

Comfort
termoigrometrico

Prof. Marina Mistretta

Benessere termico

Il **benessere termico** è definito come lo stato di piena soddisfazione del soggetto nei confronti dell'ambiente termico.

La condizione di "*benessere termico*" viene definita come "quello stato della mente che esprime la soddisfazione verso l'ambiente termico "(ISO 7730).



Benessere termico

Stagione	T aria	UR	Velocità aria
Inverno	19-22°	40-50%	0,01-0,1 m/s
Estate	24-26°	50-60%	0,1-0,2 m/s

Fisiologia

Per analizzare le condizioni di benessere un punto di partenza è dato dalla necessità di OMOTERMIA dell'organismo umano cioè dalla necessità di mantenere costante la temperatura del nucleo del corpo a circa 37°C entro il ristretto margine di mezzo grado..

Il mantenimento **dell'omeotermia**, necessaria allo svolgimento delle reazioni chimiche fisiologiche del corpo umano, viene garantito da un opportuno meccanismo di termoregolazione, mediante l'equilibrio di due fattori: **la generazione e la dispersione di calore.**

LA TERMOREGOLAZIONE DEL CORPO UMANO

Generazione e Dispersione di calore.

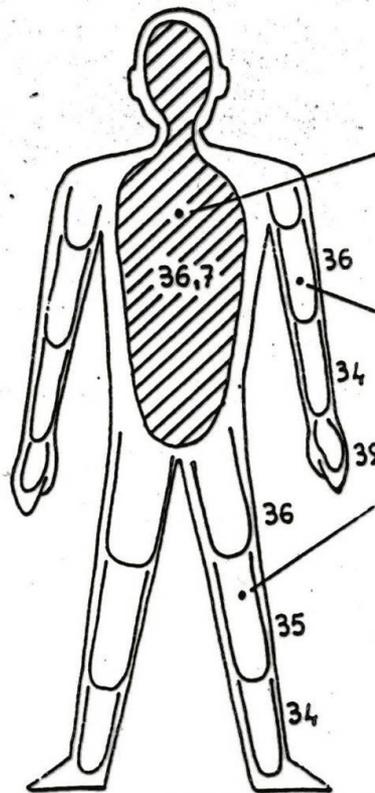
Il primo è conseguenza dei processi chimici subiti dalle sostanze alimentari (metabolismo), mentre il secondo è conseguenza del fatto che la temperatura interna del corpo è superiore a quella dell'ambiente in cui l'uomo vive.



Nucleo e Mantello

LA VARIABILITA' DELLA TEMPERATURA SUPERFICIALE
GARANTISCE LA COSTANZA DI QUELLA DEL NUCLEO

16



NUCLEO- a temperatura
stabile
($36,7^{\circ}\text{C} \pm 0,2$)

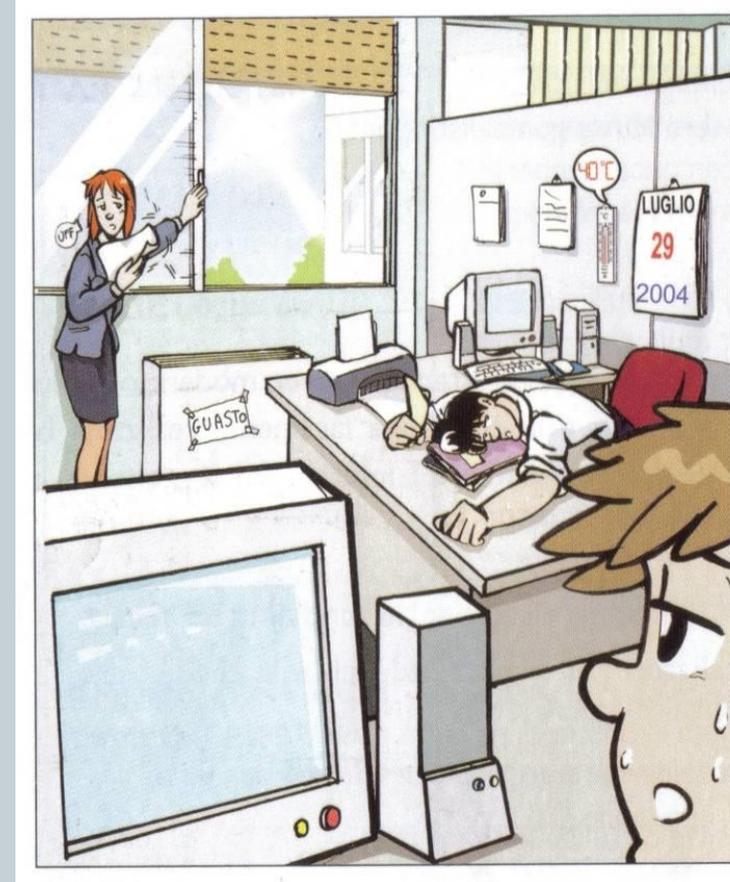
MANTELLLO- a temperatura
variabile
da zona a zona

Sistema di termoregolazione

Quando la temperatura dell'ambiente supera quella del corpo, c'è una trasmissione di calore verso il corpo.

Quando il corpo diventa troppo caldo, questo reagisce con la sudorazione al fine di raffreddarlo:

I vasi sanguigni si dilatano. Aumenta il flusso sanguigno che provoca la **sudorazione**.

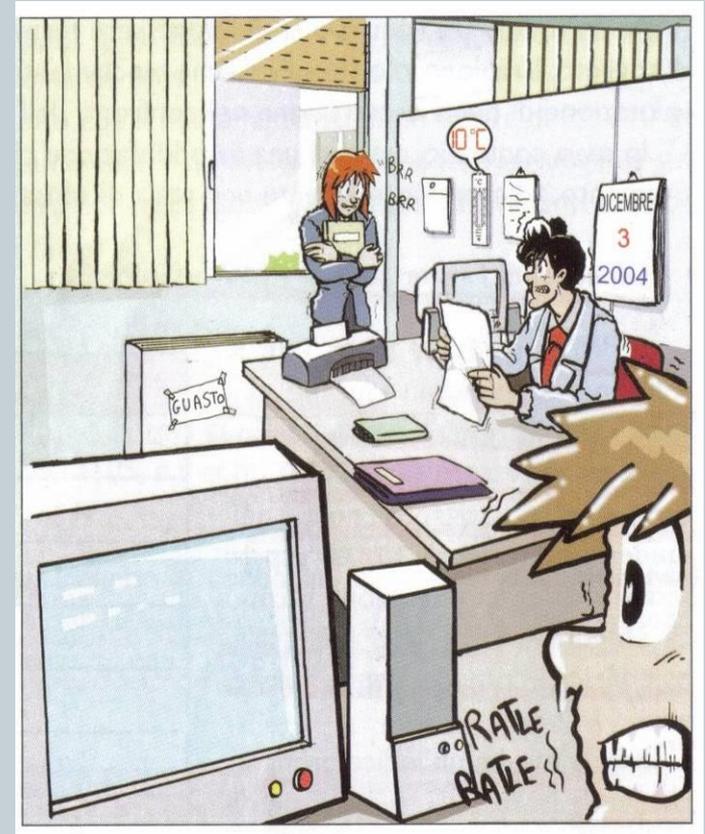


Sistema di regolazione

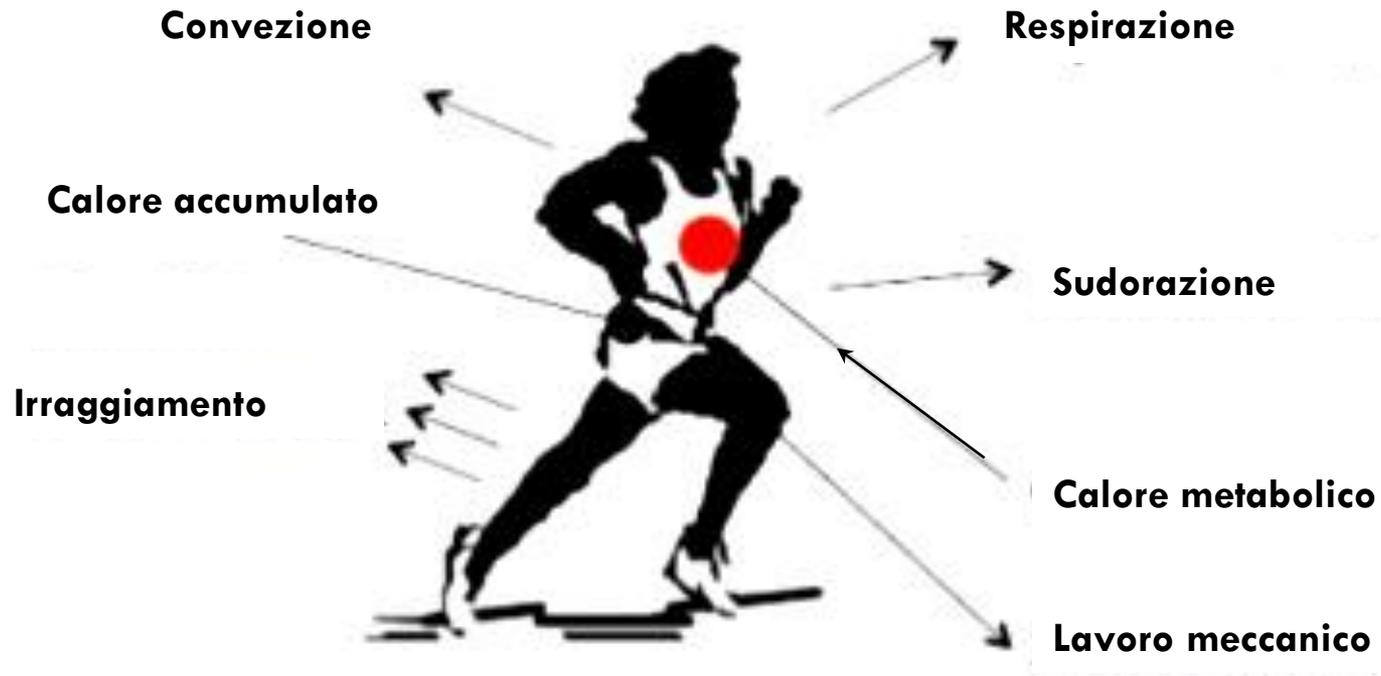
Quando il corpo diventa troppo freddo:

I vasi sanguigni riducono l'afflusso di sangue attraverso la pelle.

Aumenta la produzione del calore interno attraverso lo stimolo dei muscoli che causano i **brividi**.



SCAMBI TERMICI TRA CORPO E AMBIENTE



Il benessere termoisometrico è garantito quando vi è **equilibrio tra produzione interna di energia termica e gli scambi di energia termica tra corpo e ambiente.**

Viceversa, situazioni di disequilibrio comportano scostamenti delle temperature corporee dai valori ottimali e, quindi, condizioni di disagio termico.

Meccanismi di termoregolazione

Esistono due tipi di termoregolazione

in ambienti freddi



vasocostrizione con diminuzione dell'afflusso di sangue verso la periferia

in ambienti caldi



vasodilatazione con aumento dell'afflusso di sangue alla periferia



EFFETTI

in ambienti freddi



brivido

in ambienti caldi



sudorazione

Bilancio Energetico

Lo scambio termico che si instaura tra uomo ed ambiente può essere descritto a partire dal primo principio della termodinamica applicando al sistema corpo umano:

$$C \cdot \Delta T = (M - W) - (Q_{c,res} + Q_{ev,res} + C + R + K + Q_{ev})$$

M = potenza termica prodotta dai processi metabolici

W = potenza meccanica impegnata per compiere lavoro meccanico;

Q_{ev} = potenza termica dispersa attraverso la pelle;

Q_{c,res}+Q_{ev,res} = potenza termica dispersa per respirazione;

K = potenza termica scambiata per conduzione;

C = potenza termica scambiata per convezione;

R = potenza termica scambiata per irraggiamento;

Bilancio Energetico

$$C \cdot \Delta T = (M - W) - (Q_{c,res} + Q_{ev,res} + C + R + K + Q_{ev})$$

- il tasso metabolico e il lavoro meccanico dipendono dall'attività dell'individuo, **M**;
- lo scambio sensibile **Q_{c,res}** per respirazione dipende dall'attività dell'individuo, **M**, e dalla temperatura dell'aria, **t_a**;
- lo scambio latente per respirazione **Q_{ev,res}** dipende dall'attività dell'individuo, **M**, e dall'umidità dell'aria, normalmente espressa in termini di pressione parziale del vapor d'acqua, **p_a**;
- lo scambio sensibile per convezione **C** dipende dalla resistenza termica dell'abbigliamento indossato, **I_{cl}**, dalla temp. degli abiti, **t_{cl}**, dalla temperatura, **t_a**, e dalla velocità dell'aria, **v_a**;

Bilancio Energetico

$$C \cdot \Delta T = (M - W) - (Q_{c,res} + Q_{ev,res} + C + R + K + Q_{ev})$$

- lo scambio sensibile per irraggiamento **R** dipende dalla resistenza termica dell'abbigliamento indossato, **Icl**, dalla temp. degli abiti, **t_{cl}**, e dalla temperatura media radiante, **t_r**;
- lo scambio sensibile per conduzione **K** è in genere trascurabile;
- lo scambio latente attraverso la pelle **Q_{ev}** dipende dalla percentuale di pelle bagnata, dall'umidità dell'aria e dalla resistenza degli abiti.

Bilancio Energetico

Esprimendo i termini dell'equazione di bilancio in funzione delle variabili si ottiene la seguente equazione:

$$C \cdot \Delta T = f(M, I_{cl}, t_a, p_a, v_a, t_{mr}, t_s, Q_{ev})$$

Variabili soggettive **Variabili microclimatiche** **Variabili fisiologiche**

Perché non vi sia accumulo o dispersione di calore dal nucleo del corpo è necessario che la T corporea rimanga costante ($\Delta T=0$), ovvero:

$$f(M, I_{cl}, t_a, p_a, v_a, t_{mr}, t_s, Q_{ev}) = 0$$

Bilancio Energetico

$C\Delta T=0$ - viene stabilita la condizione di omeotermia
(*sensazione termicamente neutra*)

$C\Delta T>0$ - la potenza termica in ingresso è maggiore di quella in uscita, con conseguente sensazione di caldo.

$C\Delta T<0$ - al contrario, la potenza termica in ingresso è minore di quella in uscita, con conseguente sensazione di freddo.

Bilancio Energetico

M = Metabolismo energetico=f(attività)

Gli alimenti e le bevande ingeriti dall'uomo vengono trasformati mediante reazioni di ossidazione esoenergetiche, che convertono l'energia chimica dei cibi in energia termica.

- 1) Metabolismo basale ($43\text{W}/\text{m}^2$);
- 2) Attività dell'individuo.

La produzione di M è legata anche alle dimensioni dell'individuo:

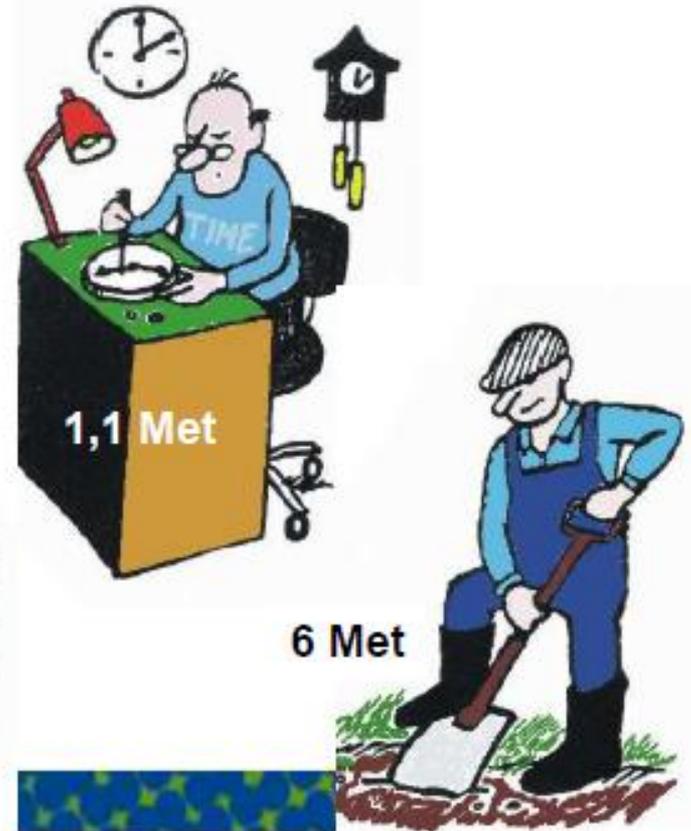
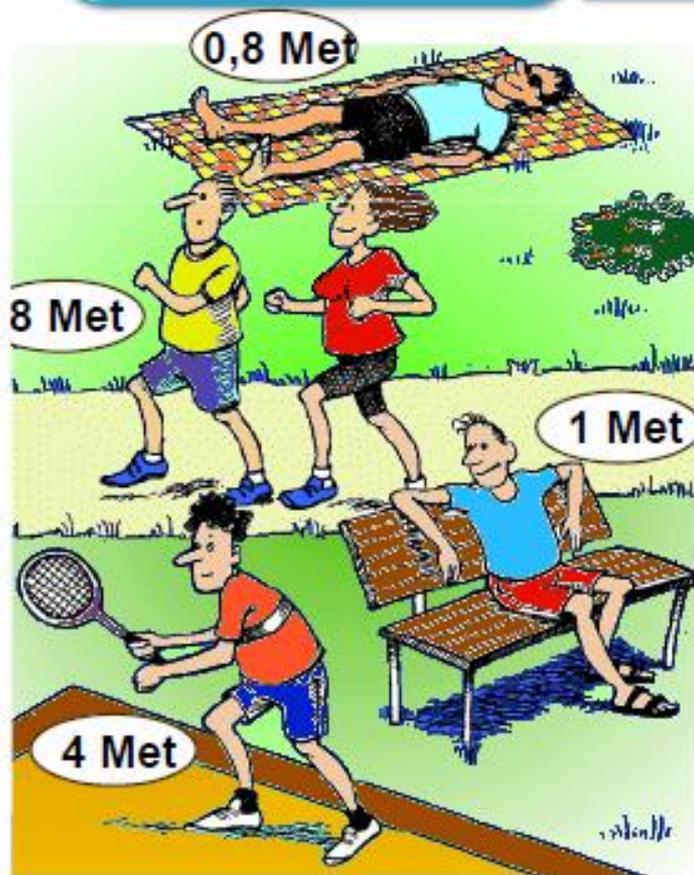
$$A_{du} = 0,202M_c^{0,425}h^{0,725}$$

Unità di misura: *met* $1\text{met} = 58.1 \text{ W}/\text{m}^2$

Attività metabolica

ATTIVITÀ METABOLICA

- dipende dall'attività fisica svolta, dalle condizioni in cui si svolge e dal tipo di persona (età, costituzione, salute,...)
- Si esprime in "Met", definito come la potenza metabolica emessa da una persona seduta e in quiete:
 $1 \text{ met} = 58,1 \text{ W/m}^2$ (superficie corporea = $1,7 \text{ m}^2$)



Occupazione	Energia metabolica (W/m²)
Artigiani	
Muratore	110 – 160
Falegname	110 – 175
Vetraio	90 – 125
Imbianchino	100 – 130
Panettiere	110 – 140
Macellaio	105 – 140
Orologiaio	55 – 70
Industria	
Fabbro	90 – 200
Saldatore	75 – 125
Tornitore	75 – 125
Operatore alla fresa	80 – 140
Meccanico di precisione	70 – 110
Agricoltura	
Giardiniere	115 – 90
Conduuttore di trattore	85 – 110
Professioni varie	
Insegnante	85 – 100
Commessa	100 – 120
Segretaria	70 – 85

Energia metabolica per varie occupazioni.

Il meccanismo latente opera sia per evaporazione del sudore che per traspirazione attraverso i pori dell'epidermide che nel processo di respirazione.

Per quanto riguarda il meccanismo sensibile risulta fondamentale valutare l'influenza del vestiario, la cui capacità isolante viene normalmente espressa con un'apposita unità incoerente, il **clo**:

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

1 clo = resistenza termica di un abito europeo di mezza stagione

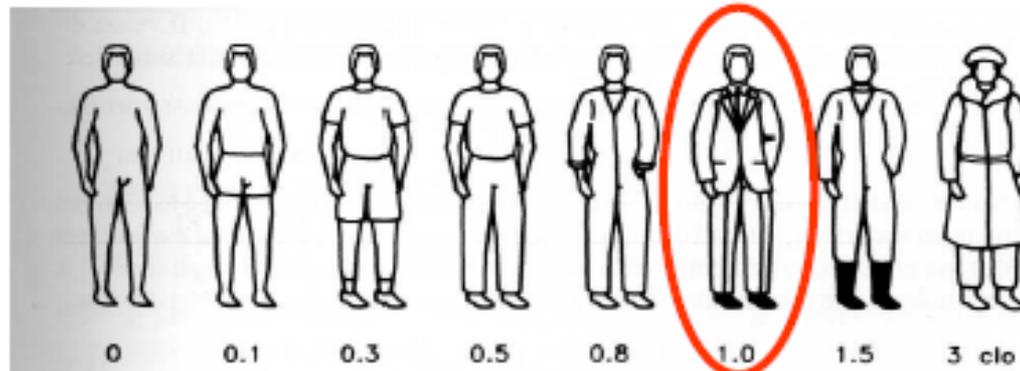


Fig. 3.4 Isolamento termico in funzione del vestiario.

Resistenza termica dell'abbigliamento

La resistenza termica dell'abbigliamento rappresenta la resistenza al flusso di calore opposta dai vestiti e dallo strato d'aria presente tra i vestiti e la pelle.

E' un valore medio riferito all'intero corpo abbigliato e tiene conto anche delle parti scoperte del corpo, come la testa e le mani.

La resistenza termica è espressa nel sistema internazionale in $m^2\text{°C}/W$, ma, normalmente viene utilizzata un'unità di misura incoerente, il clo, tale che

$$**1 clo = 0.155 m^2\text{°C}/W.**$$

RESISTENZA DELL'ABBIGLIAMENTO

È la resistenza termica relativa al
vestiario che indossiamo

Si esprime in “Clo”:

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



Resistenza termica dell'abbigliamento

Si fa ricorso alle tabelle contenute nella ISO 9920.

Esistono due tipologie di tali tabelle:

- quelle contenenti la resistenza termica di tipiche combinazioni di capi di vestiario
- quelle contenenti i valori di resistenza dei singoli capi.

Utilizzando quest'ultima categoria di tabelle, che consentono una stima più accurata, la resistenza termica complessiva è ottenuta come somma delle resistenze termiche dei singoli capi.

Combinazioni tipiche di abbigliamento	I_{cl} (clo)	I_{cl} (m²°C/W)
Da lavoro		
Mutande, tuta da lavoro, calzini, scarpe	0.70	0.110
Mutande, camicia, pantaloni, calzini, scarpe	0.75	0.115
Mutande, camicia, tuta da lavoro, calzini, scarpe	0.80	0.125
Mutande, camicia, pantaloni, giacca, calzini, scarpe	0.85	0.135
Mutande, camicia, pantaloni, grembiule, calzini, scarpe	0.90	0.140
Biancheria intima a maniche e gambe corte, camicia, pantaloni, giacca, calzini, scarpe	1.00	0.155
Biancheria intima a maniche e gambe corte, camicia, pantaloni, tuta, calzini, scarpe	1.10	0.170
Biancheria intima a maniche e gambe corte, camicia, pantaloni, giacca, giacca con imbottitura pesante, tuta, calzini, scarpe	1.85	0.285
Biancheria intima a maniche e gambe lunghe, giacca termica e pantaloni, giacca termica per l'esterno e pantaloni, calzini, scarpe	2.20	0.340
Giornaliero		
Slip, maglietta, pantaloncini, calzini leggeri, sandali	0.30	0.050
Slip, camicia a maniche corte, gonna, calze, sandali	0.55	0.080
Mutande, camicia, pantaloni leggeri, calzini, scarpe	0.60	0.095
Slip, sottoveste, calze, abito, scarpe	0.70	0.105
Slip, camicia, gonna, maglione a girocollo, calzettoni spessi al ginocchio, scarpe	0.90	0.140
Slip, camicia, pantaloni, giacca, calzini, scarpe	1.00	0.155
Slip, blusa, gonna lunga, giacca, calze, scarpe	1.10	0.170
Biancheria intima a maniche e gambe lunghe, camicia, pantaloni, maglione con scollo a V, giacca, calzini, scarpe	1.30	0.200
Biancheria intima a maniche e gambe corte, camicia, pantaloni, gilet, giacca, cappotto, calzini, scarpe	1.50	0.230

Capo di abbigliamento	I _{cl} (clo)
Maglieria intima Slip Maglia a maniche corte Maglia a maniche lunghe	0.03 0.09 0.12
Camicie Leggera, a maniche corte Leggera, a maniche lunghe Di flanella, a maniche lunghe	0.15 0.20 0.30
Pantaloni Corti Leggeri Normali	0.06 0.20 0.25
Abiti – gonne Gonna leggera (estiva) Gonna pesante (invernale) Abito leggero, a maniche corte Abito invernale, a maniche lunghe	0.15 0.25 0.20 0.40
Maglioni Gilet Maglione leggero Maglione pesante	0.12 0.20 0.35
Giacche Giacca leggera (estiva) Giacca pesante (invernale)	0.25 0.35
Accessori Calzini Calzini pesanti lunghi Calze di nylon Scarpe (suola sottile)	0.02 0.10 0.03 0.02

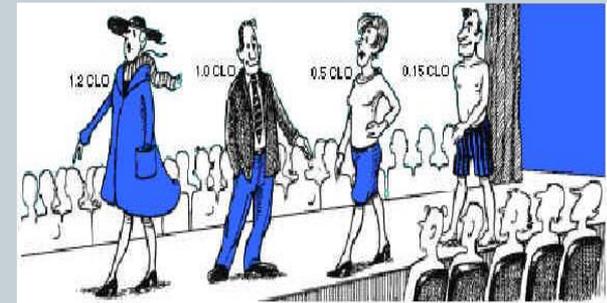
Bilancio Energetico

C = Potenza dispersa per convezione

La superficie esterna del corpo umano si troverà normalmente ad una T diversa da quella dell'aria che lo circonda.

Scambio convettivo

$$C = f_{cl} A_{du} h_c (t_{cl} - t_a)$$



f_{cl} = coefficiente di area dell'abbigliamento;

h_c = coefficiente di convezione abiti-aria ($W/m^2\text{°C}$);

t_{cl} = temperatura media della superfciie esterna del corpo umano
abbigliato (°C);

t_a = temperatura dell'aria ambiente(°C).

Bilancio Energetico

R= Potenza dispersa per irraggiamento

La maggior parte delle attività dell'uomo avviene normalmente in spazi confinati in cui le temperatura delle superfici dell'involucro sono spesso differenti dalle temperature del corpo umano.

$$R = A_{eff} \sigma \varepsilon \left[(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mr} + 273)^4 \right]$$

in cui:

A_{eff} = aria della superficie efficace del corpo umano (m^2);

σ = costante di Stefan-Boltzmann ($5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$)

ε = emissività della superficie esterna del corpo abbigliato (0,97)

t_{mr} = temperatura media radiante ($^{\circ}\text{C}$)

Bilancio Energetico

Le potenze termiche scambiate per convezione ed irraggiamento dipendono da:

- temperatura superficiale del vestiario
- temperatura dell'aria e temperatura media radiante
- velocità relativa fra soggetto ed aria (nulla per convezione naturale)
- abbigliamento del soggetto.

Bilancio Energetico

K = Potenza dispersa per conduzione

È quell'aliquota che viene dispersa durante il contatto diretto con corpi solidi.

La sua valutazione è difficile e poiché la sua entità è modesta, in genere, viene **trascurata**.

Microclima e Misure

Temperatura dell'aria t_a

Per temperatura dell'aria si intende la temperatura dell'aria attorno alla persona al di là dello strato limite adiacente alla persona.

Tale temperatura va misurata ad un'altezza di 0,6 m dal suolo per persone sedute e di 1 m per persone in piedi.

Per la misura è opportuno usare strumenti con $10 < t < 30$ °C, con una precisione di $\pm 0,5$ °C

Velocità dell'aria v_a

La **velocità dell'aria** interviene negli scambi termici per convezione.

Nella valutazione del comfort si fa riferimento alla velocità relativa dell'aria per tener conto del movimento del soggetto all'interno dell'ambiente.

Nota la velocità dell'aria, la velocità relativa viene calcolata con la seguente espressione, funzione del metabolismo energetico:

$$v_{ar} = v_a + 0,0052 (M - 58)$$

Microclima e Misure

Velocità dell'aria

L'ISO raccomanda:

$v < 0,15$ m/sec in inverno;

$v < 0,25$ m/sec in estate;

Per la misura è necessario usare strumenti che consentano di misurare $0,05 < v < 1$ m/s, con una precisione di $\pm 0,05^\circ\text{C}$

Microclima e Misure

Umidità dell'aria

L'umidità relativa dell'aria influenza solo marginalmente la sensazione termica di soggetti posti in ambiente termicamente moderati.

L'ISO propone come intervallo di comfort quello con grado igrometrico compreso tra 0,3-0,7.

Microclima e Misure

Temperatura Media Radiante

Essa dipende:

1. Dalla temperatura di tutte le superfici che si trovano attorno alla persona
2. Dalla posizione dell'individuo rispetto alle superfici stesse.

$$T_{mr}^4 = T_1^4 \cdot F_{p \rightarrow 1} + T_2^4 \cdot F_{p \rightarrow 2} + T_3^4 \cdot F_{p \rightarrow 3} + \dots + T_n^4 \cdot F_{p \rightarrow n}$$

Microclima e Misure

La Temperatura Operativa: t_o

La temperatura operativa dipende dagli scambi radiativi e convettivi e viene calcolata con la relazione:

$$t_o = \frac{h_r t_{mr} + h_c t_a}{h_r + h_c}$$

Microclima e Misure

La Temperatura Operativa: t_o

La ISO 7730 propone due espressioni semplificate da applicarsi quando la velocità relativa dell'aria è bassa (< 0.2 m/s) o quando la differenza tra la temperatura media radiante e la temperatura dell'aria è piccola ($< 4^\circ\text{C}$).

- 1. La prima fornisce un valore della temperatura operativa dipendente dalla velocità relativa dell'aria per mezzo di un coefficiente A:**

$$t_o = A t_a + (1 - A) t_{mr}$$

Velocità relativa dell'aria (m/s)	Coefficiente A
< 0.2	0.5
0.2 – 0.6	0.6
0.6 – 1.0	0.7

Microclima e Misure

La Temperatura Operativa: t_o

La ISO 7730 propone due espressioni semplificate da applicarsi quando la velocità relativa dell'aria è bassa (< 0.2 m/s) o quando la differenza tra la temperatura media radiante e la temperatura dell'aria è piccola ($< 4^\circ\text{C}$).

2. La seconda espressione è una invece semplice media aritmetica dei valori delle due temperature dalle quali la temperatura operativa dipende

$$t_o = \frac{t_a + t_{mr}}{2}$$

Equazione del benessere:

$$f(M, I_{cl}, t_a, p_a, v_a, t_{mr}, t_s, Q_{ev}) = 0$$

Variabili fisiologiche

Variabili soggettive **Variabili microclimatiche**

Una prima condizione perché si abbia benessere è che nell'equazione di bilancio si mantenga costante l'energia interna del corpo.

La verifica dell'equazione di bilancio è però soltanto una condizione necessaria ma non sufficiente per raggiungere il benessere, poiché l'individuo può avvertire una sensazione di caldo o di freddo pur trovandosi in equilibrio termico.

Comfort termico: normativa di riferimento

Normativa di riferimento per ambienti termici moderati	
UNI EN ISO 7730:1997	Ambienti termici moderati. Determinazione degli indici PMV e PPD e specifica delle condizioni di benessere termico
ISO 9920: 1995	Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble
D.L.vo 626/1994	Miglioramento della sicurezza e salute negli ambienti di lavoro
Dir. EU 89/106 DPR 246/1993	Direttiva Europea sui materiali da costruzione e Regolamento di attuazione della Direttiva

METODO SEMPLIFICATO (Fanger)

Il gradimento di un ambiente può essere espresso con il valore medio di una votazione fatta da un campione di persone e basata su una scala di «**sensazione termica**».

+3 molto caldo

+2 caldo

+1 leggermente caldo

0 confortevole

-1 leggermente freddo

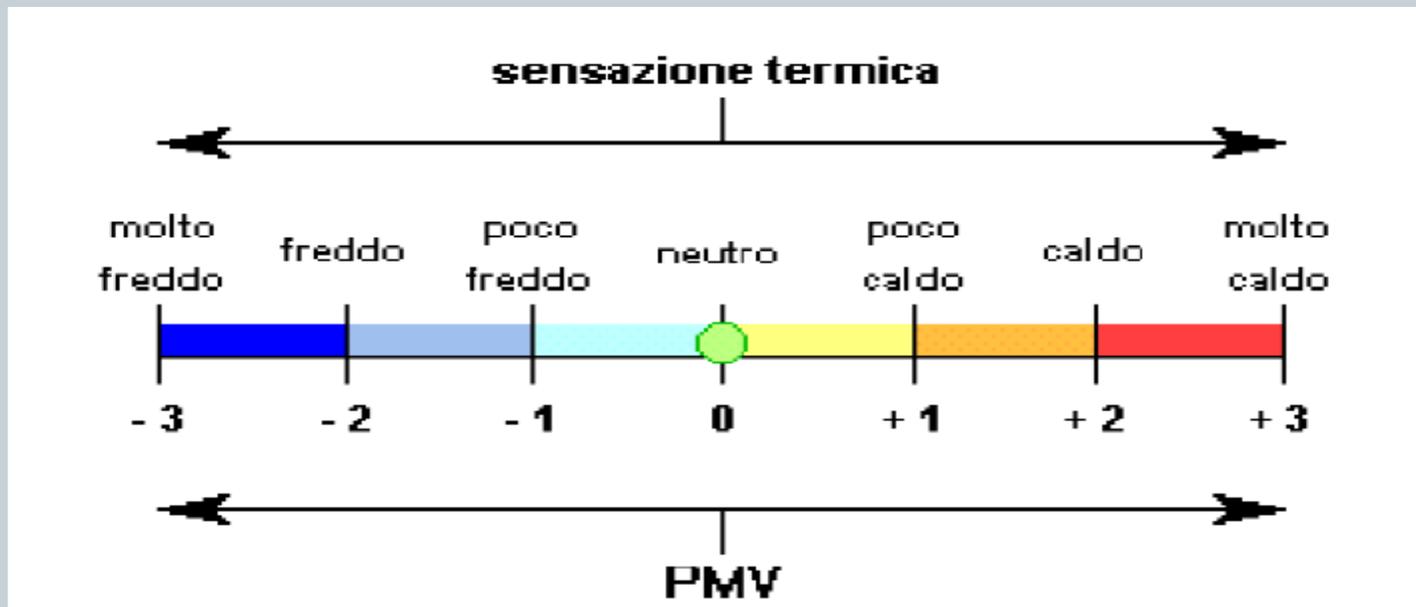
-2 freddo

-3 molto freddo

Indici di Fanger

PMV (Predict Mean Vote)

Esprime un voto medio previsto per la sensazione di benessere termico di un campione di soggetti posti nel medesimo ambiente, i quali esprimono la propria sensazione termica soggettiva attraverso una scala psicofisica comprendente sette voci.



Indici di Fanger

PMV (Predict Mean Vote)

In base a tale indagine, Fanger propose un legame funzionale tra la votazione mediamente espressa da individui sottoposti al medesimo microclima, in uguali condizioni di attività ed abbigliamento, ed il loro carico termico(Q_T).

Quest'ultimo è definito come la differenza tra la produzione interna e la dispersione di calore che l'individuo avrebbe subito, per la stessa attività, se si fosse trovato in condizioni di benessere.

$$PMV = \left(0.303 e^{-0.036M} + 0.028\right) \times Q_T$$

$$PMV = f \left(M, I_{cl}, t_a, p_a, v_{ar}, t_{mr} \right)$$

Indici di Fanger

PPD (predict percentage of dissatisfied)

I voti individuali espressi dai soggetti risultano dispersi rispetto al valore medio dato dal PMV.

Per tale motivo, Fanger introdusse l'indice **PPD**.

Soggetto Insoddisfatto

Una persona che, sottoposta ad un determinato carico termico, esprima una votazione di +3, +2, -2 o -3 della scala di sensazione termica

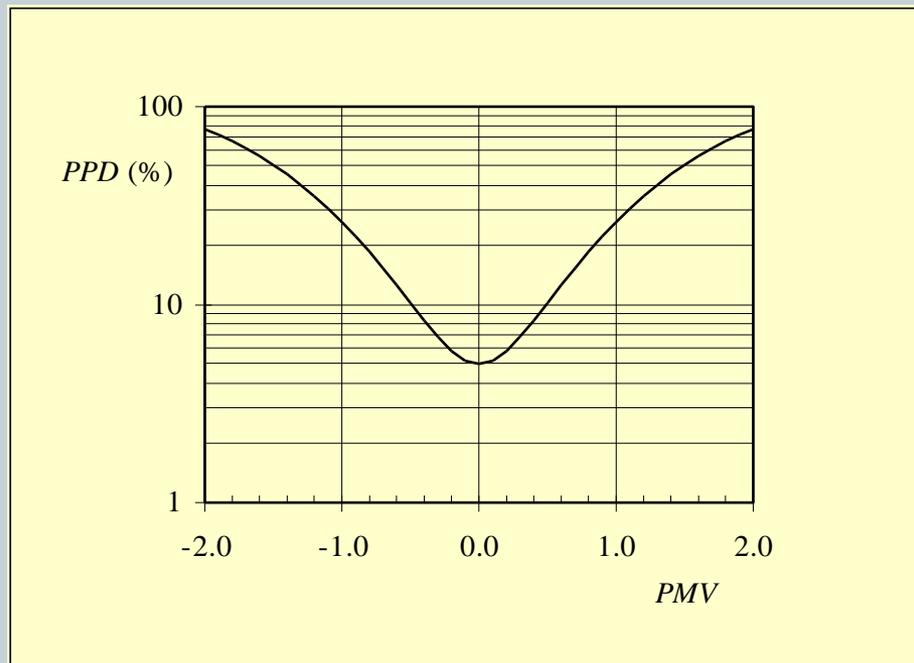
Indici di Fanger

2.2 PPD (predict percentage of dissatisfied)

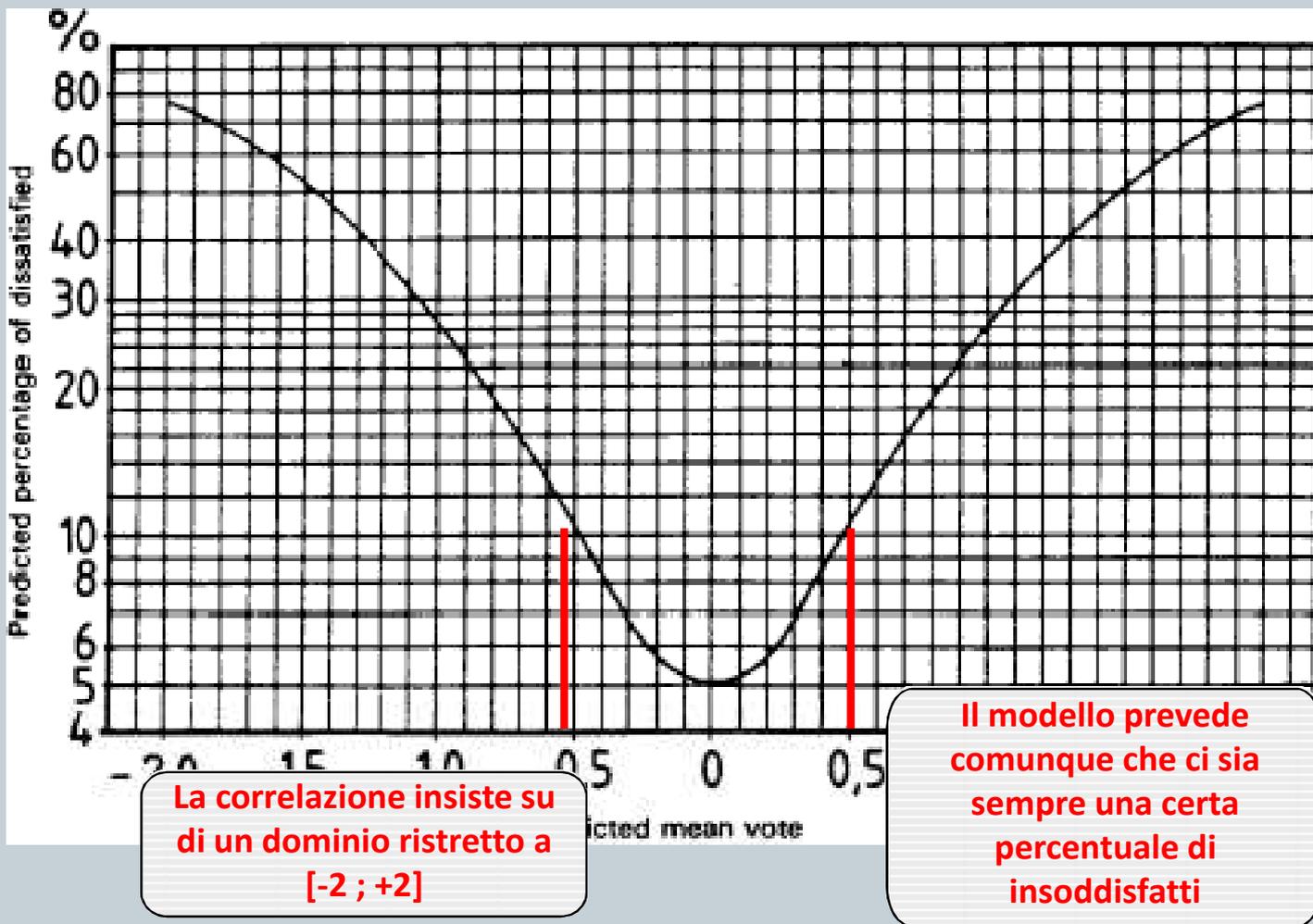
Per ciascun valore del PMV è possibile determinare un corrispondente valore di PPD.

Il legame tra i due parametri è esprimibile per mezzo della seguente equazione:

$$PPD = 100 - 95 e^{-\left(0.03353 PMV^4 + 0.2179 PMV^2\right)}$$



Relazione tra PMV e PPD



Intervallo di comfort termico: $-0,5 < PMV < +0,5$

Valutazione del PMV con le tabelle della norma ISO 7730

La norma ISO 7730 contiene 9 tabelle per il calcolo del PMV.

Ciascuna tabella è riferita

- ad un assegnato livello metabolico
- ad una umidità relativa del 50%;

all'interno di ognuna di esse il valore del PMV è riportato per vari valori

- della resistenza termica
- dell'abbigliamento,
- della temperatura operativa e
- della velocità relativa dell'aria.

Indici di Fanger

ESEMPIO

Si supponga di trovarsi a svolgere:

- attività sedentaria ($M = 1$ met),
- abbigliati con vestiti aventi una resistenza termica di 1 clo,
- in un ambiente con umidità relativa del 50%,
- temperatura dell'aria pari a 19°C ,
- temperatura media radiante di 21°C e
- velocità relativa dell'aria di 0.10 m/s.

$$t_o = \frac{t_a + t_{mr}}{2} = 20^{\circ}\text{C}$$

Indici di Fanger

Tabella . Determinazione del PMV: livello di attività 58 W/m² (1 met).

I_{cl} (clo)	I_{cl}	t_o (°C)	v_{ar} (m/s)								
	(m ² °C/W)		< 0.10	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40	0.50	1.00	
0	0	26	-1.62	-1.62	-1.96	-2.34					
		27	-1.00	-1.00	-1.36	-1.69					
0.25	0.039	24	-1.52	-1.52	-1.80	-2.06	-2.47				
		25	-1.05	-1.05	-1.33	-1.57	-1.94	-2.24	-2.48		
1.00	0.155	20	-0.85	-0.87	-1.02	-1.13	-1.29	-1.41	-1.51	-1.81	
		21	-0.57	-0.60	-0.74	-0.84	-0.99	-1.11	-1.19	-1.47	
		22	-0.30	-0.33	-0.46	-0.55	-0.69	-0.80	-0.88	-1.13	
1.50	0.233	14	-1.36	-1.36	-1.49	-1.58	-1.72	-1.82	-1.89	-2.12	
		16	-0.94	-0.95	-1.07	-1.15	-1.27	-1.36	-1.43	-1.63	

PMV = -0.87.

Il soggetto avrà allora una sensazione di freddo

Discomfort Locale

Si può verificare che, anche per valori accettabili del PMV, il soggetto non sia soddisfatto riguardo all'ambiente circostante

Questo è dovuto a disuniformità nei valori delle variabili ambientali e porta al fenomeno del discomfort localizzato

Condizioni di discomfort localizzato



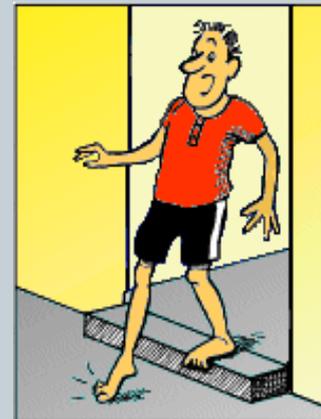
**Correnti
d'aria**



**Asimmetria
radiante**

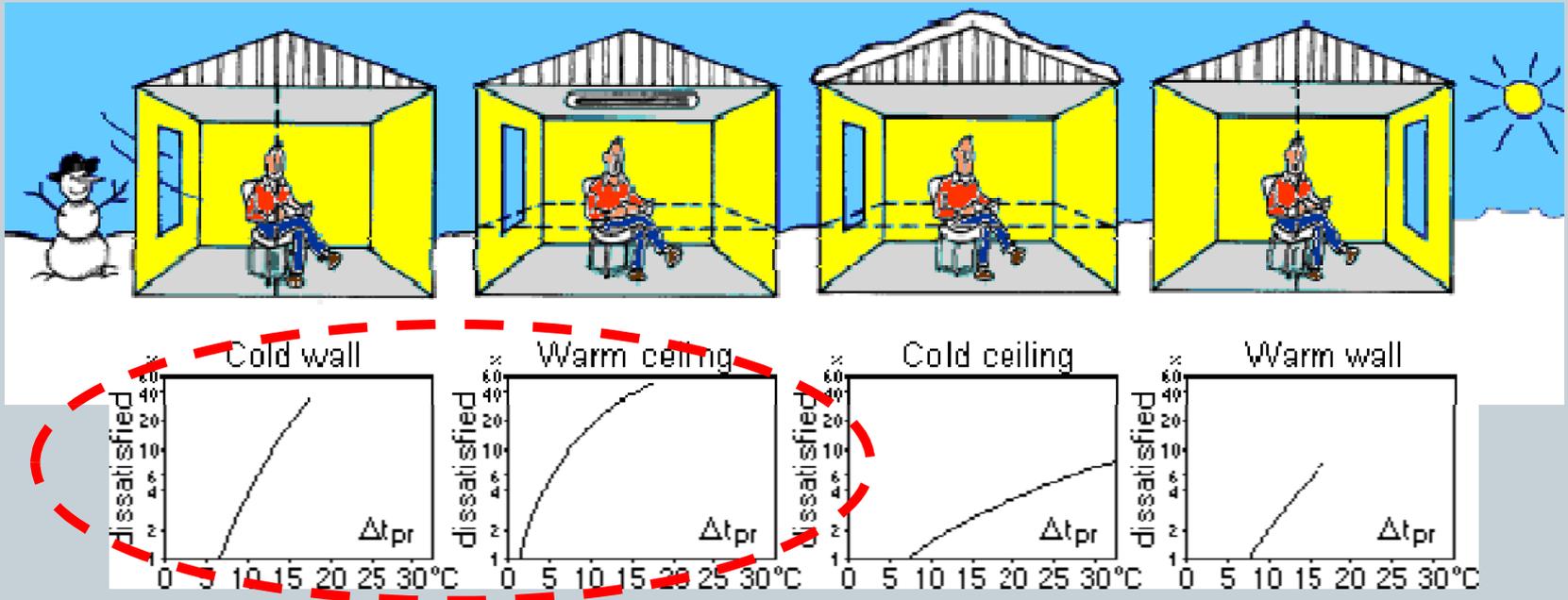


**Gradiente
termico
verticale**



**Temperatura del
pavimento**

Asimmetria radiante

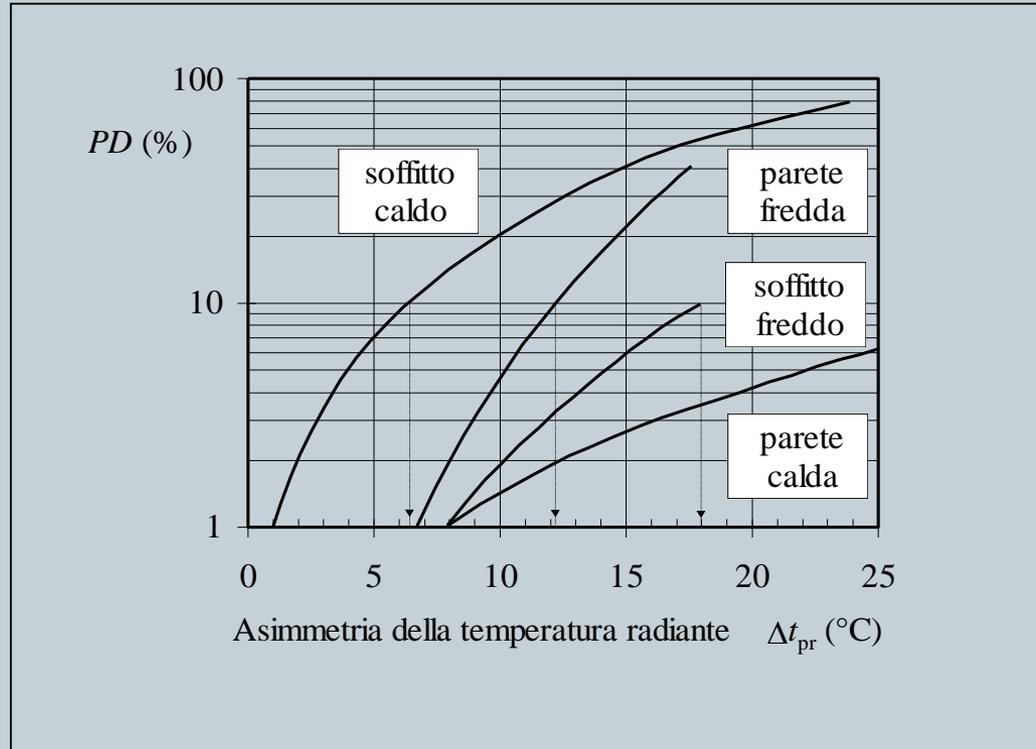


Le persone sono maggiormente sensibili a pareti fredde e a soffitti caldi

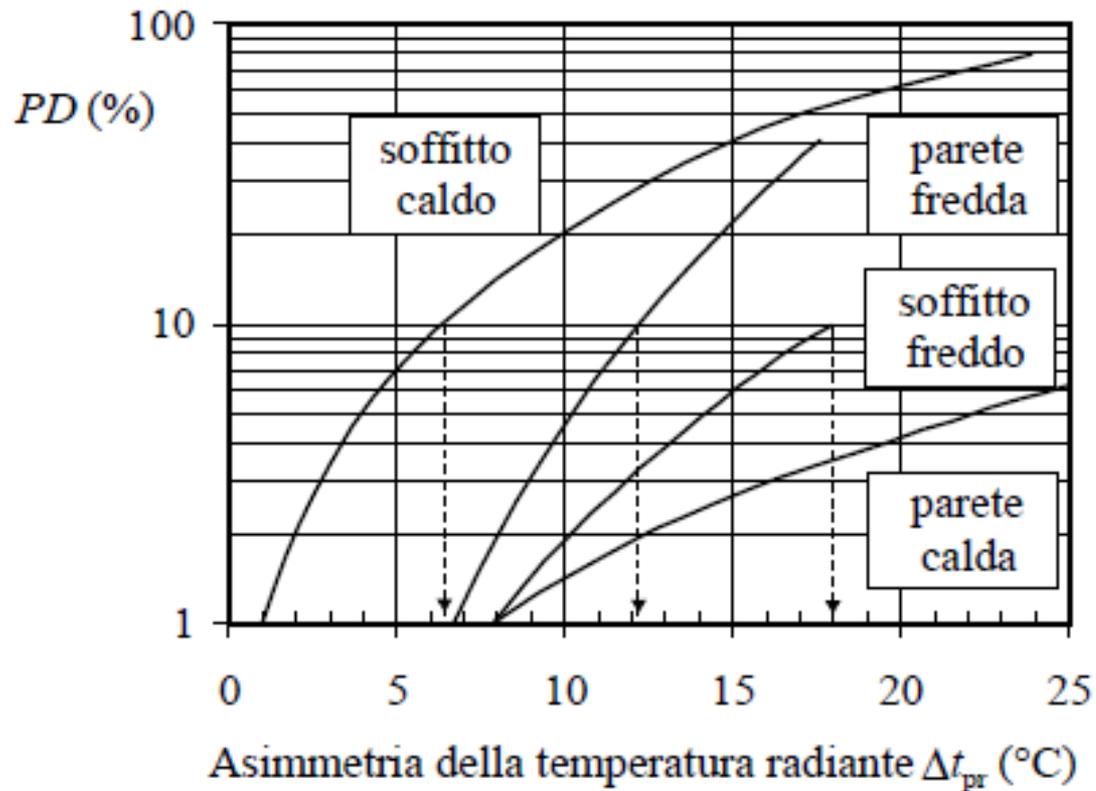
Per ridurre il PPD intorno al 5%: per le pareti fredde $\Delta T < 10 \text{ }^\circ\text{C}$
per i soffitti caldi $\Delta T < 5 \text{ }^\circ\text{C}$

Discomfort Locale

Asimmetria Radiante



Dalla figura si nota che una parete calda comporta meno disagio rispetto ad una fredda, mentre un soffitto caldo determina più disagio di uno freddo.



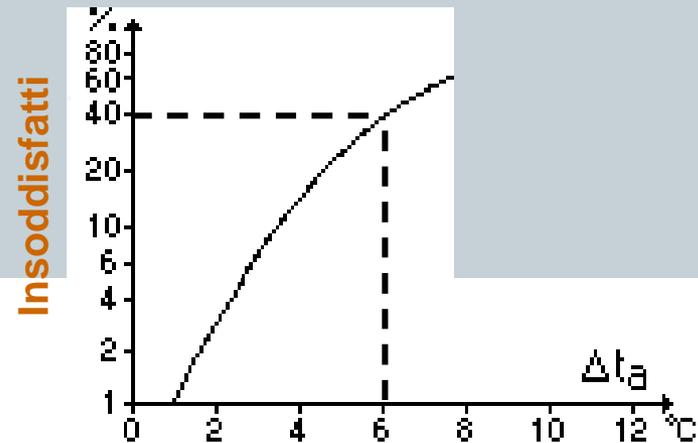
Se si vuole mantenere la percentuale di insoddisfatti al di sotto della soglia del 10% è necessario limitare l'asimmetria radiante a $6,5^\circ\text{C}$ per un soffitto caldo, a 12°C per una parete fredda, a 18°C per un soffitto freddo, mentre **non vi sono praticamente limitazioni per una parete calda.**

Gradiente termico verticale

25 °C



19 °C



Δt_a = differenza tra la temperatura a livello della testa e quella a livello dei piedi.

Discomfort Locale

Temperatura del Pavimento

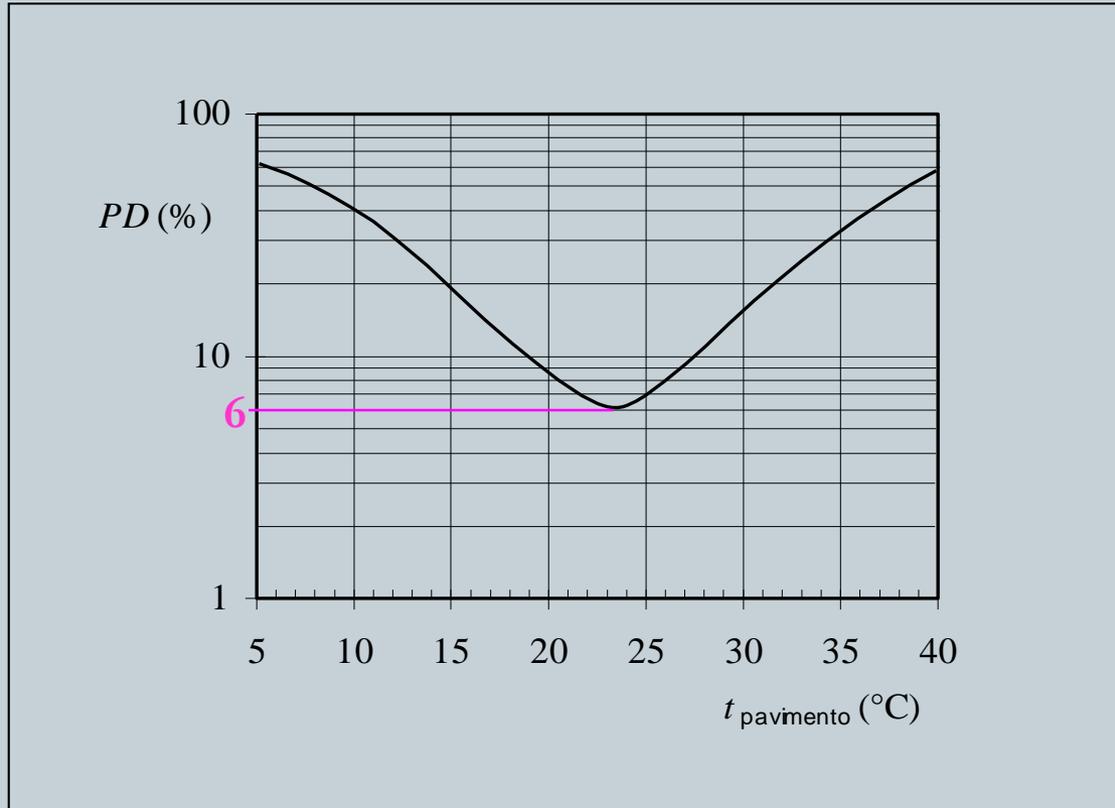
A causa del contatto tra i piedi ed il pavimento possono verificarsi condizioni di discomfort localizzato qualora il pavimento sia troppo caldo o troppo freddo.

La sensazione termica dipende da:

1. tempo di esposizione
2. persone scalze o per persone con scarpe; se un soggetto è scalzo, sarà differente a seconda del tipo di materiale usato per il pavimento.
3. persone sedute o in piedi

Discomfort Locale

T del Pavimento



Percentuale di insoddisfatti in funzione della temperatura del pavimento per persone **in piedi**, in movimento, che indossano scarpe e calze.

Discomfort Locale

Correnti d'aria

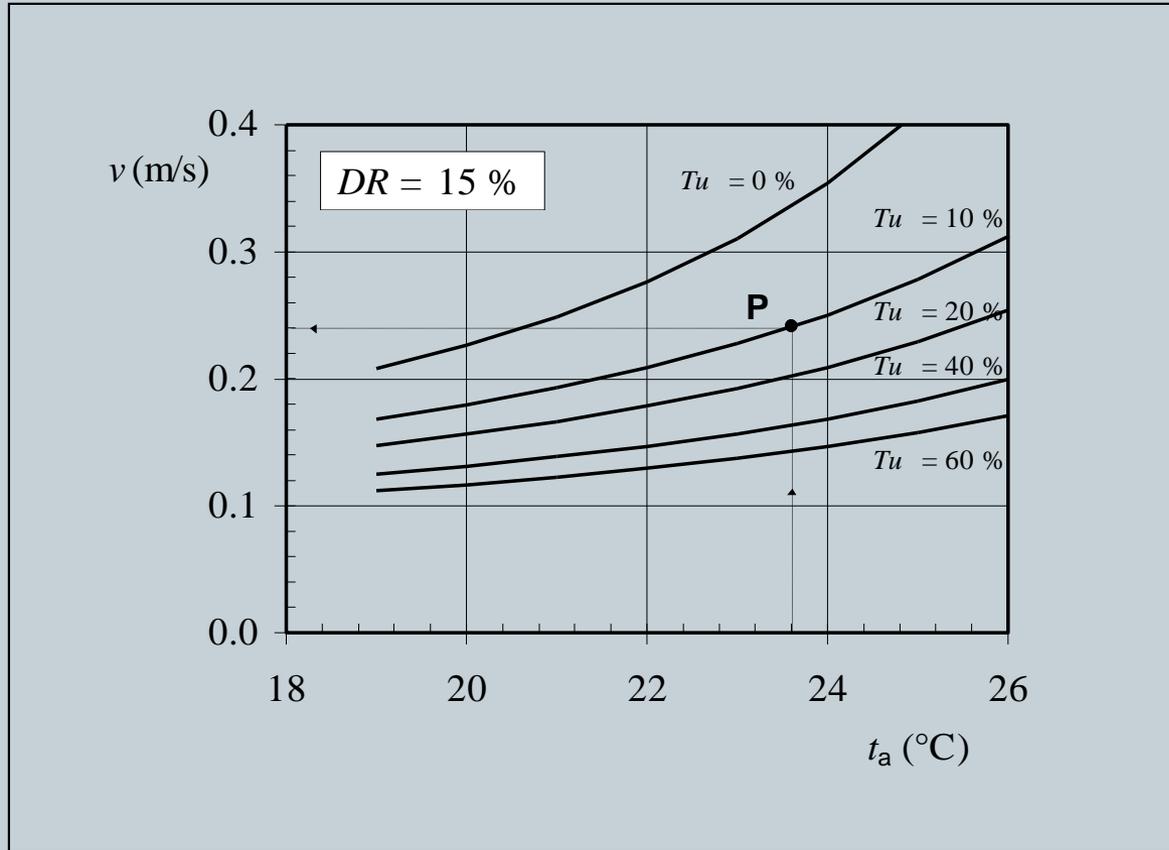
La sensazione di disagio dipende da:

1. temperatura della corrente d'aria (il discomfort diminuisce per alte temperature),
2. differenza della temperatura della corrente d'aria rispetto alla temperatura dell'aria ambiente (il discomfort aumenta all'aumentare di questa quantità),
3. zona del corpo che viene investita dalla corrente (le parti più sensibili sono la testa, il collo e le caviglie)
4. attività dell'individuo (la sensibilità alle correnti diminuisce con l'aumentare dell'attività).

Indice Rischio da correnti d'aria (DR, Draught Rating) che esprime la percentuale di persone che si prevede possano essere infastidite dalla corrente d'aria.

Discomfort Locale

Correnti d'aria



Velocità media dell'aria ammissibile in funzione della temperatura dell'aria e dell'intensità di turbolenza. **Nell'esempio di figura, ad una temperatura dell'aria di 23°C e un'intensità di turbolenza del 10% corrisponde un limite massimo tollerabile di 0.22 m/s per la velocità dell'aria**

La Norma ISO 7730

Grandezza	Periodo invernale	Periodo estivo
Temperatura operativa	20 – 24 °C	23 – 26 °C
Differenza verticale di temperatura	< 3 °C	< 3 °C
Temperatura superficiale del pavimento	19 – 26 °C	non specificata
Asimmetria della temperatura radiante dovuta a finestre o superfici fredde verticali	< 10 °C	non specificata
Asimmetria della temperatura radiante dovuta ad un soffitto caldo riscaldato	< 5 °C	non specificata
Umidità relativa	30 – 70 %	30 – 70 %

Requisiti di benessere raccomandati per attività leggera, fondamentale sedentaria.