

MICROCLIMA

MICROCLIMA

Le condizioni climatiche di un ambiente confinato vengono definite col termine di **microclima**, termine che comprende:

1. **Temperatura**
2. **Umidità relativa**
3. **Ventilazione**

MICROCLIMA

Il regno animale annovera due specie diverse:

- **eteroterme** che regolano la loro temperatura corporea in rapporto alla situazione climatica esterna
- **omeoterme** che conservano l'equilibrio termico come risultante di due attività fondamentali, la **termogenesi** o formazione di calore e la **termolisi** o dispersione del calore

MICROCLIMA

TERMOGENESI: è dovuta a reazioni chimiche e pertanto viene chiamata **regolazione chimica** della temperatura corporea

TERMOLISI: è dovuta a dispersione fisica e pertanto viene chiamata **regolazione fisica** della temperatura corporea

MICROCLIMA

TERMOREGOLAZIONE CHIMICA: entra in azione quando l'organismo si trova in ambiente freddo. Se l'abbassamento della temperatura ambientale è tale da non poter essere compensato dalla normale produzione calorica, si determinano 1) lieve, ma diffuso **aumento del metabolismo** di tutti i tessuti, in particolare di quello ghiandolare e 2) se il primo non è sufficiente, insorgono le **contrazioni muscolari involontarie**, i tremori da freddo, che possono ristabilire l'equilibrio termico riuscendo talora a triplicare il metabolismo basale.

MICROCLIMA

TERMOREGOLAZIONE FISICA: ha un suo ruolo decisivo quando l'organismo si trova in ambiente caldo o svolge attività muscolare. Un lavoro pesante può aumentare il metabolismo basale anche di 30 volte.

Il 20% dell'attività muscolare si trasforma in energia meccanica, l'80% in energia termica.

MICROCLIMA

Le fonti di calore per l'uomo sono soprattutto l'apparato muscolare e quello ghiandolare.

Tali fonti energetiche, per un lavoro leggero, forniscono 3.000 cal/die.

Le stesse vengono cedute all'ambiente.

MICROCLIMA

Gli **scambi termici** attraverso cui l'organismo mantiene costante la sua temperatura avvengono con modalità **fisiche** e **fisiologiche**.

MICROCLIMA

modalità fisiche

- **conduzione**: avviene per cessione di calore da un corpo solido più caldo ad un corpo solido più freddo senza trasporto di materia
- **convezione**: avviene per cessione di calore all'aria che ci circonda
- **irraggiamento**: avviene per cessione di calore agli oggetti circostanti

modalità fisiologiche

- **sudorazione** (e conseguente evaporazione del sudore)

MICROCLIMA

In condizioni basali, il nostro corpo perde il **44%** del calore per **irraggiamento**, il **31%** per **convezione**, il **21%** per **evaporazione** e il **4%** per **altre cause** quali il riscaldamento dell'acqua e la diuresi. Trascurabile è la perdita per conduzione (**2-3%**).

MICROCLIMA

Le percentuali di dispersione del calore variano in rapporto a diversi fattori:

1. **Lavoro svolto**
2. **Temperatura ambientale**
3. **Abbigliamento**

Ad esempio, la dispersione del calore per convezione è tanto maggiore quanto più bassa è la temperatura dell'aria che circonda l'organismo

MICROCLIMA

BILANCIO TERMICO

E' espresso dalla formula

$$S = M \pm C \pm R - E$$

ove S è il bilancio termico, M il calore metabolico prodotto dall'organismo, C il calore scambiato per convezione, R il calore scambiato per irraggiamento e E il calore disperso attraverso l'evaporazione del sudore. Con 1 L di sudore vengono disperse 600 kcal. Il valore di M è sempre positivo, quello di E sempre negativo. Non si tiene conto nella formula della conduzione poiché trascurabile.

$S=0$ bilancio termico ideale

$S>0$ aumento della temperatura corporea

$S<0$ diminuzione della temperatura corporea



Globo nero di
Vernon

Psicrometro

Anemometro a
filo caldo

Strumentazione per la determinazione del microclima

MICROCLIMA

PARAMETRI CHE INTERVENGONO NEL BILANCIO TERMICO

temperatura dell'aria viene misurata con comuni termometri a Hg o alcol, con termocoppie, termistori o termometri a resistenza

umidità dell'aria che può essere espressa come:

a) **umidità relativa**, cioè il rapporto percentuale tra l'ammontare reale di vapore acqueo nell'aria e la quantità che alla stessa temperatura ne potrebbe essere contenuta se quell'aria ne fosse satura

MICROCLIMA

PARAMETRI CHE INTERVENGONO NEL BILANCIO TERMICO

b) pressione parziale di vapore acqueo in mm di Hg

Viene misurata con lo **PSICROMETRO**, costituito da due termometri, uno a bulbo secco e uno a bulbo umido sopra i quali viene fatta passare aria ad una certa velocità (ventilazione meccanica). Il termometro a bulbo umido ha la sua estremità coperta da una garza di cotone costantemente umida. Quando l'aria viene fatta passare sopra i bulbi dei termometri, quello libero si equilibra

MICROCLIMA

PARAMETRI CHE INTERVENGONO NEL BILANCIO TERMICO

rapidamente con la temperatura ambientale ed indica il valore **ta** o temperatura del bulbo secco, mentre quello a bulbo umido, per effetto della evaporazione si raffredda fino ad una temperatura di equilibrio che è la **tu** o temperatura di bulbo umido.

Dalla **ta** e dalla **tu**, con la tabella psicrometrica si ottengono sia l'**umidità relativa** che la **pressione parziale di vapore saturo**.



PSICROMETRO

MICROCLIMA

PARAMETRI CHE INTERVENGONO NEL BILANCIO TERMICO

velocità dell'aria che viene misurata mediante **ANEMOMETRI**; quelli che misurano indirettamente la velocità dell'aria attraverso il potere di raffreddamento della stessa sono:

- 1. Catatermometro**
- 2. Anemometro a filo caldo**

MICROCLIMA

PARAMETRI CHE INTERVENGONO NEL BILANCIO TERMICO

CATATERMOMETRO

è costituito da un termometro ad alcol in vetro con grosso bulbo argentato e con l'asta su cui sono riportate due tacche (che in genere corrispondono alla temperatura di 38 e 35°C). Il bulbo viene riscaldato fino a che l'alcol riempie tutta l'asta del termometro fino ad un rigonfiamento di riserva e viene posizionato per la misura. Il tempo che lo strumento impiega a raffreddarsi scendendo dalla tacca superiore a quella inferiore, ad una data temperatura dell'aria, dipende dalla ventilazione dell'ambiente.

MICROCLIMA

PARAMETRI CHE INTERVENGONO NEL BILANCIO TERMICO

ANEMOMETRO A FILO CALDO

sfrutta il principio secondo cui la resistenza di un filo percorso da corrente varia la sua temperatura. Il filo fa parte di un ponte di Wheatstone, che viene sbilanciato dal cambiamento di resistenza dovuto al raffreddamento causato dalla ventilazione. Tale fenomeno viene misurato elettricamente.



ANEMOMETRO A FILO CALDO



ANEMOMETRO A FILO CALDO

MICROCLIMA

PARAMETRI CHE INTERVENGONO NEL BILANCIO TERMICO

ANEMOMETRO A LETTURA DIRETTA

sono ventoline meccaniche a notevole inerzia che non permettono letture di bassi valori di ventilazione e sono indicati per ventilazioni superiori a 1 m/sec.

MICROCLIMA

PARAMETRI CHE INTERVENGONO NEL BILANCIO TERMICO

La **temperatura radiante media** dell'ambiente circostante deve essere calcolata a partire dalla **temperatura del globotermometro** (tg), dalla ta e dalla velocità con apposite formule.

Il **globo nero di Vernon** o globotermometro, consiste in una sfera cava di rame del \emptyset di 15 cm, dipinta di nero opaco per assorbire il più possibile le radiazioni infrarosse, con inserito un termometro a Hg (deve leggere almeno fino a 100°C) col bulbo che pesca al centro della sfera.

MICROCLIMA

PARAMETRI CHE INTERVENGONO NEL BILANCIO TERMICO

Il globo non deve essere in contatto con altri solidi e guadagna calore per **radiazione** e ne perde per **convezione**. Se esistono fonti radianti, la temperatura del globo aumenta rispetto alla **ta** fino ad una temperatura di equilibrio, ove il guadagno per irraggiamento e la perdita per convezione sono uguali.

Questa temperatura di equilibrio è detta **temperatura del globo** (tg); il tempo necessario per raggiungere l'equilibrio è di 10 minuti o più.

MICROCLIMA

PARAMETRI CHE INTERVENGONO NEL BILANCIO TERMICO

fattori oggettivi ambientali

- 1. Temperatura dell'aria o di bulbo secco a ventilazione forzata (t_a):** è la temperatura dell'aria misurata da un bulbo asciutto non soggetto ad irraggiamento termico e sottoposto a ventilazione compresa tra 2 e 4 m/s.
- 2. Temperatura di bulbo umido a ventilazione forzata (t_u):** è la temperatura misurata da un bulbo ricoperto da una mussola (calza di tessuto di cotone) inumidita con acqua distillata a temperatura ambiente, non soggetto ad irraggiamento termico e sottoposto a ventilazione compresa tra 2 e 4 m/s.

MICROCLIMA

PARAMETRI CHE INTERVENGONO NEL BILANCIO TERMICO

fattori oggettivi ambientali

3. **Temperatura di bulbo umido a ventilazione normale (t_{un})**: è la temperatura misurata da un bulbo ricoperto da una mussola inumidita con acqua distillata a temperatura ambiente, non soggetto ad irraggiamento termico, che risente della ventilazione naturale dell'ambiente.

4. **Umidità relativa (%Rel)**: è il rapporto tra la quantità di vapore acqueo presente nell'atmosfera ad una certa temperatura e la quantità necessaria per saturare l'atmosfera a quella stessa temperatura. Se l'aria è satura di vapore acqueo (%Rel=100), t_a e t_u sono uguali. La differenza sarà tanto maggiore quanto più secca è l'aria.

MICROCLIMA

PARAMETRI CHE INTERVENGONO NEL BILANCIO TERMICO

fattori oggettivi ambientali

5. **Temperatura del globotermometro (tg)**: è la temperatura misurata per mezzo del **globo di Vernon**, consistente in un bulbo posto al centro di una sfera di rame dello spessore di 0,2 mm e del diametro di 15 cm, verniciata di nero opaco. La superficie, riscaldata per irraggiamento, trasmette all'aria contenuta all'interno della sfera una quantità di calore proporzionale all'irraggiamento termico e alla velocità dell'aria nell'ambiente.

GLOBO NERO DI VERNON



MICROCLIMA

PARAMETRI CHE INTERVENGONO NEL BILANCIO TERMICO

fattori oggettivi ambientali

6. **Temperatura media radiante** (t_{mr}): può essere definita come la temperatura delle superfici interne di un ambiente virtuale che soddisfi le seguenti condizioni: a) le superfici in esame abbiano potere assorbente unitario, b) la temperatura sia uniforme e eguale su tutte le superfici, c) la potenza scambiata per irraggiamento dal soggetto nell'ambiente virtuale coincida con quella scambiata dal soggetto nell'ambiente reale. Rappresenta quindi la media ponderata dei valori di temperatura in funzione della quale le pareti e gli oggetti presenti nell'ambiente emettono radiazioni caloriche.

MICROCLIMA

PARAMETRI CHE INTERVENGONO NEL BILANCIO TERMICO

fattori oggettivi ambientali

7. **Velocità dell'aria** (v): favorisce la perdita di calore dal corpo umano per l'accelerazione dei moti convettivi dell'aria e dell'evaporazione: infatti il corpo raffredda tanto più velocemente quanto più elevato è il movimento dell'aria attorno ad esso.

fattori individuali

- calore di origine metabolica
- temperatura cutanea
- emissione di sudore
- dimensione corporea
- abbigliamento

MICROCLIMA

INDICI TERMICI

Indici di stress termico

Indici di benessere

MICROCLIMA

INDICI DI STRESS TERMICO

Lo stress termico, inteso come carico di calore che deve essere smaltito dal corpo, comporta un aumento della **sudorazione**, un aumento della **frequenza cardiaca** e un aumento della **temperatura interna**.

$$E = M \pm C \pm R$$

ove **M** è il calore prodotto dal metabolismo, **C** la temperatura e la velocità dell'aria, **R** la temperatura radiante media dell'ambiente circostante e **E** l'umidità relativa.

MICROCLIMA

INDICI DI STRESS TERMICO

La funzione degli indici è di combinare le variabili ambientali in un numero che descriva quantitativamente lo stress esercitato dall'ambiente sull'individuo o l'affaticamento fisiologico ad esso procurato.

MICROCLIMA

INDICI DI STRESS TERMICO

Nella **zona B**, zona della regolazione calorica evaporativa, i meccanismi di termoregolazione sono capaci di mantenere costante la temperatura interna tramite la sudorazione, mentre la frequenza cardiaca cresce solo lievemente. In tale regione, la velocità della sudorazione è il parametro più sensibile per la misura dell'affaticamento fisiologico.

Nella **zona C** la sudorazione cresce solo leggermente al crescere dello stress e non può essere usata per misure di affaticamento; le grandezze più adatte sono la temperatura cutanea e la frequenza cardiaca.

MICROCLIMA

INDICE WBGT (Wet Bulb Globe Temperature)

Tale indice di stress termico, adottato dall'ACGIH, combinando il valore di temperatura del WBGT in °C (**carico calorico ambientale**) col dispendio energetico del lavoro (**carico calorico metabolico**) permette di delimitare due zone: una in cui la temperatura rettale dei soggetti acclimatati non supera, nel 95% dei casi, i 38°C e l'altra in cui la temperatura rettale si alza di molto con piccole variazioni della temperatura ambientale.

MICROCLIMA

INDICE WBGT (Wet Bulb Globe Temperature)

La linea che divide le due zone è stata definita come **LIMITE SUPERIORE DELLA ZONA PERMESSA** (ULPZ= upper limit prescriptive zone).

Nelle condizioni ambientali e di lavoro che si collocano al di sotto di tale linea, sono rari gli incidenti da calore.

L'indice termico per esposizioni in ambiente chiuso è calcolato dall'equazione:

$$\text{WBGT } ^\circ\text{C} = 0,7 t_{un} + 0,3 t_g$$

ove t_{un} è la temperatura del bulbo umido a ventilazione normale e t_g è la temperatura del globotermometro.

MICROCLIMA

INDICE WBGT (Wet Bulb Globe Temperature)

La valutazione della corrispondenza allo standard igienico dei valori di WBGT richiede necessariamente la contemporanea stima del carico di lavoro cui è sottoposto l'individuo, cioè del calore metabolico prodotto (M).

L'osservazione attenta di tutte le fasi del ciclo permette di attribuire ad ogni operazione il consumo energetico orario, secondo la tabella:

MICROCLIMA

INDICE WBGT (Wet Bulb Globe Temperature)

tipo di lavoro	dispendio energetico (M)	
	kcal/h	
riposo		100
leggero		150
moderato		250-300
pesante		400-450

MICROCLIMA

INDICE WBGT (Wet Bulb Globe Temperature)

Se il dispendio energetico dei vari tipi di lavoro è diverso, il calore metabolico medio ponderato nel tempo si ricava dalla formula:

$$M \text{ medio} = \frac{(M_1 \times t_1) + (M_2 \times t_2) + \dots + (M_n \times t_n)}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$$

ove $M_{1,2,n}$ sono il calore metabolico prodotto dalle varie attività eseguite in kcal/h e $t_{1,2,n}$ sono la durata rispettiva delle varie mansioni in ore.

MICROCLIMA

INDICE WBGT (Wet Bulb Globe Temperature)

Calcolato il carico di lavoro M e il valore di WBGT, il confronto si fa coi valori in tabella.

Per i soggetti non acclimatati i valori riportati debbono essere ridotti di 2,5°C.

MICROCLIMA

INDICE WBGT (Wet Bulb Globe Temperature)

TLV in °C

carico di lavoro

lavoro	riposo	leggero	medio	pesante
100%	0%	30,0	26,7	25,0
75%	25%	30,6	28,0	25,9
50%	50%	31,4	28,4	27,9
25%	75%	32,2	31,1	30,0

MICROCLIMA

INDICE WBGT (Wet Bulb Globe Temperature)

E' utilizzabile:

al meglio solo per le attività svolte all'aperto sotto i raggi solari

con risultati accettabili in posti di lavoro al coperto, se caratterizzati da irraggiamento termico e da aria in movimento

MICROCLIMA

INDICE WBGT (Wet Bulb Globe Temperature)

Condizioni per l'applicazione:

il personale deve essere in buone condizioni fisiche
deve essere acclimatato all'ambiente

deve assumere acqua e sali minerali in misura
adeguata

deve vestire abiti leggeri, del tipo usuale per
ambienti caldi

MICROCLIMA

INDICE DI BENESSERE

La sensazione termica è determinata da 6 variabili:

1. **Livello di attività**
2. Resistenza termica del vestiario
3. **Temperatura media radiante**
4. Temperatura dell'aria
5. **Umidità relativa**
6. **Velocità dell'aria**

MICROCLIMA

INDICE DI BENESSERE

**INDICI DI FANGER: VOTO MEDIO PREDETTO (PMV) E
PERCENTUALE DI INSODDISFATTI PRESENTI (PPD)**

Tali indici consentono di valutare le condizioni microclimatiche di un ambiente di lavoro in funzione del giudizio espresso dai soggetti e dal loro disagio termico.

MICROCLIMA

INDICE DI BENESSERE

INDICI DI FANGER: VOTO MEDIO PREDETTO (PMV) E PERCENTUALE DI INSODDISFATTI PRESENTI (PPD)

PMV: indice che permette la misura della sensazione termica per ogni combinazione di variabili ambientali secondo la scala:

+3 caldo

0 neutro

-1 leggermente fresco

+2 tiepido

-2 fresco

+1 leggermente tiepido

-3 freddo

MICROCLIMA

PATOLOGIA DA CALORE

La manifestazione clinica è il **colpo di calore**, i cui sintomi sono:

tachicardia

tachipnea

sudorazione

Si verifica anche per temperature non altissime (30°C), ma con sfavorevoli condizioni di umidità e ventilazione.

MICROCLIMA

PATOLOGIA DA CALORE

La terapia si basa sul raffreddamento della superficie cutanea (acqua a temperatura non inferiore a 15°C) e su farmaci sintomatici.

Forma particolare è l'**insolazione (colpo di sole)**, in cui dominano i segni a carico del SNC.