

VALUTAZIONE DELLE CONDIZIONI MICROCLIMATICHE AMBIENTALI

INTRODUZIONE

I fattori microclimatici ambientali (temperatura **T_a**, **T_r**; umidità **rh**; ventilazione, **V_a**), unitamente all'intensità dell'impegno fisico svolto, condizionano nell'uomo al lavoro una serie di risposte biologiche graduate che vanno da sensazioni di benessere termoisometrico a sensazioni di disagio (discomfort termico) a vero e proprio impegno termoregolatorio (sudorazione più o meno accentuata), a sindromi patologiche (stress da calore).

Essendo la normativa nazionale carente dal punto di vista tecnico (l'*Allegato IV — Requisiti dei luoghi di lavoro – 1.9 Microclima* al D.Lgs 81/2008 fornisce indicazioni a carattere generale in relazione alla aerazione, temperatura e umidità dei luoghi di lavoro), ci si deve basare sulle indicazioni scientifiche e sulle normative tecniche; queste ultime propongono per la standardizzazione di tali risposte alcuni indici microclimatici di comfort e/o di stress che sono di fondamentale importanza per interpretare le condizioni microclimatiche ambientali nei diversi ambienti termici (moderati, severi caldi, severi freddi) integrate con il tipo di attività svolta dagli addetti.

Per il calcolo di alcuni di tali indici è necessaria la conoscenza:

- del carico di lavoro (dispendio metabolico - MET);
- della impedenza termica del vestiario (Icl).

PARAMETRI NECESSARI PER LA DETERMINAZIONE DEL BILANCIO TERMICO

a) Carico di lavoro

Può essere determinato utilizzando le seguenti unità di misura:

- Kcal/h (1 Kcal/h = 1.163 Watt)

con questa unità viene espressa la potenza media oraria erogata da un soggetto durante una attività lavorativa;

- MET (1 MET = 58.15 Watt/m²)

con questa unità viene espressa la potenza totale media erogata da un individuo durante una attività lavorativa divisa per la superficie corporea dell'individuo .

PRODUZIONE CALORICA	TIPOLOGIA DEL LAVORO
circa 60 Kcal/h	condizioni di riposo
fino a 200 Kcal/h	lavoro leggero
fino a 350 Kcal/h	lavoro medio
fino a 500 – 600 Kcal/h	lavoro pesante

Classificazione del lavoro fisico in base al dispendio energetico in fasce di gravosità per uomo medio di 70 Kg.

ATTIVITA'	MET	WATT/m ²
Sdraiato, a riposo	0.8	46
Seduto, a riposo	1	58
Attività sedentaria (ufficio, abitazione, laboratorio, scuola)	1.2	70
In piedi, a riposo	1.2	70
Attività leggera, in piedi (laboratorio, industria leggera)	1.6	93
Attività media, in piedi (vendita, lavoro domestico, lavoro su macchinari)	2	116
Attività pesante (lavoro pesante su macchinari, garage)	2.8	165

Carichi di lavoro caratteristici (UNI EN ISO 8996)

b) **Impedenza termica del vestiario (Icl):**

l'impedenza termica del vestiario è misurata in CLO;

1 CLO = gradiente termico di 0.18 °C su un'area di 1 m² attraversata da un flusso termico di 1 Kcal/h.

nudità	0 CLO
calzoncini	0,1 CLO
vestiti leggeri estivi	0,5 CLO
insieme di capi leggeri	0,7 CLO
completo invernale	1 – 1,5 CLO

UNI EN ISO 9920/2004

INDICI DI BENESSERE TERMICO IN AMBIENTE MODERATO

Il comfort termico viene definito dalla ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers INC) come una condizione di benessere psicofisico dell'individuo rispetto all'ambiente in cui vive e opera. Questo presuppone il mantenimento della condizione di omeotermia con un modesto intervento dei sistemi di termoregolazione.

La valutazione di tale stato soggettivo può essere oggettivata e quantificata mediante l'utilizzo di indici integrati che tengono conto sia dei parametri microclimatici ambientali (Ta, Tr, Va, rh), sia del dispendio energetico (dispendio metabolico MET) connesso all'attività lavorativa, sia della tipologia di abbigliamento (isolamento termico CLO) comunemente utilizzato.

In un ambiente termico "moderato" (es. abitazioni, scuole, aule, uffici, ospedali, laboratori di ricerca), tra i suddetti indici quello che con maggiore precisione rispecchia l'influenza delle variabili fisiche e fisiologiche sopracitate sul comfort termico è il **PMV** (Predicted Mean Vote).

Sinteticamente esso deriva dall'equazione del bilancio termico il cui risultato viene rapportato ad una scala di benessere psicofisico ed esprime il parere medio (voto medio previsto) sulle sensazioni termiche di un campione di soggetti alloggiati nel medesimo ambiente.

Dal PMV è derivato un secondo indice denominato **PPD** (Predicted Percentage of Dissatisfied) che quantifica percentualmente i soggetti comunque "insoddisfatti" in rapporto a determinate condizioni microclimatiche.

La ISO (International Organization for Standardization) raccomanda l'uso del **PMV** in presenza dei seguenti ambiti di variazione delle variabili condizionanti il bilancio termico:

- dispendio energetico = 46 ÷ 232 W/m² met
- impedenza termica da abbigliamento = 0 ÷ 2 clo

- temperatura dell'aria = 10 ÷ 30°C
- temperatura radiante media = 10 ÷ 40°C
- velocità dell'aria = 0 ÷ 1 m/sec
- pressione di vapore = 0 ÷ 2,7 Kpa

Il PMV risulta quindi un indice particolarmente adatto alla valutazione di ambienti lavorativi a microclima moderato; esso è utile nel rilevare anche limitati gradi di disagio termico nei residenti in tali ambienti.

La stessa organizzazione precedentemente citata (norma UNI EN ISO 7730/2006) suggerisce per lo stato di comfort termico valori di PMV compresi tra + 0,5 e - 0,5, cui corrisponde una percentuale di insoddisfatti delle condizioni termiche (PPD) inferiore al 10% (vedi tabella seguente).

<i>PMV</i>	<i>PPD %</i>	<i>VALUTAZIONE AMBIENTE TERMICO</i>
+3	100	Molto caldo
+2	75,7	Caldo
+1	26,4	Leggermente caldo
-0,5 < PMV < +0,5	< 10	Accettabilità termica
-1	26,8	Fresco
-2	76,4	Freddo
-3	100	Molto freddo

Scala di valutazione dell'ambiente termico secondo la Norma UNI EN ISO 7730/2006.

DISAGIO LOCALIZZATO

La Norma UNI EN ISO 7730/2006 prevede, ai fini della determinazione del benessere termico, anche la considerazione degli scambi termici localizzati in specifiche aree superficiali dell'organismo. Le tabelle sottostanti riportano i quattro principali fattori coinvolti nella determinazione del disagio localizzato, i rispettivi intervalli di accettabilità e le percentuali massime di "soggetti disturbati" (PD). Per la determinazione dei suddetti fattori è richiesto l'impiego di sonde specifiche, quali anemometro a filo caldo, radiometro netto, termometro di superficie.

CORRENTI D'ARIA	Temperatura, velocità e turbolenza dell'aria
ASIMMETRIA RADIANTE	Asimmetria della temperatura radiante piana
GRADIENTE DI TEMPERATURA	Valori di temperatura dell'aria a quota testa e caviglie
TEMPERATURA DEL PAVIMENTO	T del pavimento

Fattori coinvolti nella determinazione del disagio localizzato.

Fattori	Limite massimo Intervallo di accettabilità	PD massima raccomandata
Correnti d'aria	$V_a < 0.15 \text{ m/s (20°C)}$ $V_a < 0.25 \text{ m/s (26°C)}$	15%
Gradiente di temperatura	$\Delta t_a < 3°C$	5%
Temperatura del pavimento	$19 < t < 29°C$	10%
Asimmetria radiante	$\Delta t_r < 10° \text{ (vert.)}$ $\Delta t_r < 5° \text{ (orizz.)}$	5%

Valori limite per indici di discomfort localizzato secondo la Norma UNI EN ISO 7730/2006.

CLASSI DI QUALITA'

La UNI EN ISO 7730/2006 introduce tre classi di qualità (C, B, A) che, in quest'ordine, sono caratterizzate da requisiti sempre più stringenti, ovvero da intervalli ammessi per gli indici di qualità via via più piccoli. Questo schema a tre classi si applica sia agli indici di *comfort* globale (PMV e PPD) sia agli indici di *discomfort* locale.

La tabella sottostante mostra i valori massimi ammissibili delle percentuali di disturbati. Alcuni di questi criteri sono eccessivamente severi e di difficile applicazione pratica, considerata l'incertezza che grava su alcune delle quantità che intervengono nel calcolo degli indici. Inoltre non vengono definiti i criteri in base ai quali assegnare un ambiente all'una o all'altra classe di qualità.

Classe	Comfort globale		Disagio termico localizzato			
	PMV	PPD	% insoddisfatti da correnti d'aria PD	% insoddisfatti gradiente verticale T	% insoddisfatti T pavimento	% insoddisfatti asimmetria radiante
A	-0.2 ÷ +0.2	< 6%	< 15%	< 3%	< 10%	< 5%
B	-0.5 ÷ +0.5	< 10%	< 20%	< 5%	< 10%	< 5%
C	-0.7 ÷ +0.7	< 15%	< 25%	< 10%	< 15%	< 10%

RIFERIMENTI NORMATIVI

<i>D.Lgs n. 81/2008</i>	<i>Allegato IV — Requisiti dei luoghi di lavoro – 1.9 Microclima</i>
UNI EN ISO 7730	<i>“Ergonomia degli ambienti termici – Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale”</i>
UNI EN 27243	<i>“Ambienti caldi. Valutazione dello stress termico per l’uomo negli ambienti di lavoro, basato sull’indice WBGT”</i>
UNI UN ISO 7933	<i>“Ergonomia dell’ambiente termico. Determinazione analitica ed interpretazione dello stress termico da calore mediante il calcolo della sollecitazione termica prevedibile”</i>
UNI UN ISO 7726	<i>“Ergonomia degli ambienti termici Strumenti per la misurazione delle grandezze fisiche”</i>
UNI EN ISO 8996	<i>“Ergonomia dell’ambiente termico determinazione del metabolismo energetico”</i>
UNI EN ISO 9920	<i>“Ergonomia dell’ambiente termico – Valutazione dell’isolamento termico e della resistenza evaporativi dell’abbigliamento”</i>
UNI EN ISO 9886	<i>“Ergonomia - Valutazione degli effetti termici (thermal strain) mediante misure fisiologiche”</i>
UNI EN ISO 11079	<i>“Valutazione degli ambienti freddi - Determinazione dell’isolamento richiesto dagli indumenti”</i>