

---

Tecnica del controllo ambientale:  
Il benessere Termoisgrometrico  
*Parte III – Gli ambienti severi*

Marco Dell'isola



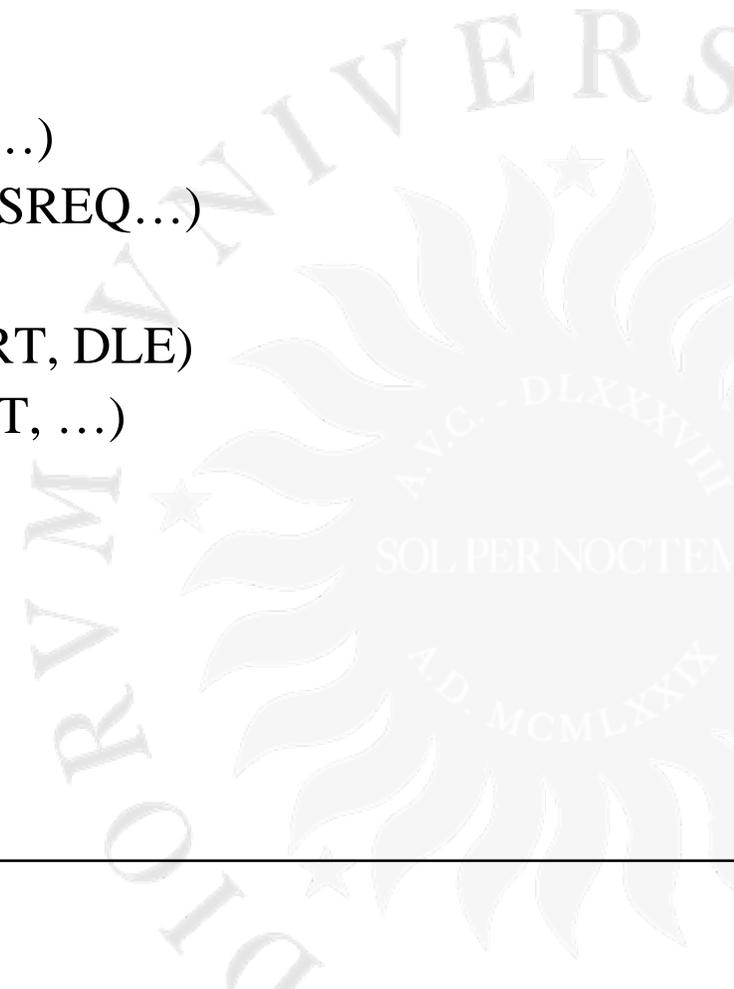
---

# Indice

---

## PARTE III – Gli ambienti severi

- Generalità
- Gli ambienti severi caldi
  - gli indici di stress strumentali (WBGT, ...)
  - gli indici di stress fisiologici (HSI, ITS, SREQ...)
- Gli ambienti severi freddi
  - gli indici di stress complessivo (IREQ, RT, DLE)
  - gli indici di stress locale (WCI, Tch, ECT, ...)



# Bilancio di energia sul corpo umano

Il corpo umano può essere considerato come un sistema termodinamico sul quale è possibile fare un **bilancio** di energia:

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

$M$  = potenza sviluppata per attività metabolica, (W);

$W$  = potenza meccanica dissipata per attività lavorativa, (W);

$E$  = potenza termica per evaporazione nella traspirazione, (W);

$E_{res}$  = potenza termica per evaporazione nella respirazione, (W);

$C$  = potenza termica scambiata per convezione, (W).

$C_{res}$  = potenza termica scambiata per convezione nella respirazione, (W).

$R$  = potenza termica scambiata per irraggiamento, (W);

$K$  = potenza termica scambiata per conduzione, (W);

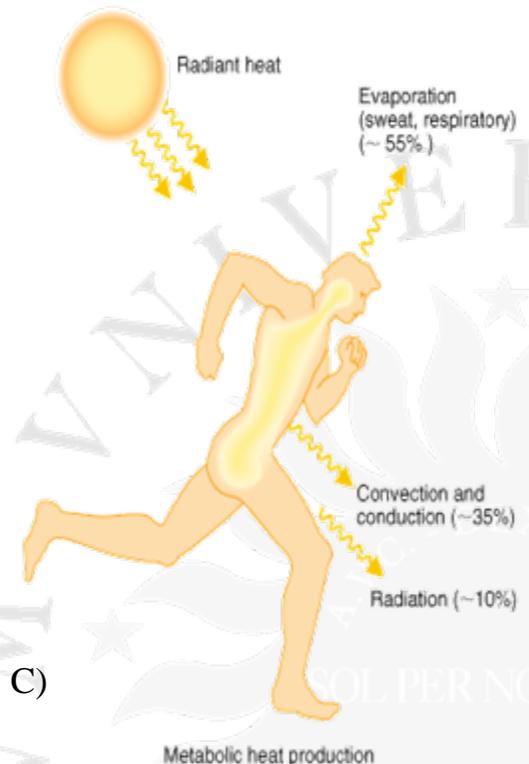
L'organismo tende a permanere in condizioni di **equilibrio omeotermo**

( $S = 0$ ), ovvero che:

- potenza ceduta all'ambiente = potenza generata dai processi metabolici
- la temperatura interna si mantenga stabile su valori ottimali ( $36,7 \pm 0,3$  C)

Gli ambienti termici vengono convenzionalmente distinti in:

- **moderati** (in cui l'obiettivo è il raggiungimento del benessere termogrometrico)
- **severi caldi/ freddi** (in cui l'obiettivo è la sicurezza e la riduzione dello stress termico).



# Stress termoisgrometrico

Dall'equazione di bilancio è possibile dimostrare che, esplicitando tutti i termini del bilancio, l'equazione di benessere è una funzione di:

$$S=f(M, I_{cl}, t_a, t_{mr}, v_a, U.R., )$$

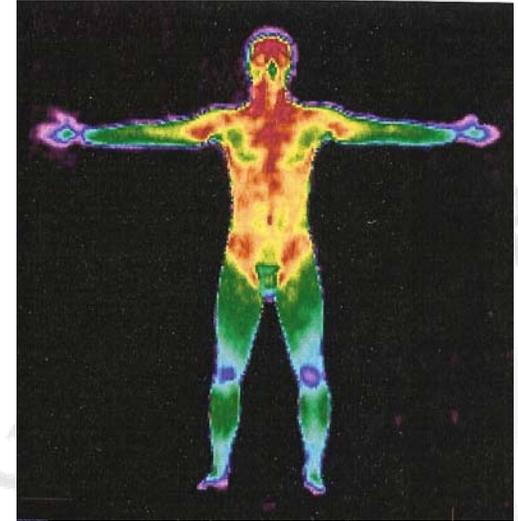
I parametri che, influenzando gli scambi termici tra individuo e ambiente, determinano le condizioni di benessere, sono quindi:

- **4 parametri ambientali**

- la **temperatura dell'aria ambiente**, che influenza gli scambi termici convettivi;
- la **temperatura media radiante**, che influenza gli scambi termici radiativi;
- la **velocità relativa dell'aria**, che influenza gli scambi termici convettivi;
- l'**umidità relativa dell'aria**, che influenza lo scambio evaporativo dal corpo.

- **2 parametri individuali**

- il **dispendio metabolico M** (correlato all'attività svolta)
- la **resistenza termica conduttiva ed evaporativa** del vestiario



SCOPO		TITOLO - Ergonomia degli ambienti termici	NORMA
Presentazione generale delle norme		Principi e applicazione delle relative norme internazionali.	UNI EN ISO 11399: 2001
Stand. quantità, simboli e unità		Ergonomia degli ambienti termici - Vocabolario e simboli	UNI EN ISO 13731: 2004
Valutazione dello stress termico in amb. caldi	Metodo analitico	Determinazione analitica ed interpretazione dello stress termico da calore mediante il calcolo della sollecitazione termica prevedibile.	UNI EN ISO 7933: 2005
	Metodo Diagnostico	Ambienti caldi. Valutazione dello stress termico per l'uomo negli ambienti di lavoro, basata sull'indice WBGT.	UNI EN 27243: 1996 (ISO 7243)
Valutazione benessere in ambienti moderati		Ambienti termici moderati. Determinazione degli indici PMV e PPD e specifiche per le condizioni di benessere termico.	UNI EN ISO 7730: 1997 <b>(IN REV)</b>
Valutazione dello stress termico in ambienti freddi		Valutazione degli ambienti freddi – Determinazione dell'isolamento richiesto dagli indumenti (IREQ).	UNI ENV ISO 11079 2001 <b>(IN REV)</b>
Analisi dei metodi di misura	Tasso Metabolico	Determinazione del metabolismo energetico	UNI EN ISO 8996: 2005
	Specifiche strum.	Strumenti per la misurazione delle grandezze fisiche	UNI EN ISO 7726: 2002
	Resistenza abbigl.	Valutazione isolamento termico e resistenza evaporativa dell'abbig.	UNI EN ISO 9920: 2004
Valutazione dello stress termico utilizzando misure fisiologiche		Valutazione degli effetti termici (thermal strain) mediante misurazioni fisiologiche.	UNI EN ISO 9886: 2004
Valutazione soggettiva influenza del benessere termoigrometrico		Valutazione dell'influenza degli ambienti termici mediante scale di giudizio soggettivo	UNI EN ISO 10551: 2002
Selez. sistema di supervis. medica		Supervisione medica persone esposte ad ambienti molt caldi o freddi	UNI EN ISO 12894: 2002
Strategia di valutazione del rischio termico		Strategia di valutazione del rischio per la prevenzione dello stress o del disagio termico in condizioni di lavoro	UNI EN ISO 15265 2005

# Ambienti termici severi caldi: generalità

## (UNI EN ISO 7243)

- Gli ambienti termici severi caldi sono quegli ambienti in cui è richiesto **un notevole intervento del sistema di termoregolazione** dell'organismo (attraverso i meccanismi di vasodilatazione e sudorazione) al fine di diminuire l'accumulo di energia termica nel corpo.
- In particolare, gli ambienti severi caldi sono caratterizzati da:
  - valori di  $t_o$  e umidità elevati (anche in relazione all'attività svolta,  $M$ , del vestiario  $I_{cl}$ )
  - condizioni termoigrometriche disomogenee e instabili
  - disuniformità dell'attività svolta e del vestiario dei vari soggetti operanti negli ambienti
- La valutazione degli ambienti severi caldi viene fatta in termini di *stress termico* cui è soggetto il lavoratore, derivante da produzione di calore metabolico, da fattori ambientali e dal vestiario.



# *Ambienti termici severi caldi: indici di stress*

## *(UNI EN ISO 7243)*

- L'indice utilizzato dalla norma ISO 7243 per la valutazione dello stress termico è il **WBGT** (Wet Bulbe Globe Temperature) definito come:

$$\text{WBGT} = 0,7 \text{ tnw} + 0,3 \text{ tg} \text{ (negli ambienti chiusi)}$$

$$\text{WBGT} = 0,7 \text{ tnw} + 0,2 \text{ tg} + 0,1 \text{ ta} \text{ (nell'ambiente esterno)}$$

dove:

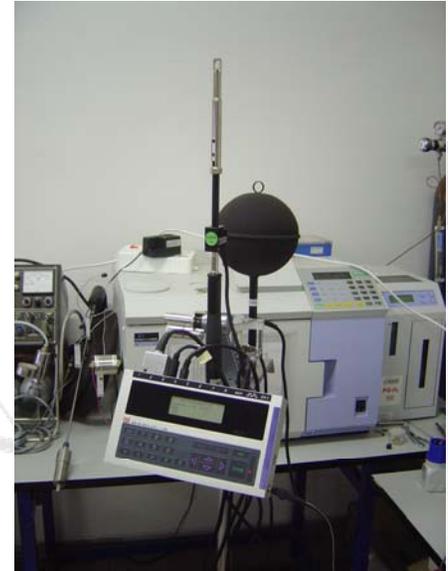
- tnw è la temperatura di bulbo umido naturalmente ventilato (connessa all'umidità dell'aria),
- tg è la temperatura del globotermometro (connessa all'esposizione diretta alla radiazione termica)
- ta è la temperatura dell'aria.

Nota

A seconda della posizione dell'operatore vengono effettuate medie pesate del WBGT su misure:

- a 0.1m (caviglie), 1.1m (addome) e 1.7 (testa) se l'operatore è in piedi;
- a 0.1m (caviglie), 0.6m (addome) e 1.1 (testa) se l'operatore è seduto.

Nel caso di carichi termici non stazionari è necessario effettuare una media temporale del WBGT



# *Ambienti termici severi caldi: Limiti*

## *(UNI EN ISO 7243)*

- I valori limite di WBGT sono tali da non provocare un aumento della temperatura del nucleo corporeo oltre 38 C.
- Essi sono calcolati in funzione del carico di lavoro manuale in cui il soggetto è impegnato (a riposo - leggero – moderato – pesante –molto pesante), del rapporto percentuale tra tempi di lavoro e tempi di recupero e si differenziano per soggetti acclimatati e non acclimatati

Classe di tasso metabolica	Tasso Metabolico M		Valore limite WBGT			
	Per unità di area (W/m <sup>2</sup> )	Per un individuo di area 1,8 m <sup>2</sup> (W)	Persona acclimatata (°C)		Persona non acclimatata (°C)	
0 (a riposo)	M ≤ 65	M ≤ 65	33		32	
1	65 < M ≤ 130	65 < M ≤ 130	30		29	
2	130 < M ≤ 200	130 < M ≤ 200	28		26	
3	200 < M ≤ 260	200 < M ≤ 260	Aria stagnante 25	Aria non stagnante 26	Aria stagnante 22	Aria non stagnante 23
4	M > 260	M > 260	23	25	18	20
Nota - I valori sono stati stabiliti per una temperatura rettale massima di 38°C						

# Ambienti termici severi caldi: gli indici fisiologici (*UNI EN ISO 9886*)

---

- **La sudorazione richiesta ( $S_{req}$ )** esprime la quantità di sudore che deve essere prodotta per realizzare il valore richiesto di evaporazione; può essere espressa in termini di portata in massa di sudore o di flusso termico ad essa corrispondente



# Ambienti termici severi caldi: gli indici fisiologici (*UNI EN ISO*\_\_\_\_\_)

---

- Gli ambienti termici.



# *Ambienti termici severi freddi: Generalità*

## *(UNI EN ISO 11079)*

- Gli ambienti termici severi freddi sono quegli ambienti nei quali è richiesto un notevole intervento del sistema di termoregolazione dell'organismo (attraverso i meccanismi di vasocostrizione e brivido) al fine di limitare la diminuzione della temperatura del corpo con particolare riferimento al nucleo.
- In particolare, gli ambienti severi freddi sono caratterizzati da:
  - valori di top bassi ( $0 \div 10$  C per ambienti moderatamente freddi e inferiori a 0 C per ambienti severi freddi)
  - condizioni termoigrometriche moderatamente variabili nello spazio e nel tempo
  - attività fisica e tipologia del vestiario uniformi
- Al contrario degli ambienti caldi è possibile negli ambienti freddi contrastare lo scambio termico con un isolamento del vestiario e DPI con le seguenti limitazioni:
  - un isolamento troppo spinto può limitare nel movimento l'operatore
  - un eccessivo isolamento termico può impedire la traspirazione determinando un accumulo di sudore
  - ad una situazione termica neutra complessiva dell'organismo può associarsi un raffreddamento eccessivo di alcuni distretti (mani, piedi, viso)



# Ambienti termici severi freddi: Indici di stress (UNI EN ISO 11079)

## RAFFREDDAMENTO COMPLESSIVO

- L'indice utilizzato per la valutazione dello stress termico da raffreddamento complessivo è l'**IREQ** ( $m^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$ ) che esprime l'**isolamento termico dell'abbigliamento richiesto**

$$IREQ = \frac{t_{sk} - t_{cl}}{M - W - E_{res} - C_{res} - E}$$

dove

- $t_{sk}$  è la temperatura della pelle ( $^\circ\text{C}$ )
  - $t_{cl}$  è la temperatura dell'indumento ( $^\circ\text{C}$ )
- Quando l'abbigliamento è insufficiente a garantire una neutralità termica è necessario stimare:
    - il **DLE (durata limite di esposizione)**

$$DLE = \frac{40,0}{S}$$

- l'**RT (tempo di recupero)**

$$RT = \frac{40,0}{S_{rec}}$$

## RAFFREDDAMENTO LOCALE

- L'indice utilizzato per la valutazione dello stress termico da raffreddamento locale è il **WCI (Wind Chill Index)** che esprime, l'entità della potenza termica per unità di superficie perduta dall'organismo in funzione della temperatura e della velocità del vento

$$WCI = 1.16 \left( 10,45 + 10 \sqrt{v_a - v_a} \right) (33 - t_a)$$

dove

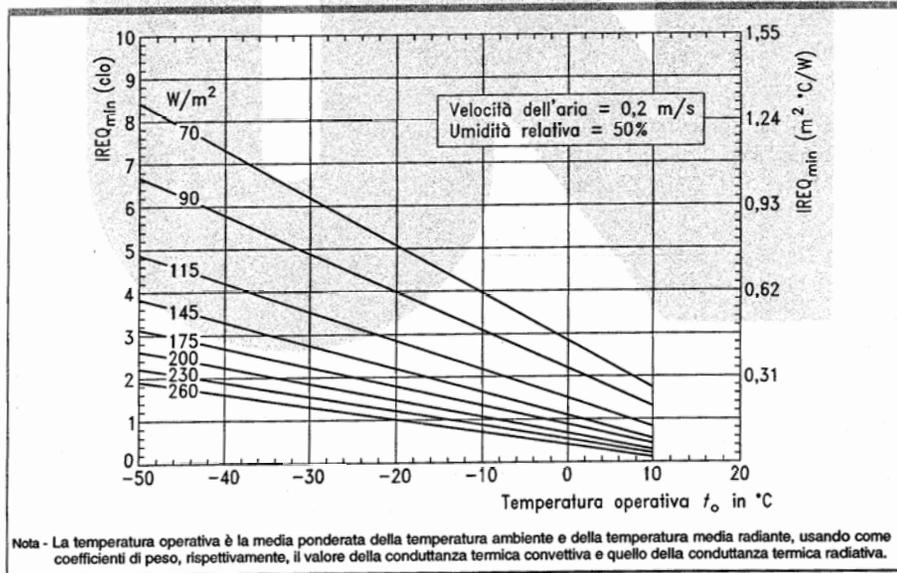
- $t_a$  la temperatura dell'aria ( $^\circ\text{C}$ )
  - $v_a$  la velocità dell'aria (m/s)
- Una grandezza correlata al WCI è il **Tch (temperatura di chilling)**, definita come la temperatura equivalente di sensazione di freddo in aria calma (1,8m/s)

$$t_{ch} = 33 - \frac{WCI}{25,5}$$

- **Temperatura mani** ( $t_{min} 15^\circ\text{C}$ )
- **Temperatura occhi e vie respiratorie** ( $t_a < 40$ )

# Ambienti termici severi freddi: Limiti

figura 2 IREQ<sub>min</sub> in funzione della temperatura operativa dell'ambiente per otto livelli del metabolismo energetico



WCI [kW(m2)]	ECT [°C]	EFFETTO su pareti del corpo nude, direttamente esposte
1200	- 14	sensazione di freddo intenso
1400	- 22	limite del rischio di congelamento rapido
1600 1800	-30 -38	congelamento dopo 1 h di esposizione
2000 2200	-45 - 53	congelamento dopo 1 min di esposizione
2400 2600	- 61 - 69	congelamento dopo 30 s di esposizione

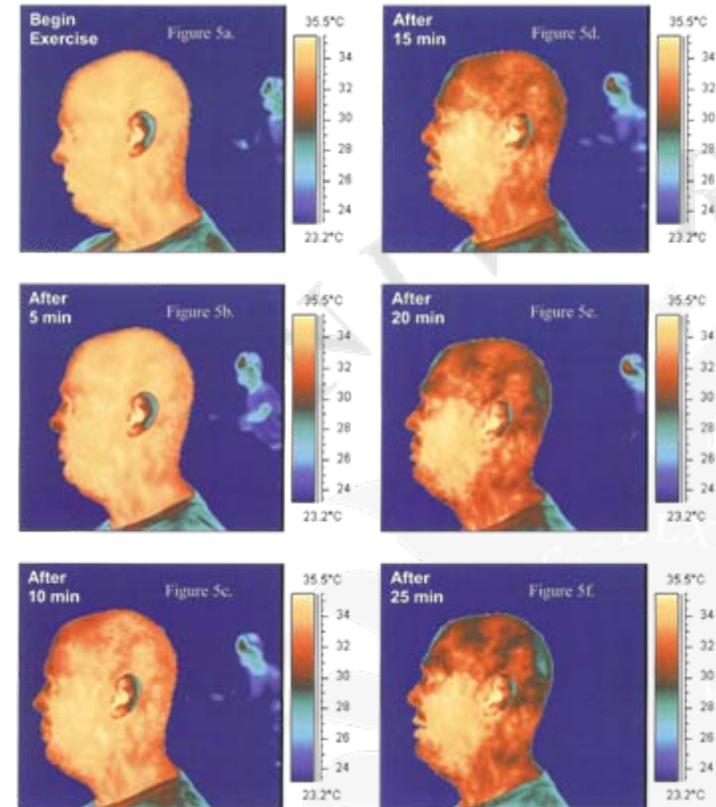
# Strumenti e metodi di misura

## (UNI EN ISO 7726)

Grandezza	Simbolo	Classe C (benessere)		Classe S (stress termico)	
		Campo di misura	Precisione	Campo di misura	Precisione
Temperatura dell'aria	$t_a$	10°C ÷ 30°C	Richiesta: ± 0,5 °C Desiderabile: ± 0,2 °C Per $ t_r - t_a  = 10^\circ\text{C}$	-40°C ÷ +120°C	Richiesta: -40°C ÷ 0°C: ± (0,5 + 0,01 $ t_a $ )°C >0°C ÷ 50°C: ± 0,5°C >50°C ÷ 120°C: ± [0,5 + 0,04( $t_a - 50$ )]°C Desiderabile: Precisione richiesta/2 Per $ t_r - t_a  = 20^\circ\text{C}$
Temperatura media radiante	$t_r$	10°C ÷ 40°C	Richiesta: ± 2 °C Desiderabile: ± 0,2 °C Quando non possono essere raggiunti indicare il valore effettivo della precisione	-40°C ÷ +150°C	Richiesta: -40°C ÷ 0°C: ± (5 + 0,02 $ t_r $ )°C >0°C ÷ 50°C: ± 5°C >50°C ÷ 150°C: ± [5 + 0,08( $t_r - 50$ )]°C Desiderabile: -40°C ÷ 0°C: ± (0,5 + 0,01 $ t_r $ )°C >0°C ÷ 50°C: ± 0,5°C >50°C ÷ 150°C: ± [0,5 + 0,04( $t_r - 50$ )]°C
Asimmetria della temperatura radiante	$\Delta t_{pr}$	0 K ÷ 20 K	Richiesta: ± 1 K Desiderabile: ± 0,5 K	0 K ÷ 200 K	Richiesta: 0 K ÷ 20 K: ± 2 K >20 K ÷ 200 K: ± 0,1 $\Delta t_{pr}$ Desiderabile: 0 K ÷ 20 K: ± 1 K >20 K ÷ 200 K: ± 0,5 $\Delta t_{pr}$
Velocità dell'aria	$v_a$	0,05 m/s ÷ 1 m/s	Richiesta: ±  0,05+0,05 $v_a$   m/s Desiderabile: ±  0,02+0,07 $v_a$   m/s Per direzione del flusso interna ad un angolo solido pari a 3 π sr	0,2 m/s ÷ 10 m/s	Richiesta: ±  0,1+0,05 $v_a$   m/s Desiderabile: ±  0,05+0,05 $v_a$   m/s Per direzione del flusso interna ad un angolo solido pari a 3 π sr
Umidità assoluta espressa come pressione parziale del vapore d'acqua	$p_a$	0,5 kPa ÷ 2,5 kPa	± 0,15 kPa Anche per temperature dell'aria e delle pareti uguali o maggiori di 30°C per una differenza $ t_r - t_a $ di almeno 10°C	0,5 kPa ÷ 6,0 kPa	± 0,15 kPa Anche per temperature dell'aria e delle pareti uguali o maggiori di 30°C per una differenza $ t_r - t_a $ di almeno 10°C
Temperatura di bulbo umido a ventilazione naturale	$t_{nw}$	Uso non raccomandato		0,5 °C ÷ 40 °C	± 0,5 °C
Temperatura di globo	$t_g$	Uso non raccomandato		20 °C ÷ 120 °C	20 °C ÷ 50 °C: ± 0,5 °C >50 °C ÷ 120 °C: ± 1 °C
Temperatura di globo umido	$t_{wg}$	Uso non raccomandato		0 °C ÷ 80 °C	± 0,5 °C

# *Sicurezza sul lavoro*

- Analisi di benessere termoisometrici
- Interventi correttivi tipici atti a migliorare il comfort e/o ridurre stress termoisometrico (BAT)
- Sensibilizzazione degli operatori



# Situazione Nazionale e locale

- **Recepimento legislazione e normativa**

- le diverse necessarie **professionalità** raramente vengono integrate e spesso sono confuse (tecnico di misura, ingegnere, medico, ...); non esiste tra l'altro un albo specifico;
- scarso **interesse** verso la problematica salvo nelle situazioni di stress (con conseguente perdita di produttività)
- i **protocolli** di valutazione termoisometrica degli ambienti termici moderati quando applicati si limitano al calcolo degli indici di comfort (senza analisi soggettiva);
- gli **strumenti di misura** raramente sono a norma e quasi mai tarati (1 Centri di taratura S.I.T nel Lazio sulle grandezze ambientali)
- i **DPI** (dispositivi di protezione individuali) sono molto spesso non utilizzati e talvolta insufficienti;
- l'**incertezza di misura** non viene generalmente valutata.

Tavola n. 18 - Malattie professionali manifestatesi nel periodo 1999-2003

INDUSTRIA E SERVIZI

Tipo di malattia	1999	2000	2001	2002	2003
<b>Malattie tabellate</b>	10.467	9.858	9.523	7.287	4.991
<i>di cui</i>					
50-Ipocusia e sordità	5.753	5.339	4.784	3.447	2.177
42-malattie cutanee	1.207	1.062	1.028	804	562
91-asbestosi	631	627	777	639	415
90-silicosi	701	669	576	439	353
56-neoplasie da asbesto	374	431	588	587	484
52-malattie osteoarticolari	347	355	377	330	225
40-asma bronchiale	245	272	257	189	155
43-pneumoconiosi da silicati	232	223	170	117	68
<b>99 - Malattie non tabellate</b>	13.555	14.492	16.217	14.115	12.137
<i>di cui</i>					
Ipocusia	6.316	6.017	5.499	2.804	2.244
Malattie dell'apparato respiratorio	1.121	1.166	1.138	1.073	475
Sindrome del tunnel carpale	734	838	865	542	388
Tendiniti	564	791	1.001	927	777
Tumori	363	362	433	287	228
Indeterminate	72	426	1.393	3.926	6.103
<b>Totale Industria e Servizi</b>	<b>24.094</b>	<b>24.776</b>	<b>27.133</b>	<b>25.328</b>	<b>23.231</b>

