

Descrizione delle attività: Indice di sensazione termica

*CIBIC - Centro Interdipartimentale di
BIOclimatologia, Università degli Studi di Firenze*

[<cibic@unifi.it>](mailto:cibic@unifi.it)

20 gennaio 2009

Indice di sensazione termica

La mappa descrive i valori di sensazione termica calcolati mediante un indice biometeorologico basato sul bilancio d'energia del corpo umano, il Predicted Mean Vote (PMV). Si tratta di un indice espresso in base ad un votazione media fornita da un elevato numero di individui sottoposti, nelle stesse condizioni di attività ed abbigliamento, alle stesse condizioni ambientali.

Le informazioni fornite dalla mappa sono valide per un soggetto con caratteristiche standard (35 anni; peso 75 kg; altezza 1,75 m), vestito con abito da lavoro "classico" (clo 1.0) in piedi e che svolge un'attività leggera (80 W) .

L'indice PMV permette di risolvere l'equazione di bilancio di energia del corpo umano a partire dai dati meteorologici previsti. Tale procedura utilizza come dati di input quelli previsti dal modello meteorologico WRF-NMM, alla risoluzione di circa 12 km, sulla libreria "libmeteosalute" sviluppata internamente al CIBIC.

Un grande contributo per lo sviluppo degli indici basati sul bilancio d'energia del corpo umano é legato agli studi compiuti negli anni settanta da Fanger. Questo ricercatore ha messo a punto un modello pratico di bilancio di calore del corpo umano, indicando le sei grandezze fondamentali che influenzano l'equilibrio termico e che entrano in gioco per determinare il benessere termico dell'uomo:

1. La temperatura dell'aria (T_a), cioè la temperatura media dell'aria nella zona in cui si trova il soggetto.
2. L'umidità dell'aria, per tenere conto di questo parametro si fa riferimento alla pressione parziale del vapor d'acqua nell'ambiente (e) piuttosto che all'umidità relativa.
3. La velocità dell'aria (V), ossia la velocità dell'aria relativa al corpo, cioè si tiene conto di eventuali spostamenti del corpo stesso.

4. La temperatura media radiante (T_{mr}), definita come la temperatura uniforme delle pareti “nere” di un ambiente ipotetico con le quali la persona, considerata assimilata ad un corpo nero, scambierebbe la stessa quantità di calore radiante R che scambia con l’ambiente reale considerato.
5. Il livello di attività metabolica (M), dal quale dipende la produzione di calore metabolico del corpo.
6. La resistenza termica dell’abbigliamento indossato “clo”, che rappresenta un’unità di misura incoerente che esprime il valore di resistenza termica di un capo di abbigliamento ($1 \text{ clo} = 0.155 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$).

Per determinare quali sono le combinazioni delle sei variabili, a cui corrispondono condizioni di benessere termico, Fanger ha elaborato una equazione, detta “Equazione del Benessere di Fanger”, derivata dall’equazione del bilancio termico del corpo umano

$$f(M, clo, T_a, V, T_{mr}, e) = 0$$

Partendo da questa equazione sono stati sviluppati alcuni dei piú importanti indici basati sul bilancio d’energia, tra cui il Predicted Mean Vote (PMV).

L’indice PMV é una funzione matematica che consente di correlare in un’unica relazione le variabili fisiche, quali T_a , e , V , T_{mr} , con l’attività metabolica e l’isolamento termico del vestiario. La complessa formula per il calcolo del PMV é la seguente

$$PMV = (0.303 \exp^{-0.036M} + 0.0275)[(M - W) - H - E_C - C_{res} - E_{res}]$$

Dove:

M = Potenza prodotta dai processi metabolici. Rappresenta il tasso di trasformazione di energia chimica in calore e lavoro meccanico, attraverso le attività aerobiche ed anaerobiche all’interno del corpo ($W \cdot m^{-2}$).

W = Cessione o assorbimento di energia meccanica ($W \cdot m^{-2}$), che in molti casi può essere stabilito uguale a zero.

H = Perdita di calore dalla superficie del corpo, attraverso la convezione, l’irradiazione e la conduzione ($W \cdot m^{-2}$). Può essere misurata o direttamente usando un trasduttore di perdita di calore oppure calcolata attraverso la seguente equazione

$$H = K_{cl} = \frac{T_{sk} - T_{cl}}{I_{cl}}$$

Dove:

T_{cl} é la temperatura sulla superficie dei vestiti ($^\circ\text{C}$).

I_{cl} é la resistenza termica del vestiario ($m^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot W^{-1}$).

K_{cl} é il flusso di calore per conduzione attraverso i vestiti ($W \cdot m^{-2}$);

T_{sk} é la temperatura media della pelle ($^{\circ}\text{C}$) calcolata mediante la seguente equazione

$$T_{sk} = 35.7 - 0.0276(M - W)$$

E_c é l'evaporazione a livello della cute, sudorazione e traspirazione, ($W \cdot m^{-2}$)

$$E_c = 3.05 \cdot 10^{-3}[5733 - 6.99(M - W) - e] + [0.42(M - W - 58.15)]$$

Cres é la variazione di temperatura dell'aria respirata ($W \cdot m^{-2}$)

$$C_{res} = 0.0014 \cdot M(34 - T_a)$$

E_{res} é la variazione di umidità dell'aria respirata ($W \cdot m^{-2}$)

$$E_{res} = 1.27 \cdot 10^{-5} \cdot M(5867 - e)$$

L'indice PMV é stato messo in relazione allo stato psicofisico dell'uomo mediante il valore medio dei voti di un ampio campione di persone residenti nel medesimo ambiente. Tali persone hanno espresso la propria sensazione termica soggettiva attraverso una scala psicofisica compresa tra -3 e +3, passando da condizioni di "molto freddo" a "molto caldo" rispettivamente. Individuato

Voto	Sensazione
+3	molto caldo
+2	caldo
+1	leggermente caldo
0	neutro
-1	leggermente freddo
-2	freddo
-3	molto freddo

Tabella 1: Scala di sensazione termica ottenuta con l'applicazione del PMV

il valore medio della sensazione termica, espressa dalla popolazione di soggetti nei confronti dell'ambiente (PMV), Fanger ha correlato tale valore numerico al grado di insoddisfazione dei soggetti stessi, individuando la percentuale di presumibili soggetti insoddisfatti associata ad ogni valore dell'indice PMV.

La probabile percentuale di soggetti insoddisfatti, cioè la *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD), é derivata dal PMV e permette di calcolare la percentuale prevedibile di persone insoddisfatte dell'ambiente. La formula seguente é quella adottata per il calcolo del PPD

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp^{(0.03353 \cdot PMV^4 + 0.2179 \cdot PMV^2)}$$

La correlazione tra l'indice PMV e PPD é stata elaborata sulla base di ricerche sperimentali che hanno coinvolto complessivamente circa 1300 soggetti, indossanti abiti leggeri ed esposti per tre ore consecutive agli ambienti climatizzati di prova. Vengono classificati come voti

di insoddisfazione tutti quei valori che, riferendosi alla scala psicofisica, non sono compresi tra +1 e -1. La curva simmetrica della figura 1 mostra che, anche in corrispondenza del valor medio (PMV=0), esiste comunque una percentuale, pari al 5%, di soggetti insoddisfatti delle condizioni ambientali. Osservando tale grafico é evidente che anche piccole deviazioni da condizioni teoricamente ottimali, cioè PMV=0, comportano un aumento notevole del numero di insoddisfatti, cioè un aumento del PPD. L'indice PMV é stato successivamente assimilato

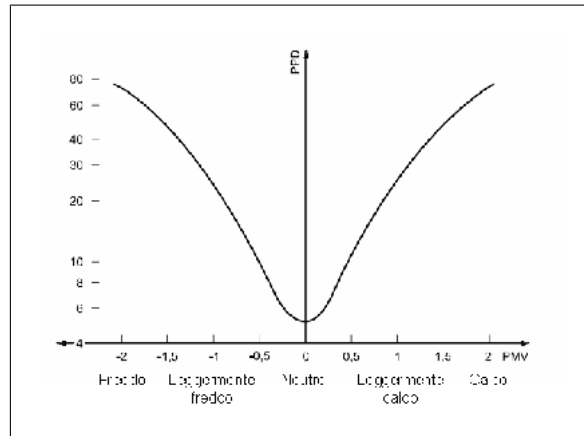


Figura 1: Grafico che esprime la percentuale di insoddisfatti in funzione del PMV

nella normativa internazionale ISO ed utilizzato soprattutto per gli ambienti indoor. Si tratta, infatti, di un indice particolarmente idoneo per la valutazione di ambienti termici moderati, in presenza di condizioni microclimatiche stazionarie, “*steady-state conditions*”.

L'applicazione dell'indice PMV per la valutazione del benessere/disagio termico per l'ambiente outdoor presenta alcune limitazioni. L'indice PMV rientra nella categoria di indici definiti come “*steady-state index*”, ossia indici sviluppati in condizioni di equilibrio tra produzione e consumo di calore, applicabili in condizioni costanti dal punto di vista temporale, validi per ambienti uniformi (non transienti), tutte condizioni raramente soddisfatte in ambiente outdoor.

In ambiente outdoor, ancor piú che in ambiente indoor, é molto importante tenere in forte considerazione i flussi radiativi. Vengono a tale scopo utilizzate equazioni piú complesse che, tenendo conto dei vari flussi radiativi, permettono il calcolo della temperatura media radiante in ambiente outdoor. L'equazione utilizzata per il calcolo della temperatura media radiante é la seguente:

$$T_{mrt} = \sqrt[4]{\frac{1}{\sigma} \left(\sum_{i=1}^n (E_i \times F_i) + \frac{\alpha_k}{\epsilon_p} \sum_{i=1}^n (D_i \times F_i) + \frac{\alpha_k}{\epsilon_p} f_p \times I \right)} - 273$$

In questa equazione vengono considerati, quindi, anche i flussi radiativi e, in particolare, la radiazione ad onde lunghe (E_i), ad onde corte (D_i) e la radiazione diretta (I).

In ambiente outdoor (ma questo vale anche per l'indoor), comunque, a causa delle differenze individuali (caratteristiche soggettive), é praticamente impossibile descrivere una condizione termica (benessere o disagio) valida per chiunque e, per ogni situazione, ci saranno sempre alcuni soggetti che si dichiareranno insoddisfatti.

Contatti

CIBIC - Centro Interdipartimentale di BIoClimatologia

Università degli Studi di Firenze

Piazzale delle Cascine, 18 - Firenze (sede amministrativa)

tel.: +39 055 3288257

Via Madonna del Piano, 10 - Sesto Fiorentino (sede operativa)

tel.: +39 055 5226041

info: cibic@unifi.it

web: <http://www.biometeo.it>