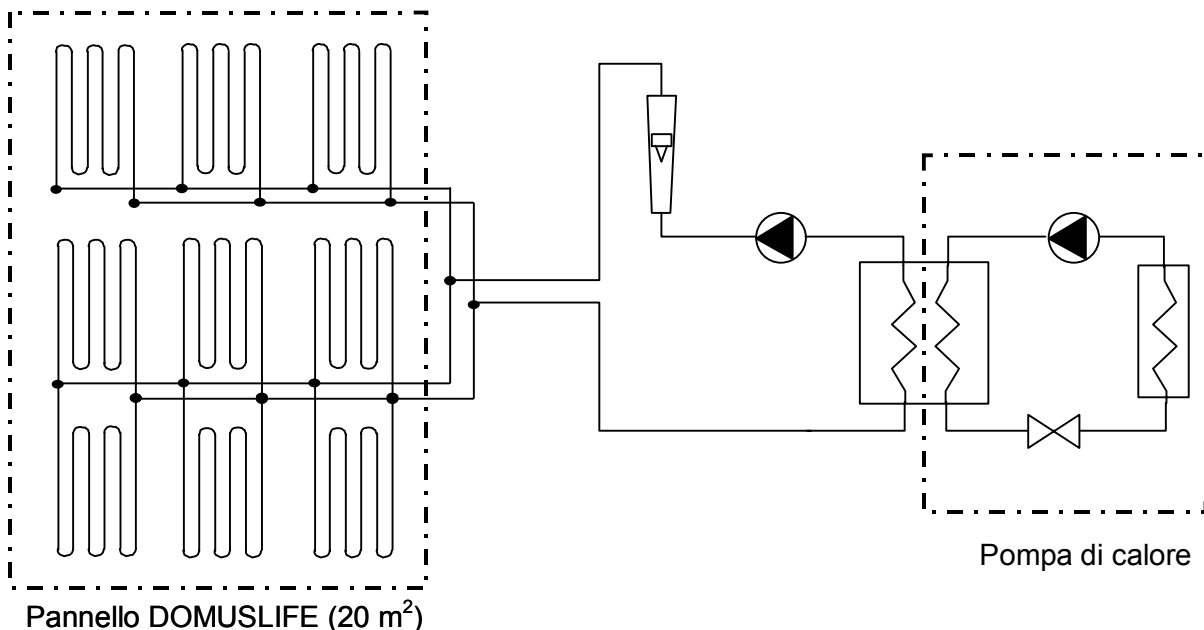


Fig. 1 – Schema dell'impianto monitorato.



Fig. 2 – Termocoppie e centralina microclimatica.

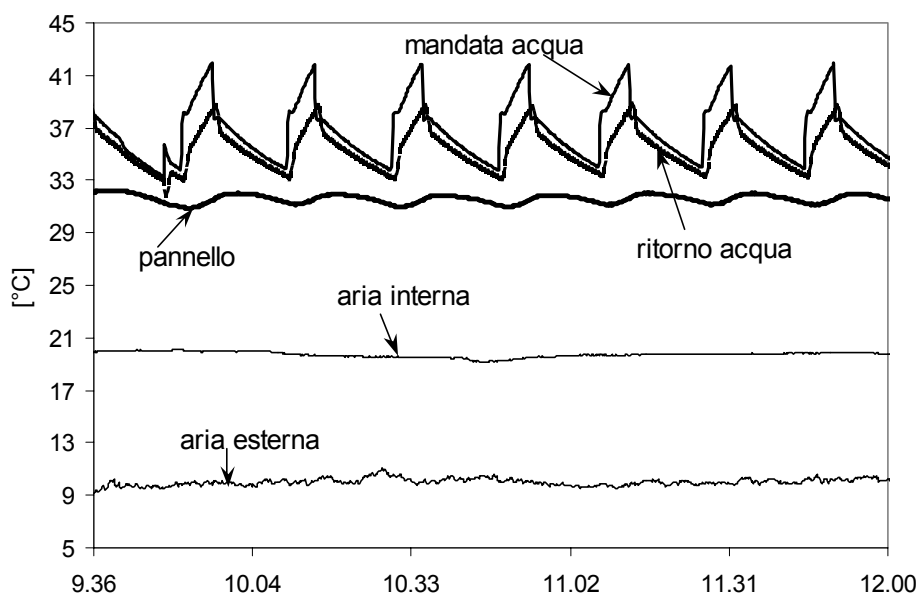


Fig. 3 – Temperature in regime di riscaldamento.

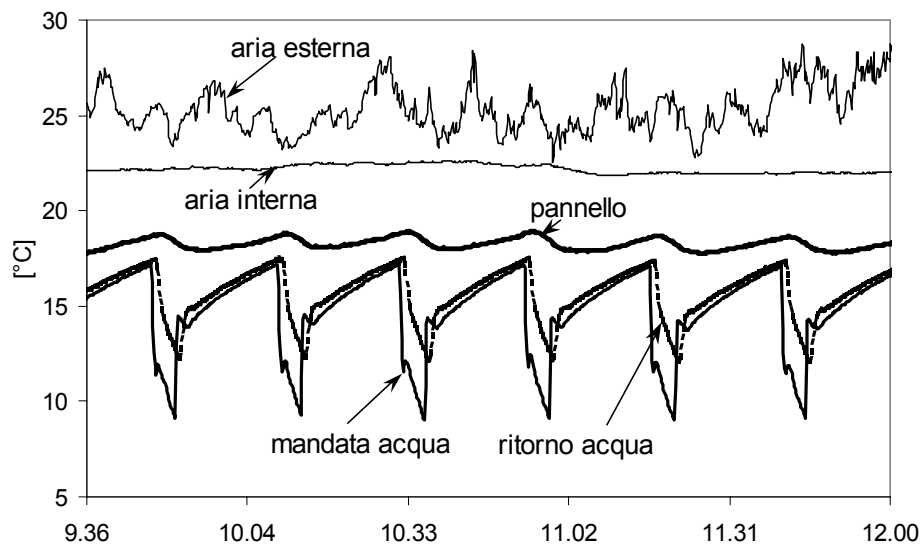


Fig. 4 – Temperature in regime di raffreddamento.

	Riscaldamento (Fig. 2)		Raffreddamento (Fig. 3)	
	valore medio	deviazione standard	valore medio	deviazione standard
Temperatura operativa [°C]	19,9	0,2	22,2	0,2
Umidità relativa [%]	40,3	1,4	54,1	2,8
PPD [%]	26,5	1,8	17,5	2,0
PMV [-]	-1,0	0,1	-0,8	0,1

Tab. 1 – Parametri termoigrometrici nelle condizioni sperimentali riportate nelle figure 2 e 3.

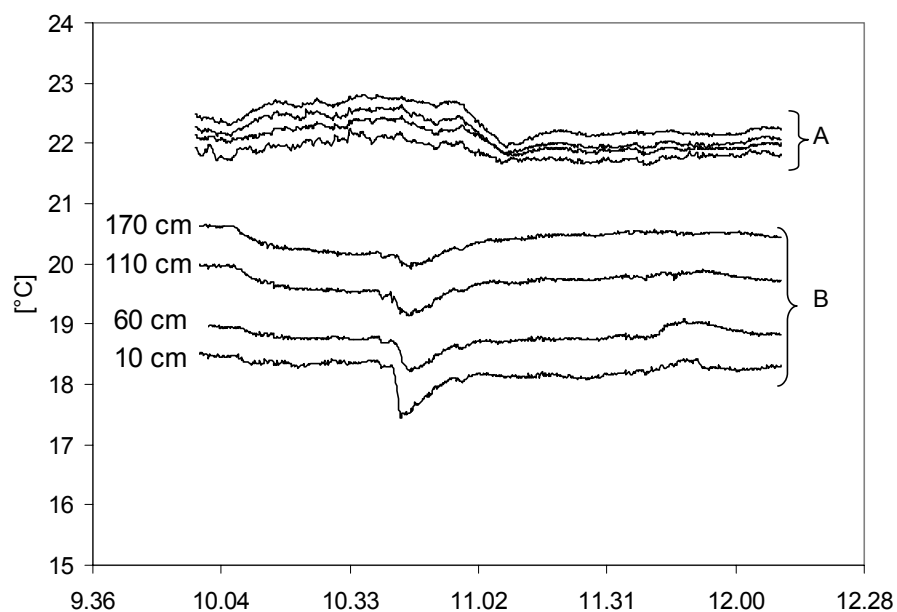


Fig. 5 – Temperatura dell'aria interna al centro del locale a differenti distanze dal pavimento. Curve A in regime di raffreddamento e curve B in regime di riscaldamento.

## RISULTATI E CONSIDERAZIONI

In Fig. 3 e 5 sono riportate le temperature misurate la mattina di un giorno in regime di riscaldamento. Nella tab. 1 si possono invece rilevare i parametri caratteristici del benessere secondo la UNI EN ISO 7730 nello stesso intervallo di tempo cui si riferiscono le figure citate.

Le misure di cui qui si riferisce sono state condotte per una prima grossolana caratterizzazione del funzionamento dell'impianto. I dati qui riportati si riferiscono alla mattina del secondo giorno di accensione dell'impianto, quando ancora la struttura dell'edificio non aveva raggiunto un regime termico costante a causa della sua elevata inerzia (massa superficiale delle pareti superiore a  $1000 \text{ kg/m}^2$ ).

Per il calcolo degli indici di benessere (tab. 1) si è fatta l'ipotesi di un'attività sedentaria (1,2 met) svolta con abbigliamento di resistenza termica di 1 clo.

Alla luce dei risultati ottenuti si può osservare che, pur nelle condizioni di regolazione non ottimale (on-off), l'impianto ha assicurato nell'ambiente le seguenti condizioni di benessere:

- la temperatura operativa è stata dell'ordine di  $20^\circ\text{C}$ . Questo valore è stato influenzato dalla bassa temperatura della struttura muraria del locale non ancora a regime;
- la differenza verticale di temperatura dell'aria tra 1,1 m e 0,1 m dal pavimento (livello testa e caviglia) è risultata minore di  $3^\circ\text{C}$ ;
- l'asimmetria della temperatura radiante dovuta al soffitto caldo è stata minore di  $2^\circ\text{C}$ . Questa grandezza è stata calcolata rispetto ad un piccolo elemento piano orizzontale posto a 0,6 m dal pavimento, secondo l'algoritmo riportato in [14];
- l'umidità relativa è risultata del 40% circa, pur non essendoci un intervento diretto dell'impianto su tale variabile;
- il PMV negativo (-1), corrispondente ad una valutazione dei soggetti "leggermente freddo" è dovuto alla temperatura di pareti+pavimento non ancora a regime, come prima detto;
- la percentuale di insoddisfatti (PPD) risulta perciò un po' alta come conseguenza delle non raggiunte condizioni ottimali di regime termico della struttura.

In Fig. 4 e 5 sono riportate le temperature misurate la mattina di un giorno in regime di raffrescamento. I parametri caratteristici del benessere secondo la UNI EN ISO 7730 sono invece riportati nella tab. 1.

Per il calcolo degli indici di benessere si è fatta l'ipotesi di un'attività sedentaria (1,2 met) svolta con abbigliamento leggero di resistenza termica di 0,7 clo.

La regolazione dell'impianto nel caso di funzionamento estivo va basata sul controllo della temperatura del soffitto freddo, evitando che raggiunga il valore della temperatura di rugiada dell'aria ambiente. Nel periodo cui si riferiscono le misure qui riportate l'impianto non era ancora dotato di una

sonda psicrometrica, per cui la temperatura di mandata dell'acqua è stata stimata a priori con un calcolo preventivo della temperatura di rugiada dell'ambiente ( $12^\circ\text{C}$ ).

Alla luce dei risultati ottenuti si può concludere che:

- la temperatura operativa nell'ambiente è risultata molto prossima al valore minimo di  $23^\circ\text{C}$  suggerito dalla normativa [8];
- la differenza verticale di temperatura tra 1,1 m e 0,1 m dal pavimento è dell'ordine di  $1^\circ\text{C}$ , decisamente inferiore al limite tollerabile di  $3^\circ\text{C}$ ;
- l'umidità relativa dell'aria ambiente nell'intervallo di misura è risultata di circa 54% , valore all'interno dei valori consigliati (fra 30 e 70%);
- il valore di PMV (-0,8) con l'associato PPD (17,5%) denota una sensazione di "fresco" nel locale legata all'ampia superficie, relativamente fredda, del soffitto radiante.

## CONCLUSIONI

Si sono riportati i risultati di una sperimentazione che ha monitorato un impianto di riscaldamento/raffrescamento a soffitto radiante alimentato ad acqua. L'impianto, a servizio di un locale uso ufficio di notevole inerzia termica strutturale, non era nella sua completa e definitiva configurazione dal punto di vista della regolazione. Al momento delle misure mancava una regolazione fine della portata/temperatura dell'acqua mandata ai pannelli radianti e nel regime di raffrescamento mancava una sonda psicrometrica, indispensabile per regolare la temperatura della superficie fredda ad un livello termico sufficientemente superiore alla temperatura di rugiada dell'aria ambiente.

Le misure di temperatura e benessere termico realizzate hanno comunque consentito di effettuare una prima grossolana caratterizzazione del funzionamento dell'impianto.

I risultati ottenuti lasciano intravedere una prestazione dell'impianto a soffitto radiante molto efficace, sia in regime di riscaldamento invernale che di raffrescamento estivo.

L'analisi condotta ha permesso di mettere in evidenza l'importanza di alcuni interventi migliorativi necessari a livello di impianto. In particolare è risultato importante apportare una modifica del circuito idraulico di alimentazione dei pannelli prevedendo una regolazione della portata/temperatura dell'acqua inviata alle serpentine in funzione della potenza termica richiesta dall'ambiente climatizzato e della temperatura di rugiada dell'aria ambiente, attraverso una sonda psicrometrica (Fig. 6).

Altrettanto indispensabile risulta essere la presenza di un sistema di ventilazione a bassa velocità con una batteria fredda di deumidificazione incorporata.

## RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia la Ditta IDROTECNOCLIMA di Sannicandro di Bari per la collaborazione nella sperimentazione.

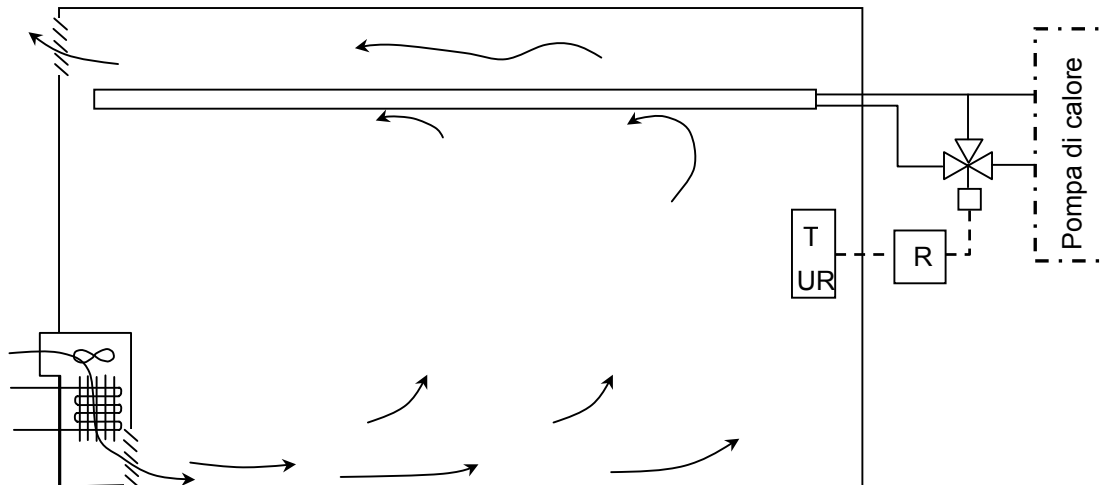


Fig. 6 – Modifica impiantistica proposta.

## BIBLIOGRAFIA

1. J. Niu, J.v.d. Kooi, H.v.d. Ree, Energy saving possibilities with cooled-ceiling systems, *Energy and Buildings*, Vol. 23, pp. 147-158, 1995.
2. C. Stetiu, Energy and peak power savings potential of radiant cooling systems in US commercial buildings, *Energy and Buildings*, Vol. 30, pp. 127-138, 1999.
3. A. Novoselac, J. Srebric, A critical review on the performance and design of combined cooled ceiling and displacement ventilation systems, *Energy and Buildings*, Vol. 34, pp. 497-509, 2002.
4. T. Imanari, T. Omori, K. Bogaki, Thermal comfort and energy consumption of the radiant ceiling panel system. Comparison with the conventional all-air system, *Energy and Buildings*, Vol. 30, pp. 167-175, 1999.
5. S. G. Hodder, D. L. Loveday, K. C. Parsons, A. H. Taki, Thermal comfort in chilled ceiling and displacement ventilation environments: vertical radiant temperature asymmetry effects, *Energy and Buildings*, Vol. 27, pp. 167-173, 1998.
6. B. W. Olesen, Control of floor heating and cooling systems, 7<sup>th</sup> REHVA World Congress - Clima 2000, Napoli, pp. 1-15, 2001.
7. D. L. Loveday, K. C. Parsons, A. H. Taki, S. G. Hodder, Displacement ventilation environments with chilled ceilings: thermal comfort design within the context of the BS EN ISO7730 versus adaptive debate, *Energy and Buildings*, Vol. 34, pp. 573-579, 2002.
8. UNI EN ISO 7730, Ambienti termici moderati: Determinazione degli indici PMV e PPD e specifica delle condizioni di benessere termico, Sett. 1997.
9. ASHRAE Handbook of Fundamentals, American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers, 1997.
10. C. Stetiu, Radiant cooling in US office buildings: Towards eliminating the perception of climate-imposed barriers, Ph. D. Thesis, University of California, Berkeley, 1998.
11. EnergyPlus v1.0.1, US Department of Energy, 2002.
12. S. P. Corgnati, G. V. Fracastoro e M. Perino, Un metodo di calcolo per il dimensionamento dei soffitti radianti per il raffrescamento estivo, *CDA*, n. 7, pp. 731-741, 2000.
13. Microclima v 5.01, Ambienti moderati, LSI spa, 1998.
14. ISO 7726, Thermal environments – Instruments and methods for measuring physical quantities, 1985.