

Perugia, Italy. April 4-5, 2014

## *14<sup>th</sup> CIRIAF National Congress*

*Energy, Environment and Sustainable Development*

### **Evaluation through adaptive model (ATC) in the levels of thermal comfort in summer in offices in Mediterranean locations.**

F. C. Campione<sup>1</sup>, A. Milone<sup>2\*</sup>, D. Milone<sup>2</sup>, S. Pitruzzella<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Scuola Politecnica - Università di Palermo, Viale delle Scienze ed. 14, Palermo 90128, Italy

<sup>2</sup> DEIM - Dipartimento Di Energia, Ingegneria Dell'informazione e Modelli Matematici, Università di Palermo, Palermo 90128, Italy

\* [angelo.milone@unipa.it](mailto:angelo.milone@unipa.it)

---

**Abstract:** The design of the building-plant system in the case of office buildings has rarely considered the adaptive model of comfort almost always limited to the control of temperature and humidity and only in some cases of PMV and PPD. Specifically when the building interacts with a climate characterized by high values of external temperature and humidity for long periods, and with high solar radiation in the presence of large glazed areas, it is crucial to take into account relevant aspects of the principle of thermal adaptation. The long stay of the occupants in an air-conditioned environment leads, at the request of colder temperatures very distant from those indicated by the criteria of acceptability of an environment from those occurring at the same moment outside the building, characterizing in this way, a greatly exceeding to negative values with respect to static model of comfort. By using of the adaptive model, the occupant of a building is no longer simply understood as a passive subject, as it appeared in the static model of Fanger, but as an active agent that interacts at all levels with the environment in which stays. This article shows an experimental study, which shows that the results of this model defines comfort temperatures greater and more flexible than the model of Fanger, even with significant energy savings on air conditioning in summer.

**Keywords:** PMV-PPD, Thermal Comfort, Adaptive Model.

---

## 1. Introduzione

Lo studio del comfort termoigrometrico attraverso l'impiego del modello adattivo è stato sempre impiegato per ambienti free-floating mentre quasi mai è stato impiegato per ambienti dotati di impianto HVAC [1-2].

In questo articolo sono evidenziate le possibili opportunità previsionali del modello adattivo di comfort termico, durante le ore lavorative, negli edifici per uffici dotati di aria condizionata, indagati durante il periodo estivo, dove molto frequentemente si osservano fenomeni di over-cooling con valori negativi di PMV, per lunghi tempi di permanenza del soggetto [3].

Peraltro, diversi studi mettono in diretta correlazione il comfort termoigrometrico e la soddisfazione del soggetto con la produttività lavorativa in ambiente ufficio [4]

La variabile tempo, predominante nella permanenza in ambienti lavorativi, infatti, rappresenta un fattore molto importante nell'adattamento fisiologico di un soggetto che interagisce con il microclima di un ambiente confinato [5]. Tale variabile, interviene su scale temporali differenti e dettate dalle condizioni di fruizione tra il soggetto e l'ambiente climatizzato; attraverso i modelli comportamentali determinerà la risposta termica del soggetto. Tali scale di interazione sono riportate nella tabella 1 che segue.

**Tabella 1.** Modelli termoigrometrici – comportamentali

Periodo	Azione	Risposta
Istantanea	Transizione repentina da ambiente caldo esterno ad ambiente climatizzato (Solitamente con $\Delta T > 6^{\circ}\text{C}$ ).	Disagio improvviso. Brividi di freddo.
24 h	Lenta mutazione delle condizioni in un giorno.	Abbigliamento addizionale per il tempo di permanenza.
Day to day	Insoddisfazione delle condizioni microclimatiche.	Cambio abbigliamento
Stagione		Mutate condizioni di abbigliamento e comportamentali

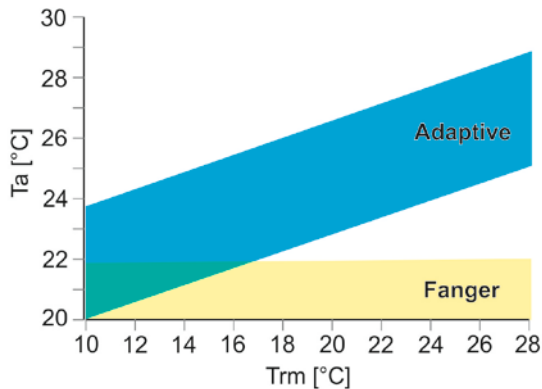
## 2. Metodologia

Le indagini sono state effettuate con misurazioni strumentali, attraverso la somministrazione di un questionario [6], e si sono svolte in tre giorni lavorativi consecutivi del mese di luglio, in prossimità dei massimi valori annuali di temperatura esterna. I valori di Clo e Met, necessari per il calcolo del valore di PMV sono stati fissati come abbigliamento "medio" del periodo estivo e corrispondente al reale abbigliamento dei soggetti utilizzati e con attività sedentaria da ufficio. Per le misurazioni strumentali è stato utilizzato un multi acquisitore Babuc – datalogger con il quale sono state acquisite le grandezze ambientali microclimatiche necessarie per l'elaborazione dei valori di PMV e PPD, nonché per la valutazione della corrispondenza dei valori di temperatura  $T_a$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] e  $T_{mr}$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] all'interno dei ranges di accettabilità [7], che si riportano nella figura 1 che segue.

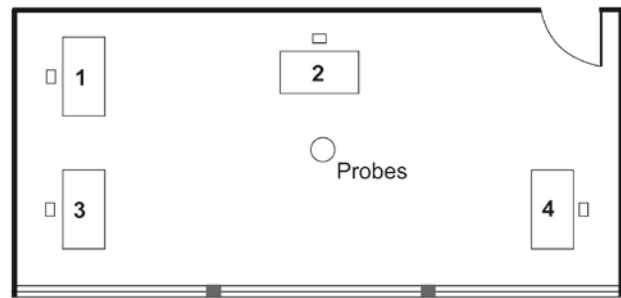
All'interno di un edificio per uffici dotato di impianto HCVAC di tipo centralizzato, è stato individuato un ambiente di forma rettangolare e con dimensioni m 11,50\*5,40 ed un'altezza netta di m 3,20; con un volume climatizzato di circa 200 m<sup>3</sup>; in tale ambiente è presente una superficie vetrata che occupa tutta la parete esposta a sud-sud ovest sul lato lungo, e quattro postazioni di lavoro per altrettanti occupanti.

L'impianto di condizionamento presente nell'edificio è del tipo misto ad aria primaria e fan-coils, quest'ultimi dotati di sistema di controllo, tramite termostato, della velocità e della temperatura. Il controllo centralizzato fissa il periodo giornaliero e settimanale di accensione e spegnimento su cui l'utente non può agire. L'impianto viene acceso automaticamente per default alle ore 06:00 AM e rimane in funzione continuativa per le 12 ore successive per poi spegnersi.

**Figura 1.** Range di comfort per i modelli di comfort adattivo e Fanger



**Figura 2.** Schema concettuale dell'ambiente studiato



Nella figura 2 è riportata una pianta con schema concettuale della disposizione delle postazioni segnate con i numeri da 1 a 4, e del posizionamento del multiacquisitore e delle sonde per la misurazione delle grandezze termoigrometriche durante il test. Gli altri arredi presenti non sono stati indicati.

L'indagine è stata svolta con soggetti che non occupano quotidianamente l'ufficio, ma a soggetti diversi ai quali sono stati somministrati i questionari per osservarne le modalità di interazione con l'impianto e registrare l'utilizzo del sistema manuale di controllo; hanno partecipato all'indagine 12 soggetti distribuiti quattro per giorno, 2 uomini e due donne, di età compresa tra i 22 e i 30 anni. I valori ottenuti dall'elaborazione dei questionari sono stati confrontati con le misurazioni strumentali.

La tabella 2 riporta il risultato di una parte dell'indagine ottenuto attraverso il questionario per il primo giorno all'ingresso, alle 9:00AM e alle ore 3:00PM.

**Tabella 2.** Risposte all'ingresso alle 9:00 AM e alle 3:00PM del primo giorno

Soggetto	Orario													
	7:30AM				9:00AM				3:00PM					
	PMV questionario													
	-2	-1	0	1	-2	-1	0	1	2	-2	-1	0	1	2
1			X				X				X			
2			X				X				X			
3		X					X				X			
4			X				X				X			

### 3. Risultati

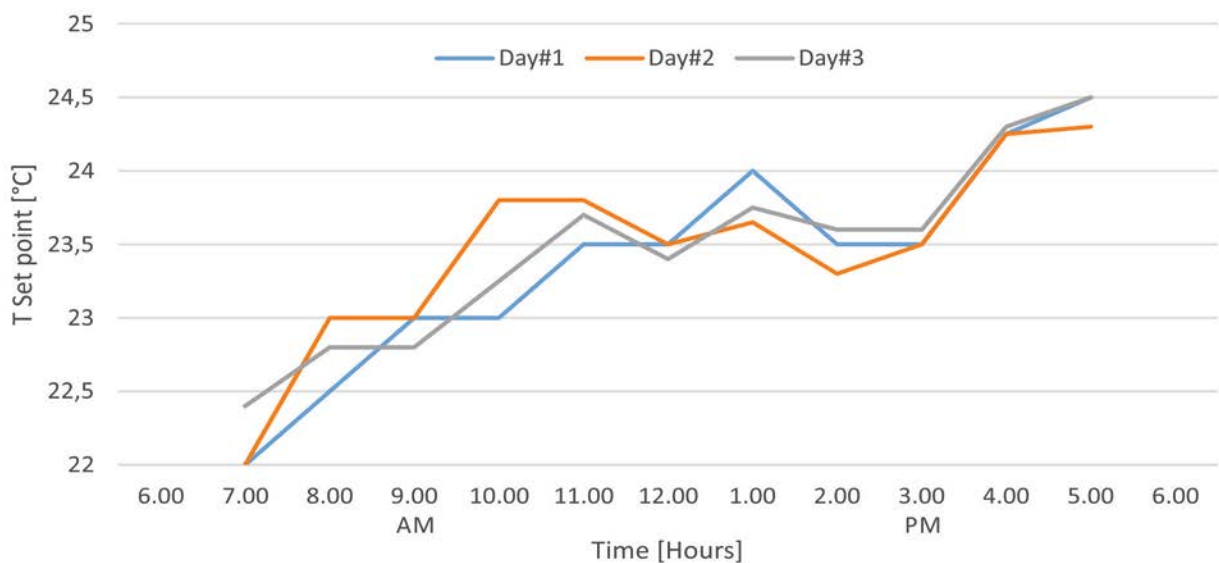
Dall'osservazione sperimentale dell'interazione tra il soggetto e il sistema di regolazione è stato tracciato un tipico profilo di utilizzo che è riportato nella figura 3, mentre nella figura 4 è riportato il diagramma ottenuto dalla trascrizione per i tre giorni dei valori di temperatura impostati come set

point sul termostato situato all'interno dell'ambiente studiato e sul quale i quattro soggetti che occupano le postazioni di lavoro hanno agito in accordo tra di loro, senza annotare sul questionario eventuali sensazioni termiche o esigenze discordi tra loro. Appare immediatamente evidente che l'involucro edilizio offre un livello quasi nullo di controllo sul microclima a causa delle ampie superfici vetrate [8-9]

**Figura 3.** Timeline giornaliera delle modalità di azione sull'impianto



**Figura 4.** Temperatura di set point (termostato) nelle ore di fruizione dell'ufficio

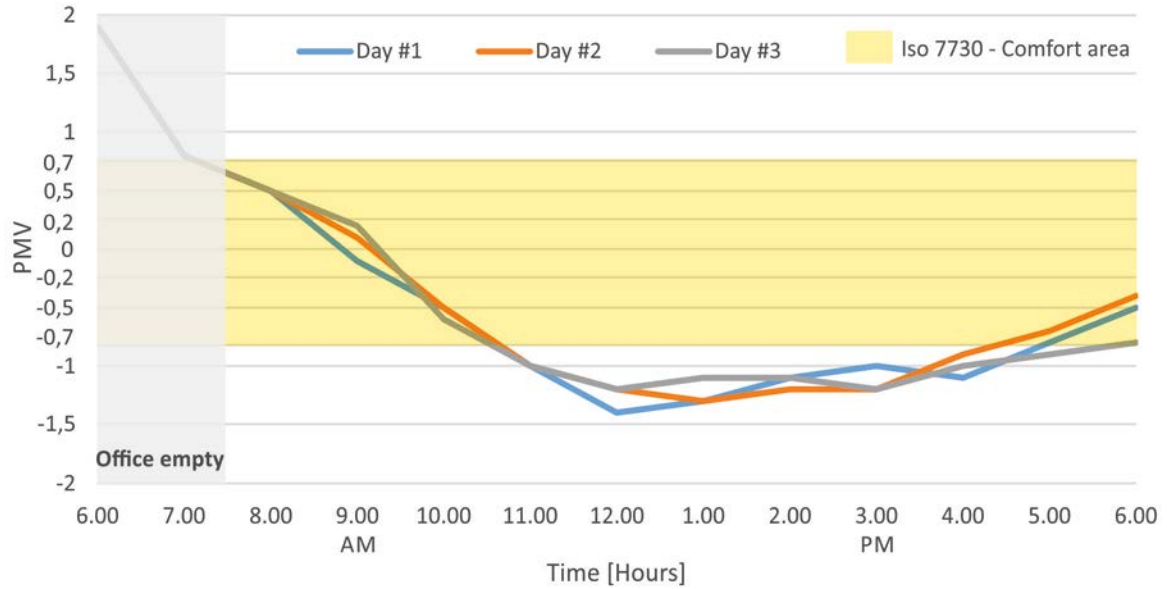


I valori di PMV, ottenuti come media oraria delle misurazioni e per i tre distinti giorni di indagine sono riportati nella figura 5.

L'andamento orario di tale indice di comfort, indica all'interno del range di accettabilità stabilito dalla ISO 7730 [9] la quale fissa per la classe C i valori limite compresi tra -0,7 e +0,7. A partire dall'orario consueto di ingresso degli occupanti in ufficio il valore di PMV, caratteristico per l'accettabilità di un ambiente termoigrometrico, rimane all'interno del range ottimale fino alle ore 11:00 AM quando si cominciano poi ad osservare fastidiosi fenomeni di overcooling, passando già dalle ore 9:30AM a valori negativi di PMV pur rimanendo all'interno dell'area di accettabilità. Il valore esterno al range, permane fino alle ore 4:30PM per poi rientrare gradualmente nell'accettabilità quasi alla fine delle ore di lavoro. Tuttavia, l'osservazione del comportamento degli occupanti, attraverso l'esame del taccuino e del questionario, nonché dell'interazione tra occupanti e sistema di regolazione, evidenzia il discomfort da fenomeni di overcooling, anche per gli occupanti dei posti

contrassegnati dai numeri 3 e 4 che si trovano in prossimità di una superficie vetrata e quindi in condizioni potenziali di asimmetria termica orizzontale [11-12].

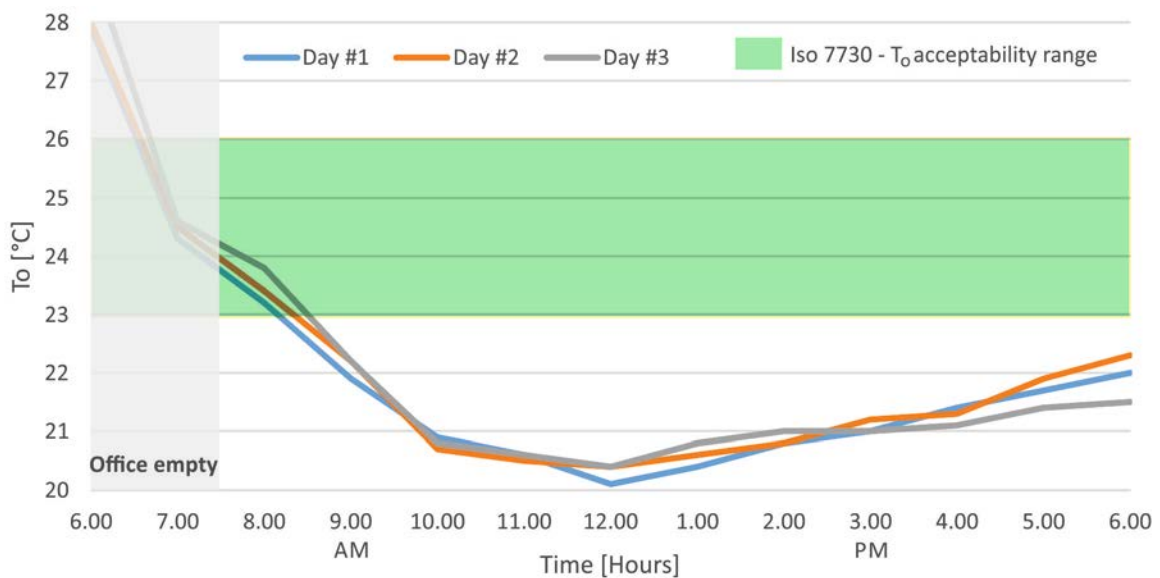
**Figura 5.** Valori di PMV per il tempo di accensione dell'impianto



Dall'analisi dei dati ambientali, in particolare dei valori di  $T_o$  [°C], il loro andamento può essere considerato sempre decrescente dall'attivazione dell'impianto, compensando il valore di  $T_{rm}$  [°C], il cui andamento è opposto, sempre crescente, a causa della presenza della grande superficie vetrata verticale e del valore di irraggiamento solare che incide su di essa.

L'andamento orario dei valori indoor di  $T_o$  [°C] con indicato il range di accettabilità per valori di  $I_{cl} = 0,5 \text{ clo} \cong 0,08 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  e di  $M = \leq 1,2 \text{ met} \cong 70 \text{ W/m}^2$  è riportato nella figura 6.

**Figura 6.** Valori di  $T_o$  per il tempo di accensione dell'impianto



#### 4. Conclusioni.

Dal confronto tra i valori di PMV e di  $T_o$ , si riscontra che l'andamento è abbastanza simile per le tre giornate di indagine naturalmente in presenza di condizioni climatiche esterne abbastanza uniformi. Se i dati, interpretati secondo i criteri delle zone di comfort di Fanger e del modello adattivo, presentano risultati discordi.

Dalla sovrapposizione di questi dati con quelli ottenibili dai questionari risulta attendibile anche la valutazione attraverso il modello adattivo, applicato al tempo trascorso all'interno dell'edificio climatizzato. I valori degli indici utilizzati, permangono per poco tempo all'interno dei valori consigliati di accettabilità e giustificano gli aggiustamenti al termostato da parte degli occupanti.

Il range del PMV rimane soddisfatto solo per il 31,2 % del tempo di occupazione dell'ufficio. Tale valore è desumibile dalle medie dei valori di PMV per i 3 giorni di indagine considerando come area di accettabilità quella massima tollerabile della classe C. Se si fosse considerata la Classe A, il tempo di accettabilità degli indici sarebbe stato dell'8,4 % del tempo di occupazione dell'ufficio.

I valori di  $T_o$  permangono all'interno del range di accettabilità per il 12,32% del tempo di occupazione. Tale valore, all'interno del modello adattivo (ATC) è ancora più rappresentativo delle condizioni di discomfort anche in presenza di ambiente climatizzato con sistema artificiale.

Il comfort termoigrometrico durante il periodo estivo in presenza di normative che impongono sempre più minori consumi, impone studi ed analisi più complesse, in riferimento soprattutto alla fruizione nella fase di esercizio. La normativa UNI 15251 [13] che, tra le altre indicazioni, fornisce i riferimenti ed i criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione al comfort termoigrometrico e alla qualità dell'aria interna, specifica che la valutazione può essere applicata, durante il periodo di raffrescamento, senza considerare il discomfort nell'intervallo temporale in cui le temperature sono al di sotto del range di comfort. Questa indicazione contrasta chiaramente con le regole del contenimento dei consumi energetici negli edifici, in quanto, è proprio nel periodo del raffrescamento, per gli edifici le cui condizioni al contorno sono rappresentate dal clima definibile "mediterraneo", che si verificano i maggiori consumi, in particolare di energia elettrica per il funzionamento dei sistemi di condizionamento ed è proprio nella fase di over-cooling che coincidono discomfort e picchi di consumo energetico. [14]

Valutando il caso studio presentato in questo articolo i valori di PMV e di  $T_o$  permangono a lungo in condizioni di discomfort, sia nella variante di Fanger che in quella che prevede il modello adattivo (ATC); ciò impone negli edifici caratterizzati da ampie superfici vetrate, tipiche della tipologia ad uso ufficio, con elevati fattori solari e non opportunamente schermate, la necessità di sovradimensionare l'impianto e i relativi terminali di erogazione, può determinare in maniera quasi sistematica fenomeni di over-cooling per lunghi periodi di funzionamento.

#### References

1. Linden, A.C. van der, Boerstra, A.C., Raue, A.K., Kurvers, S.R. and Dear, R.J. de. 2006. Adaptive temperature limits: A new guideline in The Netherlands A new approach for the assessment of building performance with respect to thermal indoor climate. Energy and

Buildings, 38, 8-17

2. Galatioto, A., Pitruzzella, S., Scaccianoce, G., Milone, D., Regional policies for sustainability in the mediterranean countries: The role of a proper HVAC system maintenance in museums. In *Applied Mechanics and Materials*, 316-317, pp. 1147-1151.  
DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.316-317.1147
3. Tan F., Kosonena R., An adaptive thermal comfort approach in air-conditioned buildings in the tropical hot-and-humid climates
4. Galatioto A., Leone G., Milone D., Pitruzzella S. and Franzitta V., Indoor environmental quality survey: a brief comparison between different Post Occupancy Evaluation methods. In *Advanced Materials Research Vols. 864-867 (2014)* pp 1148-1152.  
DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.864-867.1148
5. Franzitta V., Milone A., Milone D., Pitruzzella S., Trapanese M., Viola A., A Case Study to evaluate the indoor global quality. In *Advanced Materials Research Vols. 864-867 (2014)* pp 1054-1058. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.864-867.1054
6. Buratti C., Milone A., Milone D., Pitruzzella S., Riccardi P., Determinazione degli indici di PMV/PPD attraverso misure strumentali e questionari nel modello adattativo. In atti del 6° Congresso Nazionale CIRIAF – Pp. 147-152; Perugia 2006.
7. Fanger P.O., *Thermal Comfort*, Danish Technical Press, Copenhagen, 1970
8. Franzitta V., Milone A., Milone D., Pitruzzella S., Trapanese M., Viola A., Experimental Evidence on the Thermal Performance of Opaque Surfaces in Mediterranean Climate. In *Advanced Materials Research Vols. 860-863 (2014)* pp 1227-1231.  
DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.860-863.1227
9. Cannistraro G., Cannistraro M., Crinò D., Pitruzzella S., Thermo-Physical Performance and Energy Aspects of Vertical Walls Opaque to the Retrofitting Of Buildings through a Simulation under Non-Stationary. In *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)*. Volume 2, Issue 6, November 2013, pp 402-409
10. ISO 7730:2005. Ergonomics of the thermal environment Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria
11. Milone D., Galatioto A., Lacca G., Pitruzzella S., Thermo-hygrometric comfort in the lecture hall of a library: methodology and experimental evidence, In *Science Series Data Report Journal*. Jul 2012 Volume. 4, Issue 7. Pagg. 86-92
12. Franzitta, V., Milone, A., Milone, D., Trapanese, M., Viola, A., A procedure to evaluate the indoor global quality by a sub objective-objective procedure. In *Advanced Materials Research*, 734-737, pp. 3065-3070 DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.734-737.3065
13. UNI 15251:2007. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics
14. Franzitta, V., Milone, D., Trapanese, M., Viola, A., Di Dio, V., Pitruzzella, S., Energy and economic comparison of different conditioning system among traditional and eco-sustainable building. In *Applied Mechanics and Materials*, 394, pp. 289-295.

DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.394.289