

# VALUTAZIONE DELLE CONDIZIONI DI BENESSERE TERMICO IN AMBIENTI ADIBITI AD ATTIVITA' TERZIARIE

R. Bevilacqua\*, E.S. Margarese\*

\* INAIL - Direzione Regionale Marche - Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione

## RIASSUNTO

Vengono illustrati i risultati di un'indagine sul microclima svolta in ambienti di lavoro confinati, adibiti ad attività terziarie. Sono stati misurati alcuni parametri ambientali, necessari alla determinazione degli indici di benessere, quali temperatura, umidità relativa, velocità dell'aria, relativi alle postazioni di lavoro in uffici amministrativi. I rilievi sono stati eseguiti durante il periodo di caldo eccezionale verificatosi nell'estate 2003, dapprima in assenza di condizionamento dell'aria e in seguito con impianto di climatizzazione in funzione. L'edificio che ospita gli uffici è costituito da cinque piani ed ubicato in zona centrale di una città costiera (Ancona). I dati raccolti hanno permesso di valutare lo stato di comfort termico dei lavoratori, calcolando gli indici di benessere relativi agli ambienti moderati, cioè il *Voto Medio Previsto (PMV)* e la *Percentuale Prevedibile di Insoddisfatti (PPD)*, come descritti dalla Norma ISO 7730. Il condizionamento dell'aria ha fatto registrare effetti positivi sulle condizioni di benessere termico, compromesso principalmente dall'aumento del tasso di umidità relativa negli uffici durante il giorno per effetto della brezza spirante dal mare dalla tarda mattinata fino al pomeriggio.

## SUMMARY

The results of a survey on microclimatic conditions in closed workplaces used for tertiary activities are explained. Some environmental parameters, like air temperature, relative humidity, air velocity, have been measured in order to calculate comfort indices in the offices. The measurements were taken during an extraordinary hot period occurred in summer 2003, at first without and successively with working air conditioning. The offices are located in a five floor building in the centre of a coastal town (Ancona). The obtained data permitted to evaluate workers' conditions of thermal comfort, by calculating comfort indices in moderate environments, i.e. *Predicted Medium Vote (PMV)* and *Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)*, according to ISO 7730. Working air conditioning provided a good thermal comfort, endangered mainly by relative humidity rate increase in the rooms during the day, because of the breeze blowing from the sea from morning till afternoon.

## 1.INTRODUZIONE

La maggior parte della popolazione trascorre molto tempo all'interno di edifici chiusi, lamentando spesso disagi riferibili agli aspetti microclimatici dei locali ove svolge la propria attività. Il *microclima* è l'insieme degli aspetti fisici che caratterizzano l'aria degli ambienti confinati; il complesso dei parametri microclimatici condiziona lo scambio termico uomo-ambiente deter-

minando, in condizioni ottimali, lo stato di “benessere termico”, in cui il soggetto non avverte sensazioni di caldo, né di freddo. Ai fini della valutazione delle condizioni di sicurezza ed igiene degli ambienti di lavoro occorre pertanto misurare lo scostamento delle condizioni microclimatiche reali da quelle di benessere. Il D. Lgs. 626/94 prescrive a tal proposito un adeguato ricambio d’aria nei luoghi chiusi: i lavoratori devono disporre di aria salubre senza essere esposti a correnti d’aria; le condizioni termoigrometriche dei locali devono essere compatibili con le esigenze dell’organismo in relazione all’attività svolta, mentre finestre, lucernari e pareti vetrate devono essere tali da evitare un soleggiamento eccessivo. L’indagine oggetto del presente studio è stata effettuata presso gli uffici amministrativi ove lavorano gli Autori, nell’estate del 2003, caratterizzata da caldo eccezionale, in una situazione onerosa per i lavoratori dal punto di vista termico, dato che sulle prime è stato impossibile attivare l’impianto di climatizzazione; ciò ha consentito di confrontare le condizioni microclimatiche precedenti e successive all’attivazione dell’impianto, simulando una “bonifica” dell’ambiente termico.

### 1.1 Condizioni di benessere raccomandate dalle norme internazionali per ambienti moderati

I parametri che influenzano gli scambi termici dell’organismo con l’ambiente e che ne determinano, insieme alle grandezze termoigrometriche, la sensazione termica, sono:

- l’attività fisica dell’organismo (*energia metabolica M*)
- l’abbigliamento indossato (*isolamento termico del vestiario I<sub>cl</sub>*).
- la percentuale di energia metabolica impiegata per l’esecuzione di operazioni fisiche (*rendimento meccanico - valore %*).

Gli ambienti di lavoro oggetto del presente studio sono da considerarsi ambienti termici moderati, in cui vengono svolte attività tipiche degli uffici. Essi sono caratterizzati da parametri termici variabili entro un ristretto intervallo e cioè:

- *Temperatura secca (T<sub>a</sub>)* compresa tra 10 e 30 °C;
- *Temperatura radiante (T<sub>r</sub>)* compresa tra 10 e 40 °C;
- *Umidità relativa (U<sub>r</sub>)* compresa tra 30 e 70 %;
- *Velocità dell’aria (V<sub>a</sub>)* compresa tra 0 e 1 m/s.

Negli ambienti moderati occorre valutare lo scostamento delle condizioni reali da quelle di benessere, mediante il calcolo di opportuni indici di comfort che sono funzione delle variabili prima descritte, facendo riferimento in genere a due standard:

- ANSI/ASHRAE 55-1992 (*Thermal environmental conditions for human occupancy*)
- UNI EN ISO 7730/1997 (*Moderate thermal environments. Determination of PMV and PPD indices and specifications of condition of thermal comfort*).

Quest’ultimo, elaborato dal danese Fanger, è basato sull’equazione del bilancio termico dell’organismo e abbina ad una valutazione di tipo analitico una di tipo psicofisiologico. Si utilizza l’indice *PMV (Voto Medio Previsto)*, che è funzione del dispendio metabolico e del carico termico agente sul soggetto; viene studiata la correlazione tra *PMV* e la *Percentuale Prevedibile di Insoddisfatti (PPD)*. La ISO 7730 utilizza l’indice *PPD* per giudicare il comfort di un ambiente di lavoro moderato raccomandando che il *PPD* sia inferiore al 10 %, cioè che non più del 10 % dei soggetti consideri l’ambiente termico come insoddisfacente; ciò corrisponde ad un valore di *PMV* compreso tra -0,5 e +0,5. In sintesi, i requisiti di benessere termico raccomandati dalla norme internazionali per la stagione estiva sono i seguenti:

- 0,5 < *PMV (Voto medio previsto)* < +0,5
- PPD (Percentuale Prevedibile di Insoddisfatti)* < 10%
- 23 °C < *T<sub>o</sub> (Temperatura operativa)* < 26 °C

$0,05 \text{ m/s} < Va \text{ (Velocità dell'aria)} < 0,3 \text{ m/s}$   
 $30\% < Ur \text{ (Umidità relativa)} < 70\%$ .

L'umidità relativa condiziona l'evaporazione dell'acqua a livello cutaneo e degli alveoli polmonari. La velocità dell'aria invece favorisce la perdita di calore; per velocità inferiori a  $0,05 \text{ m/s}$ , l'aria diventa stagnante e non c'è il ricambio prescritto dal D.Lgs. 626/94.

## 1.2 Caratteri climatici e geografici del luogo studiato

L'edificio esaminato si trova ad Ancona all'interno del promontorio del Monte Cardeto ad un'altezza di circa cento metri s.l.m. ed a circa un chilometro dalla linea di costa che delimita ad E, N ed W il suddetto promontorio. Lo stabile si articola in un corpo centrale con pareti perimetrali orientate in direzione E-W, da cui si diramano due ali laterali con pareti orientate rispettivamente in direzione WNW-ESE ed ENE-WSW. La successione delle stanze all'interno dell'edificio segue l'orientamento delle pareti perimetrali; le finestre si affacciano a N, NNE, NNW e a SSE e SSW. Non si aprono finestre sui lati WNW ed ENE e non sono presenti uffici sul lato S.

La costa marchigiana è caratterizzata da condizioni di semiaridità nel periodo estivo; a causa della diversa capacità termica del terreno e dell'acqua di mare, sulla costa si generano *brezze (di mare e di terra)* che spirano fino a 15-25 km da entrambi i lati della linea di costa ed interessano uno strato d'aria di 600-700 metri. La brezza di mare si genera nella tarda mattinata e si mantiene fino a sera, con massimo nel pomeriggio; la brezza di terra si leva intorno alla mezzanotte e si mantiene sino al mattino. Ad Ancona in luglio si registrano le temperature medie massime, mentre l'escursione termica giornaliera è maggiore d'estate che d'inverno; nel mese di giugno la temperatura presenta in genere valori medi intorno ai  $20^\circ\text{C}$  e massimi intorno ai  $25^\circ\text{C}$ ; in luglio i valori medi si attestano intorno ai  $22^\circ\text{C}$  e massimi intorno ai  $28^\circ\text{C}$ . Nel giugno 2003 invece i valori medi giornalieri della temperatura dell'aria hanno raggiunto i  $26^\circ\text{C}$  ed i massimi circa  $32^\circ\text{C}$ ; nel luglio 2003 la temperatura media giornaliera ha raggiunto i  $28^\circ\text{C}$  e quella massima  $33^\circ\text{C}$  (fonte: dati ASSAM - Regione Marche, Centro Operativo Agrometeo). Nell'estate 2003 sono stati pertanto registrati valori di temperatura superiori di circa  $5-6^\circ\text{C}$  rispetto alla media stagionale.

## 2. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA, METODI DI MONITORAGGIO E DI MISURA

Il monitoraggio del microclima negli ambienti di lavoro esaminati è stato effettuato nel periodo 24 giugno - 24 luglio 2003: per il 5° piano (il più caldo) dapprima senza condizionamento dell'aria e successivamente (dal 30 giugno) con impianto di climatizzazione in funzione negli uffici; per gli altri piani sempre con l'impianto di climatizzazione in funzione. I rilievi sono stati eseguiti nella fascia oraria 9-17 ed hanno riguardato gli uffici nello stabile, a piani alterni, in particolare al 1°, al 3° ed al 5° piano; sono state monitorate circa n. 5 stanze per ogni piano, in modo da comprendere i lati con differenti esposizioni solari; è stato escluso il lato S ove non sono presenti uffici. Per le misure è stata impiegata una stazione per il monitoraggio ambientale con multiacquisitore pluringressi LSI BABUC A, fornita di n. 4 sonde microclimatiche: psicrometro, anemometro a filo caldo (omnidirezionale), sonda termometrica a bulbo umido a ventilazione naturale, globotermometro.

I rilievi sono stati eseguiti in postazioni fisse all'interno delle stanze, posizionando la centralina ad un'altezza di circa 1,1 metri dal suolo (livello testa) in prossimità delle postazioni di lavoro. Le misure sono state effettuate nelle reali condizioni operative dei locali. Per ogni ufficio monitorato, tramite i trasduttori prima descritti, sono stati rilevati n. 5 segnali, con fre-

quenza di acquisizione pari a 5 minuti, corrispondenti rispettivamente ai valori di:

- temperatura a bulbo secco dell'aria ( $T_a$ );
  - temperatura a bulbo umido a ventilazione forzata ( $T_w$ ): da  $T_a$  e  $T_w$  la centralina ottiene automaticamente la temperatura punto di rugiada ( $T_e$ ) e l'umidità relativa ( $U_r$ );
  - velocità dell'aria ( $V_a$ );
  - temperatura a bulbo umido a ventilazione naturale ( $T_{nw}$ );
  - temperatura del globotermometro di Vernon ( $T_g$ ), da cui la centralina ricava automaticamente la temperatura media radiante ( $T_r$ ), note che siano la temperatura secca e la velocità dell'aria;
- Da questi parametri il software abbinato alla centralina (*InfoGap*) calcola la temperatura operativa  $T_o$ , il Voto Medio Previsto *PMV* e la Percentuale Prevedibile di Insoddisfatti *PPD*, indici di benessere relativi agli ambienti moderati, come descritti dalla Norma ISO 7730/1997, che hanno permesso di procedere alla valutazione dello stato di comfort termico dei dipendenti. Per il calcolo di tali indici sono stati presi come riferimento fisso i seguenti valori:
- *energia metabolica prodotta M* pari a 1,2 met=70 Watt/mq (attività sedentaria in ufficio, casa, scuola, laboratorio secondo la ISO 7730);
  - *resistenza termica del vestiario Icl* pari a 0,5 clo corrispondente a 0,078 mq x °C/W (in condizioni di abbigliamento estivo leggero);
  - *rendimento meccanico muscolare medio* prossimo a 0 %.

Per il calcolo degli indici *PMV* e *PPD*, infine, è stata presa in considerazione solo la velocità media dell'aria e non l'eventuale turbolenza (dovuta a gradienti spaziali e fluttuazioni temporali) legata all'indice di benessere *DR* (*Draught Rating*).

### 3. RISULTATI DELLE MISURE IN ASSENZA DI CLIMATIZZAZIONE

Le stanze del 5° piano dell'edificio sono state monitorate dapprima in assenza di climatizzazione, successivamente (dal 30 giugno 2003) i rilievi sono stati ripetuti in condizioni di climatizzazione. Tali uffici hanno il soffitto coincidente con il tetto dell'edificio e sono quindi soggetti anche all'irraggiamento diretto dall'alto. I dati misurati sono riassunti in Tabella 1 (ove sono riportati, oltre al numero delle stanze, anche l'orientamento delle loro finestre) e rappresentano i valori medi dei vari parametri fisici e degli indici calcolati misurati al mattino e al pomeriggio, oppure (stanza n. 4) sono una media di tutti i valori misurati nell'arco della giornata lavorativa. Sono riportati in grassetto i valori che si discostano dagli intervalli di benessere raccomandati per la stagione estiva.

Tabella 1: Valori medi dei rilievi al 5° piano

M= mattina P=p pomeriggio

	STANZA 1 - NNE -		STANZA 2 - SSE -		STANZA 3 - SSW -	STANZA 4 - SSW -
	M	P	M	P	P	intero giorno
$T_a$ (°C)	29,44	30,19	29,41	29,65	29,73	28,14
$T_w$ (°C)	19,86	24,43	20,57	23,66	23,92	21,81
$T_r$ (°C)	30,45	30,38	31,53	30,82	31,04	28,18
$U_r$ (%)	40,10	61,93	43,88	60,11	61,24	56,83
$T_o$ (°C)	29,94	30,23	30,49	30,24	30,38	28,16
$V_a$ (m/s)	0,02	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01
<i>PMV</i>	-+ 1,54	+ 1,86	+ 1,76	+ 1,82	+ 1,88	+ 1,16
<i>PPD</i> (%)	52,82	70,14	64,49	68,10	70,85	33,31

Dai dati suesposti risulta che in tutte le stanze del 5° piano per la To si riscontrano dei valori superiori (in media di 3°C) rispetto al limite superiore raccomandato (26°C). Gli indici PMV e PPD assumono valori di molto superiori a quelli raccomandati, corrispondenti alla sensazione termica compresa tra "leggermente caldo" e "caldo", con una percentuale di insoddisfatti pari in media al 60%. La velocità dell'aria negli uffici si è rivelata insufficiente per la stagione estiva. Inoltre dai dati istantanei acquisiti "in continuo" risulta che l'umidità relativa cresce progressivamente da valori di poco superiori al 30% al mattino fino a raggiungere valori anche del 66% nel pomeriggio. Tali condizioni microclimatiche sono state associate a sensazioni di caldo soffocante da parte del personale occupante l'ufficio n. 1. La crescita costante del tasso di umidità relativa a parità di temperatura dell'aria può essere correlata con la brezza che si leva in tarda mattinata e che porta dal mare aria carica di umidità verso l'edificio studiato.

#### 4. RISULTATI DELLE MISURE IN PRESENZA DI CLIMATIZZAZIONE

Questa sezione riguarda i rilievi eseguiti negli uffici ai vari piani dell'edificio esaminato dopo l'attivazione dell'impianto di climatizzazione, a partire dal 30 giugno 2003. In Tabella 2 sono riportati i valori medi nell'arco della giornata dei parametri fisici misurati e degli indici di benessere calcolati per il 5° piano (in grassetto i valori non rientranti negli intervalli raccomandati).

Tabella 2 - Valori medi dei rilievi al 5° piano con climatizzazione in funzione

	STANZA 1 - NNE -	STANZA 2 - SSE -	STANZA 3 - SSW -	STANZA 4 - SSW -	STANZA 6 - N -	STANZA 7 - NNW -
<i>T<sub>a</sub></i> (°C)	25,26	26,51	26,43	24,71	26,93	25,30
<i>T<sub>w</sub></i> (°C)	18,21	20,14	19,54	17,62	21,11	20,87
<i>T<sub>r</sub></i> (°C)	26,52	27,86	29,06	26	27,62	25,92
<i>U<sub>r</sub></i> (%)	49,48	55,09	51,81	48,60	58,89	67,03
<i>T<sub>o</sub></i> (°C)	25,89	27,19	27,74	25,34	27,28	25,61
<i>V<sub>a</sub></i> (m/s)	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,08
<i>PMV</i>	+ 0,36	+ 0,83	+ 0,96	+ 0,20	+ 0,89	+ 0,26
<i>PPD</i> (%)	7,85	19,72	24,31	7,16	21,92	6,49

In presenza di condizionamento dell'aria, per alcune stanze i valori della temperatura operativa, del PMV e del PPD rientrano nell'intervallo di benessere raccomandato e diminuisce in ogni caso il numero degli insoddisfatti. Se ne deduce l'effetto benefico della climatizzazione durante il periodo estivo, anche se permangono delle situazioni di criticità (leggermente caldo). Tuttavia è ancora insufficiente il ricambio d'aria negli uffici, che risulta pressoché stagnante, ad eccezione della stanza n. 7, per la quale i dati complessivamente acquisiti evidenziano anche che l'umidità relativa cresce rapidamente in mattinata per stazionare attorno a valori del 70-75% nel pomeriggio, in situazione limite rispetto alle condizioni di benessere termico. Si nota però come ad un'alta percentuale di umidità si accompagnino valori di temperatura operativa ottimali e velocità dell'aria più alta rispetto alle altre stanze monitorate. Ciò rende meno gravoso l'effetto dell'umidità relativa. Infatti per tale ufficio gli indici di Fanger assumono valori entro i limiti di benessere raccomandati.

Tabella 3: Valori medi dei rilievi al 3° piano M=mattina P=pomeriggio

	STANZA 8 - NNE -		STANZA 9 - SSW -	STANZA 10 - N -	STANZA 11 - NNW -	STANZA 12 - SSE -
	M	P				
<i>Ta</i> (°C)	26,00	26,05	25,84	24,51	23,74	26,40
<i>Tw</i> (°C)	17,62	18,37	17,75	19,09	18,32	19,73
<i>Tr</i> (°C)	27,78	27,09	27,54	24,96	24,38	26,75
<i>Ur</i> (%)	42,27	46,66	43,83	59,48	58,62	53,05
<i>To</i> (°C)	26,89	26,57	26,69	24,73	24,06	26,59
<i>Va</i> (m/s)	0,01	0,00	0,01	0,02	0,03	0,01
<i>PMV</i>	+ 0,63	+ 0,57	+ 0,58	+ 0,08	- 0,14	+ 0,64
<i>PPD</i> (%)	13,28	12,10	12,71	5,75	5,48	14,22

Anche al terzo piano (Tabella 3), nonostante il condizionamento dell'aria, permangono delle situazioni di criticità (leggermente caldo). Tali ambienti sono da ritenersi pertanto migliorabili dal punto di vista del benessere termico. In alcune stanze (n. 10 e n. 11) che si affacciano a N e NNW, si raggiungono condizioni di benessere, nonostante i valori più elevati di umidità relativa soprattutto nelle ore pomeridiane, rispetto agli altri uffici dello stesso piano. La ventilazione è risultata insufficiente in tutte le stanze.

Tabella 4: Valori medi dei rilievi al 1° piano

	STANZA 13 - NNE -	STANZA 14 - SSW -	STANZA 15 - N -	STANZA 16 - NNW -	STANZA 17 - SSE -
<i>Ta</i> (°C)	25,58	24,06	25,26	26,20	26,79
<i>Tw</i> (°C)	19,19	18,01	18,52	19,28	19,60
<i>Tr</i> (°C)	26,02	24,75	25,87	25,93	28,78
<i>Ur</i> (%)	54,05	54,66	51,45	51,35	50,32
<i>To</i> (°C)	25,79	24,40	25,56	26,07	27,79
<i>Va</i> (m/s)	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
<i>PMV</i>	+ 0,39	- 0,05	+ 0,30	+ 0,47	+ 0,97
<i>PPD</i> (%)	8,39	5,23	6,88	9,63	25,38

Per gli uffici del 1° piano (Tabella 4) i valori degli indici misurati risultano nel range dei valori raccomandati, ad eccezione della stanza n. 17, esposta a SSE, per la quale i valori di temperatura operativa non sono ottimali e gli indici di Fanger mostrano condizioni di lieve stress termico (leggermente caldo). Anche in primo piano risulta insufficiente il ricambio d'aria nelle stanze.

## 5. CONCLUSIONI

Le condizioni microclimatiche negli uffici dell'edificio studiato, nella torrida estate del 2003, sono risultate notevolmente migliorate sotto il profilo del benessere termico dopo l'attivazione dell'impianto di climatizzazione; sono stati infatti registrati effetti positivi sulle temperature, con una significativa riduzione della percentuale di insoddisfatti. Nonostante il condizionamento dell'aria, però, soprattutto negli uffici situati al terzo ed al quinto piano, non si sono raggiunte le condizioni ottimali raccomandate dalle norme internazionali per la stagione estiva, permanendo delle situazioni di lieve criticità (leggermente caldo). Le stanze che hanno evidenziato situazioni più sfavorevoli sono quelle del quinto piano, per le quali, anche con l'impianto di climatizzazione in funzione, la temperatura operativa è risultata superiore di circa 1,5 °C rispetto al limite massimo dell'intervallo di temperatura raccomandato. Essendo situati all'ultimo piano, tali uffici sembrano quindi risentire dell'effetto del calore proveniente dal tetto. Nel complesso la ventilazione negli uffici, anche con il condizionamento dell'aria, si è rivelata insufficiente in tutti i piani monitorati, mentre l'aumento del tasso di umidità relativa durante il giorno è ascrivibile all'effetto delle brezze spiranti dal mare (cariche di umidità) verso l'entroterra, dalla tarda mattinata fino al pomeriggio.

## BIBLIOGRAFIA

**AA. VV.:** L'ambiente fisico - termico, luminoso, sonoro, chimico, 1997, Edizione Laboratori di Strumentazione Industriale, Milano, pp.166.

**AA.VV., Regione Marche:** L'ambiente fisico delle Marche - Geologia, geomorfologia, idrogeologia, 1991, SELCA, Firenze, pp.155.

**G. Alfano, F.R. D'Ambrosio, G. Riccio:** Disagio e stress termico: effetti, normative, valutazione e controllo, dBA '98 Dal rumore ai rischi fisici, 1998, 531-565.

**G. Alfano:** La normativa vigente ed in preparazione nel campo del thermal comfort, dBA '02 Rumore, vibrazioni, microclima, illuminazione, onde elettromagnetiche, 2002, 115-123.

**G. Certo:** Il microclima termico con il nuovo programma "INFOGAP" per la gestione dati ambientali e calcolo dei principali indici microclimatici, dBA '02 Rumore, vibrazioni, microclima, illuminazione, onde elettromagnetiche, 2002, 157-165.

**S. Di Stefano, R. Galassi, C. Gargano, A. Zanelli:** Valutazione delle condizioni di benessere in ambienti adibiti ad attività terziarie, dBA '02 Rumore, vibrazioni, microclima, illuminazione, onde elettromagnetiche, 2002, 149-151.

**UNI EN ISO 7730:** 1997, Ambienti termici moderati. Determinazione degli indici PMV e PPD e specifica delle condizioni di benessere termico.

