Ambienti severi caldi
Norme tecniche e indici di stress termico

1. Premessa

Lo stress termico a cui viene esposta una persona in ambiente caldo è funzione della produzione di energia termica all'interno dell'organismo, come risultato dell'attività fisica e delle caratteristiche dell'ambiente che regolano lo scambio termico fra il corpo umano e l'ambiente stesso.

Per la valutazione del rischio negli ambienti severi caldi si può fare riferimento alla norma UNI EN ISO 7243:2017 "Ergonomia degli ambienti termici - Valutazione dello stress da calore utilizzando l'indice WBGT (temperatura globo del bulbo bagnato)", che fornisce un metodo facilmente utilizzabile per una veloce, anche se meno accurata, valutazione dello stress termico cui è soggetto un individuo in un ambiente caldo, mediante il calcolo dell'**indice WBGT** (Wet Bulb Globe Temperature).

Per una valutazione più accurata e dettagliata occorre far riferimento alla norma UNI EN ISO 7933:2023 (Ergonomia dell'ambiente termico - Determinazione analitica ed interpretazione dello stress termico da calore mediante il calcolo della sollecitazione termica prevedibile), che utilizza, ai fini della valutazione, il **modello PHS** (Predicted Heat Strain o sollecitazione termica prevedibile).

Un ulteriore metodo di valutazione, più semplice, è costituito dall'**indice di calore**, che si basa sulla rilevazione di due parametri: temperatura dell'aria e umidità relativa.

2. L'indice WBGT

Una valutazione del rischio da stress termico può essere effettuata mediante l'indice WGBT (temperatura globo del bulbo bagnato) di facile determinazione, descritto nella norma UNI EN ISO 7243:2017.

Tale indice empirico, correlato allo stress termico al quale un individuo è sottoposto, consente una stima veloce, anche se meno accurata, e permette di valutare in via preliminare la presenza o l'assenza di stress termico e l'opportunità di ricorrere ad una valutazione dello stress termico più analitica e dettagliata (con il modello PHS più avanti descritto).

Autori: R. Bevilacqua, R. Piccioni
Ctss

Il calcolo del WBGT si basa sulla misura di due grandezze derivate, la temperatura del globotermometro $\mathbf{t_g}$, e la temperatura del bulbo umido a ventilazione naturale $\mathbf{t_{nw}}$, nonché sulla misura di una grandezza fondamentale, la temperatura dell'aria $\mathbf{t_a}$.

Il WBGT può essere calcolato sia per ambienti esterni, quindi esposti direttamente all'irraggiamento solare, sia per ambienti interni, rispettivamente secondo le seguenti formule:

$WBGT = 0,7\ t_{nw} + 0,2\ t_g + 0,1\ t_a$ (ambienti esterni)

$WBGT = 0,7\ t_{nw} + 0,3\ t_g$ (ambienti interni)

dove:

t_a = temperatura dell'aria

t_{nw} = temperatura di bulbo umido a ventilazione naturale

t_g = temperatura del globo termometro.

Per valutare il rischio da stress termico è necessario che i risultati del calcolo dell'indice WBGT, derivante dalle espressioni sopra riportate, siano confrontati con i valori limite, oltre i quali l'individuo può ritenersi esposto al rischio di stress da calore. Tali valori sono basati su un livello accettabile di esposizione al calore per adulti in salute.

I valori limite sono espressi in funzione della classe di tasso metabolico e dell'acclimatazione, variando in dipendenza di due fattori:

- il tasso metabolico del soggetto;
- il grado di acclimatazione al calore.

Il tasso metabolico è legato all'attività fisica svolta dal soggetto ed esprime il carico termico interno all'organismo come risultato dell'energia metabolica dovuta all'attività svolta; più questa è elevata, più il valore limite del WBGT è basso, dato che si determina una maggiore produzione di calore interno.

L'acclimatazione esprime invece l'attitudine del soggetto a sopportare un microclima sfavorevole. In tal senso un individuo si può ritenere acclimatato dopo lo svolgimento di un'attività lavorativa in un ambiente termico per un tempo diverso a seconda dei casi; per individui non acclimatati i valori limite si riducono di un numero di gradi proporzionale all'attività svolta.

Per la classe di tasso metabolico a riposo il limite WBGT è pari a 32,4 °C per i soggetti acclimatati al calore.

3. Il modello PHS

Qualora mediante il calcolo dell'indice WBGT si riscontrino situazioni di rischio da stress termico, con superamento dei valori limite, è consigliabile effettuare una valutazione ulteriore utilizzando il modello di riferimento PHS (Predicted Heat Strain o sollecitazione termica prevedibile). Quest'ultimo, descritto nella norma tecnica UNI EN ISO 7933:2023, specifica un metodo per la valutazione analitica e per l'interpretazione dello stress termico cui è soggetta una persona in un ambiente caldo e consente di valutare

il rischio da stress termico in modo più accurato e dettagliato, permettendo di prevedere la quantità di sudore e la temperatura interna del nucleo che caratterizzeranno il corpo umano in risposta alle condizioni di lavoro.

La norma precisa che il modello non è stato validato per condizioni con parametri ambientali, tasso metabolico e abbigliamento variabili e quindi deve essere usato con attenzione nei casi in cui tali parametri varino sostanzialmente con il tempo; non consente di determinare validamente il lasso di tempo necessario a un individuo medio, la cui temperatura rettale è salita a 38 °C ed oltre, per ritornare ad una temperatura rettale di 36,8 °C.

L'applicazione del modello PHS prevede una rielaborazione dell'equazione di bilancio termico, tenendo conto del ruolo importante, in ambienti severi caldi, della sudorazione. In particolare, si considera il fattore "Q_{eqi}" che corrisponde al calore assorbito nel tempo, dovuto all'incremento della temperatura del nucleo corporeo associato con il tasso metabolico. Pertanto l'equazione del bilancio termico dell'organismo:

$$M - W = C_{res} + E_{res} + K + C + R + E + S$$

(ove M è il tasso metabolico, W la potenza meccanica, C_{res} lo scambio di calore per convezione nel tratto respiratorio, E_{res} per evaporazione, K, C, R ed E rappresentano lo scambio di calore sulla pelle rispettivamente per conduzione, convezione, radiazione ed evaporazione, mentre S è il calore in eccesso immagazzinato nel corpo se il bilancio termico non è soddisfatto), può essere così riformulata:

$$E_{req} = M - W - C_{res} - E_{res} - C - R - Q_{eqi}$$

dove "E_{req}" è il flusso termico evaporativo richiesto (dissipato per sudorazione) per mantenere l'equilibrio termico del corpo umano (il termine K viene omesso data la sua scarsa incidenza).

La valutazione dell'accettabilità o inaccettabilità delle condizioni dell'ambiente termico in esame viene effettuata confrontando le seguenti grandezze con i rispettivi valori limite:

S_{Wreq} = produzione oraria di sudore richiesta;

w_{req} = frazione di pelle bagnata richiesta;

D = perdita d'acqua;

t_{re} = temperatura rettale.

I valori limite variano, per i primi due, in base all'acclimatazione del lavoratore, gli altri due in base alla possibilità di bere liquidi. I soggetti acclimatati sono capaci di sudare più abbondantemente, in modo più uniforme sulla superficie corporea e anche prima rispetto a soggetti non acclimatati. Una disidratazione del 3 % induce un incremento del battito cardiaco e una diminuita sensibilità alla sudorazione ed è quindi il limite adottato come massima disidratazione per esposizioni professionali.

La quantità E_{req} viene convertita nella quantità S_{Wreq} (sudorazione richiesta), tenendo conto dell'efficienza non ideale con la quale il sudore prodotto evapora effettivamente: $S_{Wreq} = E_{req}/r_{req}$. Tale efficienza, indicata nell'equazione come r_{req}, risulta funzione della

frazione di pelle bagnata w_{req}, a sua volta calcolata come rapporto E_{req}/E_{max} fra la potenza termica evaporativa richiesta e la massima realizzabile dall'organismo in condizioni di pelle completamente bagnata.

La valutazione dell'accettabilità dell'ambiente termico secondo la norma UNI EN ISO 7933:2023 viene effettuata confrontando i due indici sintetici di stress S_{Wreq} e w_{req} e i due indici sintetici di strain D e t_{re} con i rispettivi valori limite S_{Wmax}, w_{max}, D_{max95} e $t_{re,max}$.

Tali valori limite hanno i seguenti significati:

- S_{Wmax} rappresenta la massima potenza termica dissipabile per sudorazione ovvero la massima quantità di sudore evaporabile per unità di tempo;
- w_{max} rappresenta la massima frazione di pelle dalla quale può essere realisticamente fatto evaporare il sudore;
- D_{max95} indica la massima perdita d'acqua compatibile con il mantenimento dei normali parametri fisiologici dell'individuo per il 95% della popolazione esposta;
- $t_{re,max}$ rappresenta il valore massimo accettabile della temperatura rettale.

Nella tabella 1 sono indicati i valori limite degli indici di stress e strain per l'esposizione ad ambienti termici severi caldi, come riportati nella norma; la stessa consente di determinare i tempi di esposizione massimi consentiti entro i quali la sollecitazione fisiologica è accettabile per il 95 % della popolazione esposta. In tal modo la UNI EN ISO 7933:2023 consente di determinare quale parametro o gruppi di parametri può essere modificato, e in quale misura, per ridurre il rischio di eccessiva sollecitazione fisiologica.

Tabella n. 1	Valori limite degli indici di stress e strain per l'esposizione ad ambienti termici severi caldi	
Quantità	**Individui non acclimatati**	**Individui acclimatati**
	400	500
	0,85	1
Quantità	**Accesso ai liquidi**	
	libero	nessuno
D_{max95}	5% della massa corporea	3% della massa corporea
$T_{re,max}$ (°C)	38	

Il calcolo degli indici sopra menzionati può essere effettuato utilizzando appositi software. Occorre precisare che la validità del modello PHS è verificata solo all'interno degli intervalli indicati per le varie grandezze nella tabella 2, ripresa dalla norma UNI EN ISO 7933:2023.

Tabella n. 2	Intervalli di applicabilità del modello PHS		
Quantità	**Simbolo**	**Intervallo utile**	**Unità di misura**
Temperatura dell'aria	t_a	15-50	°C
Differenza fra t_a e t_r	t_r-t_a	0-60	°C
Pressione parziale del vapore acqueo	p_a	0-4500	Pa
Velocità dell'aria	v_a	0-3	m/s
Tasso metabolico	M	56-250	W/m^2
Isolamento termico del vestiario	I_{cl}	0,1-1	clo

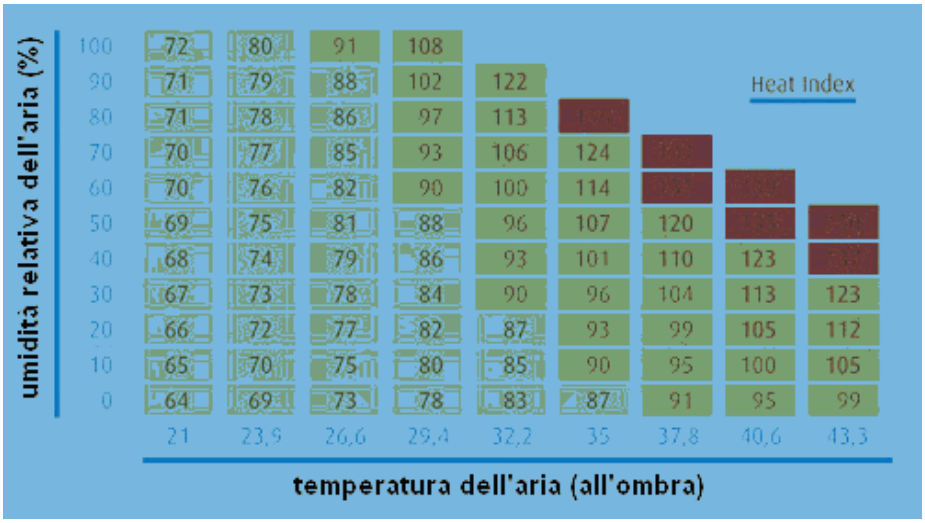
L'applicazione dei metodi di valutazione sopra esposti necessita di particolari competenze professionali.

4. L'indice di calore

Un metodo semplice per valutare lo stress da calore è stato predisposto dalla AUSL di Forlì e proposto anche dall'Istituto Nazionale Francese per la Ricerca sulla Sicurezza. Esso si basa sulla rilevazione dei due parametri temperatura dell'aria e umidità relativa. Viene quindi utilizzato un diagramma "Carta dell'indice di calore", illustrata in tabella 3, che contiene i possibili livelli di temperatura dell'aria e umidità relativa. L'indice, riferito ad una determinata situazione lavorativa, si ottiene incrociando la verticale passante per la temperatura dell'aria, misurata all'ombra nelle immediate vicinanze del posto di lavoro mediante un termometro, con l'orizzontale passante per la percentuale di umidità relativa, misurata con un igrometro.

Per valori intermedi di temperatura e umidità relativa si utilizzano indici intermedi.

Figura n. 1



Il valore dell'indice ricavato dalla carta va confrontato con la tabella 3, che riassume i possibili effetti negativi, di gravità via via più elevata, che si possono prevedere nella situazione considerata. Questi indici sono validi per lavoro all'ombra e con vento leggero. In caso di lavoro al sole l'indice in tabella va aumentato di 15.

Tabella n. 3	Effetti del calore sull'organismo basati sull'indice di calore
Heat index	**Disturbi per esposizione prolungata a calore e/o a fatica fisica intensa**
da 80 a 90	Fatica
da 90 a 104	Colpo di sole, crampi muscolari, esaurimento fisico
da 105 a 129	Esaurimento fisico, colpo di calore possibile
130 e più	Rischio elevato di colpo di calore/ colpo di sole

Bibliografia

- Servizio sanitario regionale Emilia-Romagna: indicazioni per prevenire danni da esposizione a ondate di calore – 7 luglio 2016
- UNI EN ISO 7243:2017 - "Ergonomia degli ambienti termici - Valutazione dello stress da calore utilizzando l'indice WBGT (temperatura globo del bulbo bagnato)"
- UNI EN ISO 7933:2023 - "Ergonomia dell'ambiente termico - Determinazione analitica ed interpretazione dello stress termico da calore mediante il calcolo della sollecitazione termica prevedibile"

(La riproduzione di stralci delle norme UNI è stata autorizzata da UNI Ente Italiano di Normazione. L'unica versione che fa fede è quella originale reperibile in versione integrale presso UNI, Via Sannio 2 20137 Milano, tel.02-70024200, fax 025515256 email: diffusione@uni.com, web www.uni.com).

Data di chiusura del documento

29/02/2024

Conoscere il rischio

Nella sezione Conoscere il rischio del portale Inail, la Consulenza tecnica per la salute e la sicurezza (Ctss) mette a disposizione prodotti e approfondimenti normativi e tecnici sul rischio professionale, come primo passo per la prevenzione di infortuni e malattie professionali e la protezione dei lavoratori. La Ctss è la struttura tecnica dell'Inail dedicata alla valutazione del rischio professionale e alla promozione di interventi di sostegno ad aziende e lavoratori in materia di prevenzione e reinserimento lavorativo.

Per informazioni

ctss@inail.it