

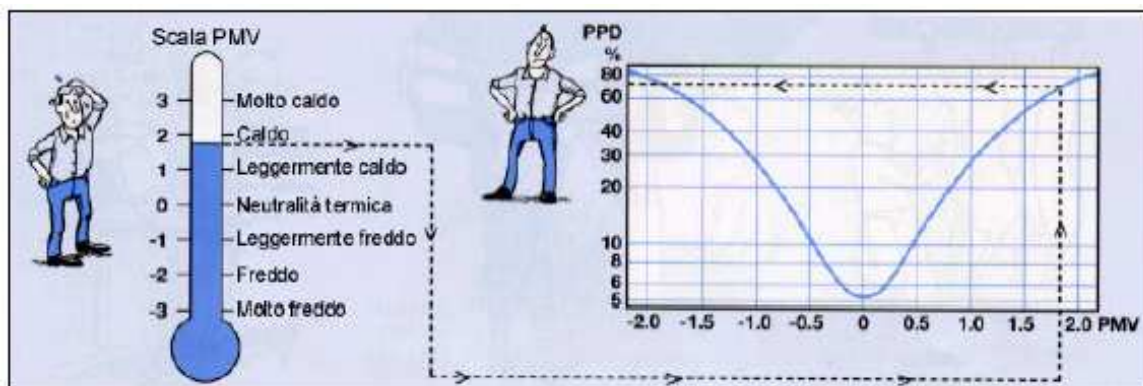


## *Benessere Termoigrometrico*

Verifica della sensibilità dell'individuo alle variazioni di temperatura, di umidità relativa e di velocità dell'aria, attraverso la valutazione degli indici *Predicted Mean Vote PMV* e *Predicted Percentage of Dissatisfied PPD*

### Gli indici del comfort termoigrometrico

**Indici di sensazione** usati per valutare in un determinato ambiente termico di quanto si è lontani dalle condizioni di comfort (livello di accettabilità)



**PMV:** indice di gradimento, esprime il voto che un utente medio darebbe all'ambiente in cui si trova, al variare dei parametri fisici

**PPD:** percentuale di persone insoddisfatte in un determinato ambiente termico

## Principali parametri e strumenti normativi per il controllo della qualità ambientale

BENESSERE TERMOIGROMETRICO	
Requisiti di qualità ambientale	Riferimenti normativi
Temperatura dell'aria	UNI EN ISO 7730
Umidità relativa	
Temperatura operante	
Temperatura superficiale del pavimento	
Differenza verticale di temperatura dell'aria	
Asimmetria di temperatura piana radiante	
Rischio da correnti d'aria	

## Temperatura operativa

$$t_o = B \cdot t_a + (1-B) \cdot t_{mr}$$

$$\text{con } t_{mr} = \sqrt[4]{\sum_i f_i T_i^4}$$

Tabella 2.III

Velocità aria [m/s]	B
<0,2	0,5
0,2-0,6	0,6
0,6-1	0,7

# Bilancio energetico del corpo umano

In condizioni di omeotermia l'energia prodotta da un individuo deve essere pari all'energia scambiata con l'ambiente sotto forma di calore o lavoro, trascurando il termine relativo allo scambio conduttivo tra corpo e oggetti in contatto con esso (K).

Nella equazione che segue deve essere  $S=0$

## Formula del bilancio energetico

Il bilancio di energia termica sul corpo è espresso dall'equazione:

$$S = M - W - E_{\text{res}} - C_{\text{res}} - C - R - E - K \quad (2.1.1)$$

con:

- S = accumulo di energia termica nell'unità di tempo o variazione di energia interna del corpo umano nell'unità di tempo, W;
- M = metabolismo energetico, W;
- W = potenza meccanica che il corpo umano cede all'ambiente, W;
- $E_{\text{res}}$  = potenza termica dispersa nella respirazione come "calore latente", W;
- $C_{\text{res}}$  = potenza termica dispersa nella respirazione come "calore sensibile", W;
- C = potenza termica dispersa per convezione, W;
- R = potenza termica dispersa per irraggiamento, W;
- E = potenza termica dispersa per evaporazione dalla pelle, W;
- K = potenza termica dispersa per conduzione, W.

# metabolismo

M è la potenza termica associata al metabolismo, funzione del grado di attività dell'individuo, espressa in  $W/m^2$

o in met (1 met =  $58 W/m^2$ );

i relativi valori sono indicati in CEN TC156 N201 e riportati in Tabella 2.1

Tabella 2.1

Attività	Metabolismo [met]
Dormire	0,6
Stare seduti	1
Stare in piedi	1,2
Attiv. leggera (camminare)	1,6
Attiv. media (negozi,abitaz.)	2
Attiv.pesante (ginnastica)	3
Ballare	5

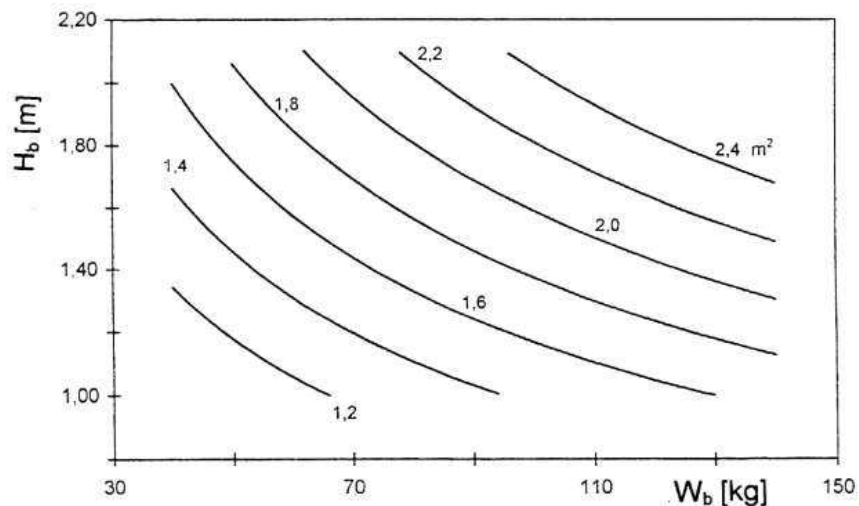


Figura 2.1.1 - Valore dell'area della superficie del corpo umano nudo,  $A_b$ , in funzione della massa corporea,  $W_b$ , e dell'altezza del soggetto,  $H_b$ .

$$A_b = 0,202 W_b^{0,425} H_b^{0,725} \quad (2.1.2)$$

con:

$W_b$  = massa corporea, kg;

$H_b$  = altezza corporea, m:

Tabella 3.1.1 - Energia metabolica per diverse attività. Da (UNI, 1996).

Classe	Valore da utilizzare nel calcolo dell'energia metabolica media		Esempi
	(W/m <sup>2</sup> )	W	
0 riposo	65	115	Riposo
1 energia metabolica leggera	100	180	Seduto a proprio agio: lavoro manuale leggero (scrittura, battitura a macchina, disegno, taglio, contabilità); lavoro di mani e braccia (piccoli utensili, ispezione, montaggio o cernita di materiale leggero); lavoro con braccia e gambe (guida di un veicolo in condizioni normali, azionamento di un interruttore a piede o a pedale). In piedi: lavoro con trapano (piccoli pezzi); lavoro con fresatrice (piccoli pezzi); avvolgimento bobine; avvolgimento piccole armature; lavoro con macchine di bassa potenza, passeggiata (velocità fino a 3,5 km/h).
2 energia metabolica moderata	165	295	Lavoro sostenuto con mani e braccia (inchiodare, limare); lavoro con braccia e gambe (guida di camion in cantieri, trattori o macchine per costruzioni); lavoro con braccia e tronco (lavoro con martello pneumatico, montaggio di veicoli, intonacatura, manipolazione intermittente di materiale moderatamente pesante, sarchiatura, zappettatura, raccolta di frutta o verdura); spingere o trainare carri leggeri o carriole; camminare a velocità compresa tra 3,5 e 5,5 km/h, fucinare.
3 energia metabolica elevata	230	415	Lavoro intenso con braccia e tronco; portare materiale pesante; scavare con pala; lavorare con martello, segare, piallare o scalpellare legno duro; tosare l'erba a mano, scavare; camminare ad una velocità tra 5,5 e 7 km/h. Spingere o tirare carri e carriole con carichi pesanti, sbavare pezzi fusi, disporre blocchi di cemento.
4 energia metabolica molto elevata	290	520	Attività molto intensa a ritmo prossimo ai valori massimi; lavorare con la scure; scavare in modo intenso; salire scale o rampe; camminare velocemente a piccoli passi, correre, camminare ad una velocità superiore a 7 km/h.

## abbigliamento

Tabella 2.II

Vestito	Resistenza [clo]
Estivo (uomo)	0,5
Estivo (donna)	0,3
Invernale (uomo)	1
Invernale (donna)	0,7
Invernale pesante	1,5

$$1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2\text{K/W}$$

## Condizioni di comfort invernale

Secondo la Normativa *ISO 7730*, che recepisce il criterio di qualificazione di un ambiente mediante la percentuale di insoddisfatti, le condizioni di comfort sono quelle riportate dalla tabella seguente, una volta fissate le condizioni di attività e di abbigliamento delle persone

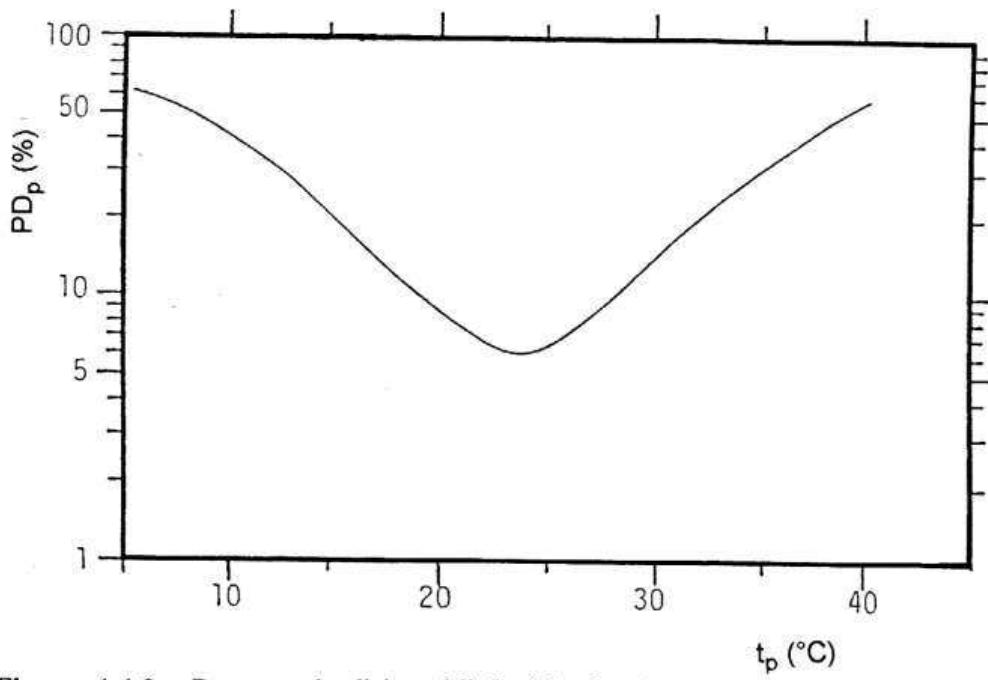
**Tabella 2.IV** Inverno (1 clo, 1,2 met).

<b>Variabile</b>	<b>Condizione</b>
Temperatura operativa	20-24 °C (con UR = 50%)
Gradiente verticale temperatura aria	max 3 °C tra 0,1 e 1,1 m
Asimmetria temperatura radiante	max 10 °C orizzontali max 5 °C verticali
Velocità dell'aria	max 0,15 m/s
Temperatura pavimento	19-29 °C

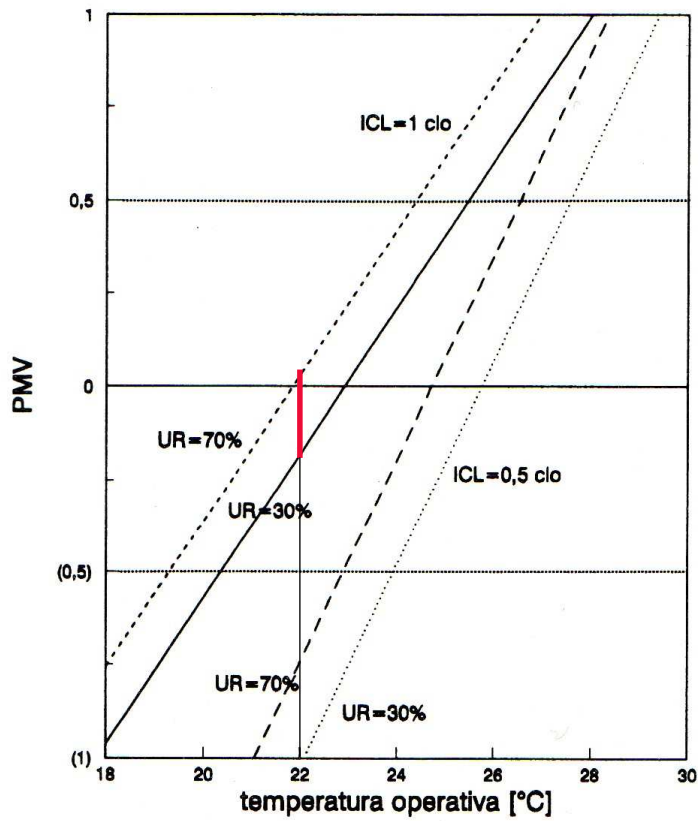
## Condizioni di comfort estivo

**Tabella 2.V** Estate (0,5 clo, 1,2 met).

<b>Variabile</b>	<b>Condizione</b>
Temperatura operativa	23-26 °C (con UR = 50%)
Gradiente verticale temperatura aria	max 3 °C tra 0,1 e 1,1 m
Velocità dell'aria	max 0,25 m/s

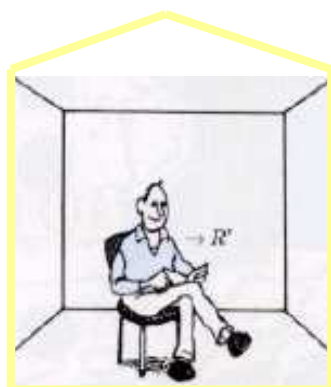


**Figura 4.4.3** - Percentuale di insoddisfatti in funzione della temperatura del pavimento,  $PD_p$ , per persone con scarpe e calze normali. Da (Fanger, 1986).

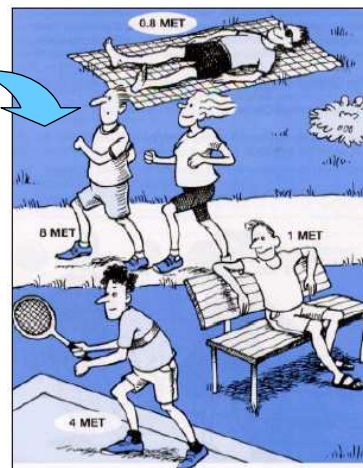
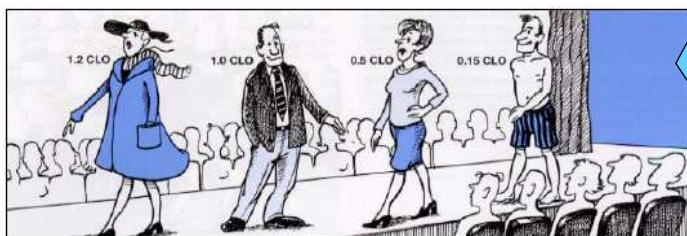


**Fig. 2.1** Influenza della umidità relativa sul PMV.

# Principali parametri fisici del benessere termoigrometrico

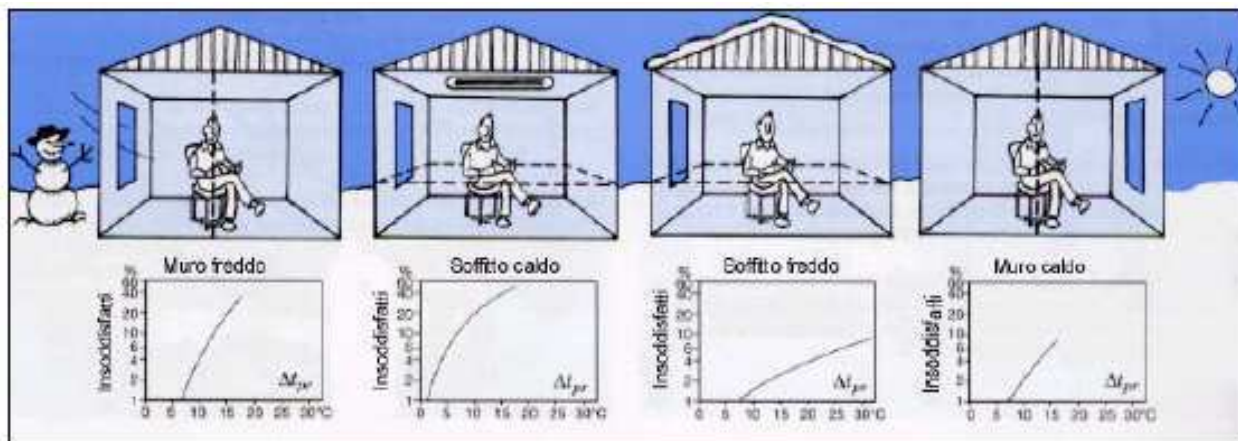


- t aria (°C)
  - t pareti (°C)
  - UR (%)
  - v aria (m/s)
  - Attività svolta (met)
  - Abbigliamento (clo)
- t operativa (°C)



## Discomfort termico locale

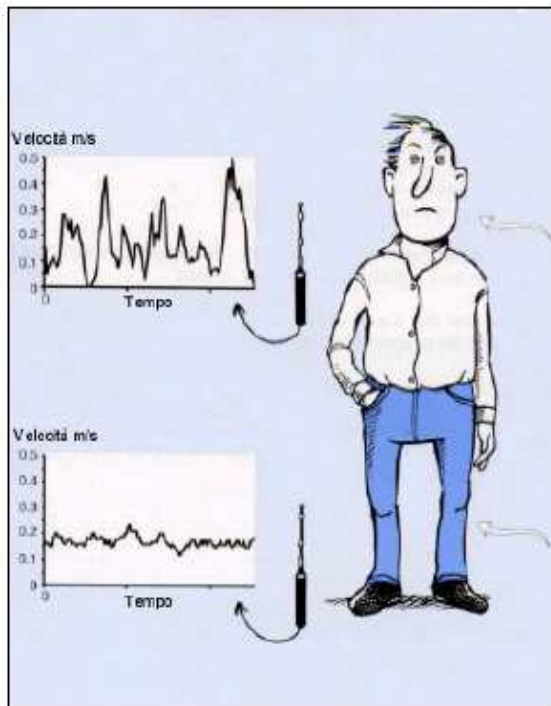
Asimmetria della temperatura piana radiante in verticale ed in orizzontale



**≤ 10°C superfici verticali**

**≤ 5°C superfici orizzontali**

## Discomfort termico locale

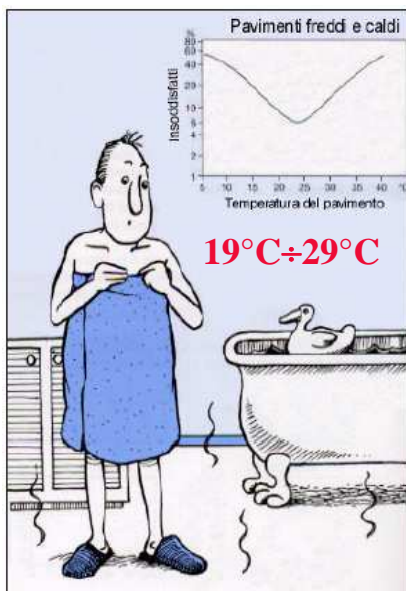


Correnti d'aria

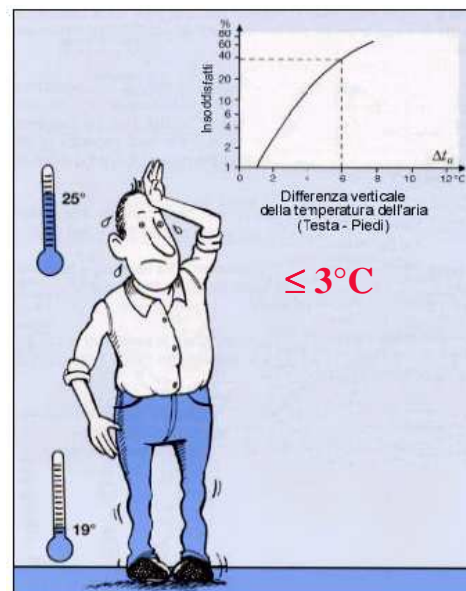
$\leq 15\%$

## Discomfort termico locale

Temperatura superficiale  
del pavimento



Gradiente verticale di  
temperatura dell'aria

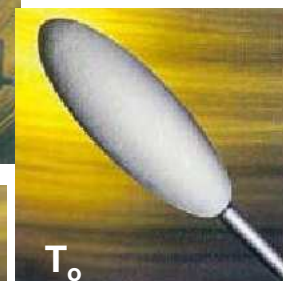


## Valutazione del comfort termoisgrometrico in opera



- misure spot
- monitoraggio ambientale
- analisi statistica dei dati e calcolo degli indici di comfort

## Valutazione del comfort termoisgrometrico



Esempi di sonde per la misura del comfort termoisgrometrico e degli indici di comfort