

PAF - MICROCLIMA

AMBIENTI CALDI

rev. 1 28/03/2019

Allo stato attuale, la valutazione dello stress prodotto da un ambiente caldo viene effettuata in due modi, utilizzando:

- a) l'indice WBGT, di facile utilizzo per una valutazione preliminare ed esplorativa dell'ambiente in esame;
- b) il modello PHS, procedura utilizzata per una valutazione più approfondita.

2.1.1 Indice WBGT

L'indice WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) è un indice empirico, di facile valutazione, che viene utilizzato in prima battuta per comprendere se l'esposizione ad un determinato ambiente caldo genera o meno stress termico. La stima è grossolana ma permette di comprendere se è necessaria una valutazione più approfondita dell'ambiente in esame.

La norma di riferimento in cui viene descritto l'indice WBGT è la UNI EN ISO 7243:2017: "*Ergonomia degli ambienti termici - Valutazione dello stress da calore utilizzando l'indice WBGT (temperatura globo del bulbo bagnato)*".

Si applica per valutare la presenza o meno di stress termico provocato da un ambiente caldo sia indoor che outdoor, su un soggetto adulto, sia maschio che femmina.

La valutazione avviene attraverso i seguenti passi:

- a) calcolo del WBGT considerando il soggetto vestito con l'abbigliamento di riferimento da lavoro in cotone ($I_{cl} = 0.6 clo$ e $i_m = 0.38$), utilizzando le seguenti relazioni:

- in assenza di carico solare

$$WBGT = 0.7 \cdot t_{nw} + 0.3 \cdot t_g$$

- in presenza di carico solare:

$$WBGT = 0.7 \cdot t_{nw} + 0.2 \cdot t_g + 0.1 \cdot t_a$$

dove

t_{nw} è la temperatura di bulbo umido a ventilazione naturale;

t_g è la temperatura del globotermometro;

t_a è la temperatura dell'aria.

- b) Correzione del valore WBGT calcolato, nel caso di abbigliamento diverso da quello preso come riferimento, aggiungendo al WBGT il valore CAV (Clothing Adjustment Value) nel seguente modo:

$$WBGT_{eff} = WBGT + CAV$$

CAV viene stimato attraverso la Tabella 3.

Tabella 3. Valori di CAV

Ensemble	Comment	CAV [°C-WBGT]
Work clothes	Work clothes made from a woven fabric is the reference ensemble.	0
Cloth coveralls	Woven fabric that includes treated cotton.	0
Non-woven SMS coveralls as a single layer	A non-proprietary process to make non-woven fabrics from polypropylene.	0
Non-woven polyolefin Coveralls as a single layer	A proprietary fabric made from polyethylene.	2
Vapour-barrier apron with long sleeves and long length over cloth coveralls	The wrap-around apron configuration was designed to protect the front and sides of the body against spills from chemical agents.	4
Double layer of woven clothing	Generally taken to be coveralls over work clothes.	3
Vapour-barrier coveralls as a single layer, without hood	The real effect depends on the level of humidity and in many cases the effect is less.	10
Vapour-barrier coveralls with hood as a single layer	The real effect depends on the level of humidity and in many cases the effect is less.	11
Vapour-barrier over cloth coveralls, without hood	—	12
Hood ^a	Wearing a hood of any fabric with any clothing ensemble.	+1
The CAVs are added to the measured WBGT to obtain WBGT _{eff} .		
NOTE For high vapour resistance clothing there is a dependence on relative humidity. The CAVs represent the likely high value.		
^a This value is added to the CAV of the ensemble without hood or respirator.		

- c) Calcolo del valore di riferimento $WBGT_{ref}$ (in funzione del metabolismo energetico) utilizzando la Tabella 4, quando la valutazione dell'attività metabolica viene fatta utilizzando la Tabella 5.

Tabella 4

Metabolic rate (class) (see Table E.1 for description)	Metabolic rate W	WBGT reference limit for persons acclimatized to heat °C	WBGT reference limit for persons unacclimatized to heat °C
Class 0 Resting metabolic rate	115	33	32
Class 1 Low metabolic rate	180	30	29
Class 2 Moderate metabolic rate	300	28	26
Class 3 High metabolic rate	415	26	23
Class 4 Very high metabolic rate	520	25	20
The values for WBGT _{eff} given here are provided for harmonization with existing national standards. As those standards are revisited in the future, the values from Figure A.1 or the related equations may be considered. The newer values will generally differ by ± 1 °C.			

Tabella5

Class	Metabolic rate W	Examples
0 Resting	115 (100 to 125)	Resting, sitting at ease
1 Low metabolic rate	180 (125 to 235)	Light manual work (writing, typing, drawing, sewing, book-keeping); hand and arm work (small bench tools, inspection, assembly or sorting of light materials); arm and leg work (driving vehicle in normal conditions, operating foot switch or pedal). Standing drilling (small parts); milling machine (small parts); coil winding; small armature winding; machining with low power tools; casual walking on level surface (speed up to 2,5 km/h).
2 Moderate metabolic rate	300 (235 to 360)	Sustained hand and arm work (hammering in nails, filing); arm and leg work (off-road operation of lorries, tractors or construction equipment); arm and trunk work (work with pneumatic hammer, tractor assembly, plastering, intermittent handling of moderately heavy material, weeding, hoeing, picking fruits or vegetables, pushing or pulling lightweight carts or wheelbarrows, walking at a speed of 2,5 to 5,5 km/h on level surface: forging)
3 High metabolic rate	415 (360 to 465)	Intense arm and trunk work; carrying heavy material; shovelling; sledge-hammer work; sawing; planing or chiselling hard wood; hand mowing; digging; walking at a speed of 5,5 to 7 km/h on level surface. Pushing or pulling heavily loaded hand carts or wheelbarrows; chipping castings; concrete block laying.
4 Very high metabolic rate	520 (>465)	Very intense activity at fast to maximum pace; working with an axe; intense shovelling or digging; climbing stairs, ramp or ladder; walking quickly with small steps; running on level surface; walking at a speed greater than 7 km/h on level surface.

Se si dispone di una valutazione più accurata del metabolismo energetico, $WBGT_{ref}$ può essere calcolato utilizzando le seguenti relazioni, diagrammate in Figura 2:

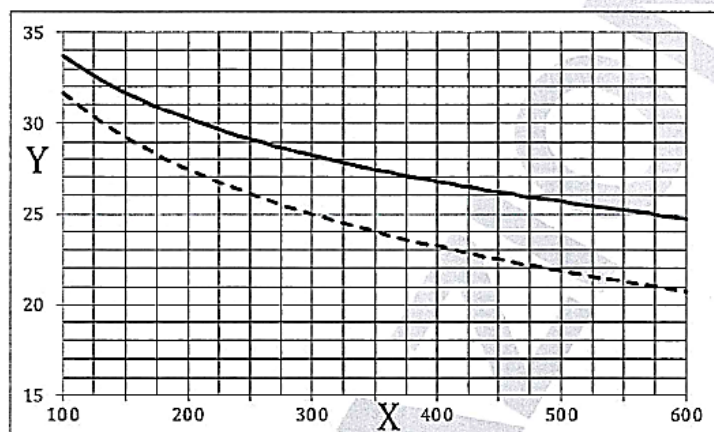
- Per soggetto acclimatato:

$$WBGT_{eff} = 56.7 - 11.5 \times \log_{10}(M)$$

- Per soggetto non acclimatato:

$$WBGT_{eff} = 59.9 - 14.1 \times \log_{10}(M)$$

I 2 modi di valutazione di $WBGT_{ref}$ possono differire di 1 °C.



Key
X metabolic rate, W
Y $WBGT_{eff}$, °C
— acclimatized people
- - - unacclimatized people

d) Confronto tra $WBGT_{eff}$ e $WBGT_{ref}$.

- Se $WBGT_{eff} \leq WBGT_{ref}$ non sono richieste ulteriori azioni da intraprendere.
- Se $WBGT_{eff} > WBGT_{ref}$ è necessario:
 - ridurre lo stress termico con metodi appropriati (controllo dell'ambiente, del livello di attività, del tempo trascorso nell'ambiente in esame);
 - procedere ad una analisi più dettagliata dello stress termico utilizzando la ISO 7933 (modello PHS).

Note sulle misure:

- le misure delle temperature necessarie per il calcolo del WBGT dovrebbero essere effettuate all'altezza dell'addome del soggetto per il quale si effettua la misura;
- nel caso di ambiente non eterogeneo, con uno o più parametri variabili nel tempo, si effettua una media pesata sul tempo, prendendo come base temporale il periodo di 1h, rappresentativa dello stress termico a cui è esposto il soggetto. Per calcolare il valore medio del generico parametro p si misura il suo andamento nel tempo.

Si suddivide il periodo di misurazione in n tratti a valori costanti (p_1, p_2, \dots, p_n) ciascuno di durata (t_1, t_2, \dots, t_n).

Il valore medio del parametro p è calcolato tramite la seguente relazione:

$$\bar{p} = \frac{(p_1 \times t_1) + (p_2 \times t_2) + \dots + (p_n \times t_n)}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$$

dove p_1, p_2, \dots, p_n sono i livelli del parametro ottenuti durante i tempi $t_1 + t_2 + \dots + t_n$
 $t_1 + t_2 + \dots + t_n = T = 1 \text{ h}$

2.1.2 Modello Predicted Heat Strain (PHS)

Quando è necessario effettuare una valutazione più approfondita dello stress termico determinato da un ambiente caldo, si procede al calcolo della sollecitazione termica prevedibile utilizzando il modello PHS (Predicted Heat Strain).

La norma di riferimento in cui viene descritto il modello PHS è la UNI EN ISO 7933:2005: “*Determinazione analitica ed interpretazione dello stress termico da calore mediante il calcolo della sollecitazione termica prevedibile.*”

Il modello analitico è complesso ed articolato. La procedura di calcolo è di tipo iterativo e permette di seguire nel tempo la risposta fisiologica del corpo umano alla sollecitazione termica restituendo come risultati gli andamenti temporali della temperatura rettale t_{re} e della perdita totale di acqua (SW_{tot}).

E' basata sul principio che lo stress termico è tanto più intenso quanto maggiore è il guadagno di energia (ovvero l'aumento di energia interna al corpo).

Per poter applicare il modello PHS è necessario che i 6 parametri fondamentali assumano valori compresi nei seguenti intervalli

Parametri		Minimo	Massimo
t_a	°C	15	50
p_a	kPa	0	4,5
$t_r - t_a$	°C	0	60
v_a	m/s	0	3
M	W	100	450
I_{cl}	clo	0,1	1,0

N.B. per un individuo medio con $A_{Du} = 1,8m^2$ $\frac{W}{m^2} < M < 250 \frac{W}{m^2}$ oppure $1 MET < M < 4,3 MET$.

La procedura è articolata nelle seguenti fasi:

- Calcolo dell'andamento nel tempo della temperatura rettale e della perdita totale di acqua;
 - Calcolo dei valori limite per la temperatura rettale e per la perdita totale d'acqua;
 - Confronto tra gli andamenti temporali ed i valori limite;
 - Calcolo dei tempi in cui si raggiungono i valori limite per la temperatura rettale e per la perdita totale di acqua;
 - Determinazione del limite di tempo massimo di esposizione.
- a w_{max} e SW_{max}
 - Calcolo di dS_{eq} (potenza termica dovuta all'incremento della temperatura del nucleo corporeo dalla quale viene calcolata la temperatura rettale) ;
 - Temperatura della pelle;
 - Temperatura del nucleo;
 - Temperatura rettale t_{re} .
 - da questi valori vengono calcolati gli scambi termici per l'istante successivo.

I valori limite vengono calcolati nel seguente modo:

Calcolo dei valori limite degli indici di stress SW_{max} e w_{max}

	Soggetto non acclimatato	Soggetto acclimatato
SW_{max}	$2,6x(M-32) \times A_{du}$	$3,25x(M-32) \times A_{du}$
w_{max}	0,85	1

Calcolo dei limiti per la perdita totale di acqua

D_{max} rappresenta la massima perdita totale di acqua compatibile con il mantenimento dei parametri fisiologici. Si individuano due limiti:

- D_{max50} : protegge il 50% della popolazione lavorativa;
- D_{max95} : protegge il 95% della popolazione lavorativa;

che vengono calcolati nel seguente modo:

	Soggetto libero di bere	Soggetto non libero di bere
D_{max50}	7% della massa corporea	3% della massa corporea
D_{max95}	5% della massa corporea	3% della massa corporea

D_{max95} è ovviamente più protettivo.

Valore limite per la temperatura rettale

$t_{re,max}$ rappresenta il valore massimo accettabile per la temperatura rettale.

La norma pone:

$$t_{re,max} = 38^{\circ}C$$

Calcolo del limite del tempo massimo di esposizione

Confrontando gli andamenti nel tempo della temperatura rettale e della perdita totale di acqua si ottengono due stime indipendenti del tempo di esposizione massimo quotidiano:

D_{limtre} rappresenta il tempo dopo il quale la temperatura rettale raggiunge il valore limite $t_{re,max}$;

$D_{limloss50}$ rappresenta il tempo dopo il quale la perdita totale di acqua supera il limite D_{max50}

$D_{limloss95}$ rappresenta il tempo dopo il quale la perdita totale di acqua supera il limite D_{max95}

Considerando $D_{limloss95}$, in quanto più protettivo rispetto a $D_{limloss50}$, il limite di tempo massimo di esposizione è dato da

$$D_{lim} = \min (D_{limtre}, D_{limloss95})$$

NOTE

Nel caso si intendesse realizzare la procedura con un programma di calcolo la norma mette a disposizione degli esempi numerici già risolti per validare la procedura realizzata.