



CET-PALMER

cinque centri di eccellenza tecnologica nel Lazio meridionale

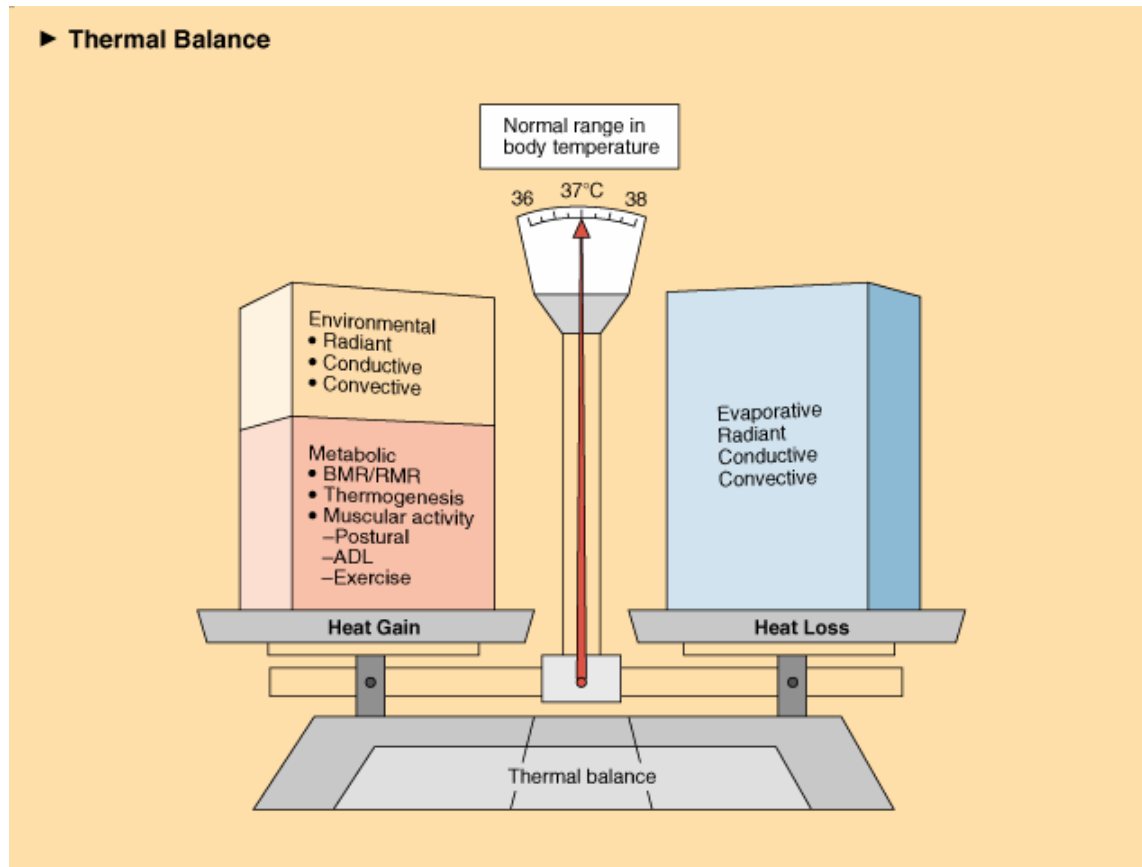


IL BENESSERE TERMOIGROMETRICO

“La misura del benessere termoigrometrico e dello stress termico”

Prof. Marco Dell’Isola

Il bilancio termico



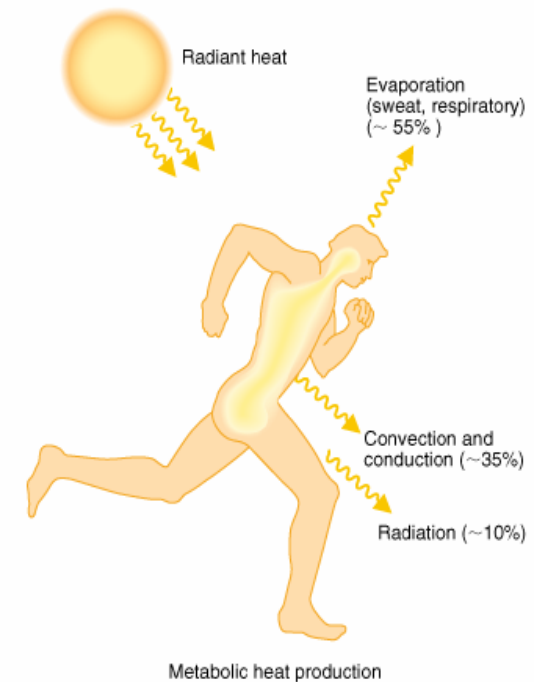
Bilancio energetico sul corpo umano

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

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

- dove:
 - S = accumulo di energia termica nell'unità di tempo;
 - M = metabolismo energetico;
 - W = potenza meccanica che il corpo umano cede all'ambiente;
 - E_{res} = potenza termica dispersa nella respirazione con calore latente;
 - C_{res} = potenza termica dispersa nella respirazione con calore sensibile;
 - C = potenza termica dispersa per convezione dalla pelle;
 - R = potenza termica dispersa per irraggiamento dalla pelle;
 - E = potenza termica dispersa per evaporazione dalla pelle;
 - K = potenza termica dispersa per conduzione dalla pelle

► Mechanisms of Heat Exchange and Percentage of Heat Loss



Cosa valutare: gli indici

AMBIENTI MODERATI

- **Indici comfort globale:**
 - PMV, PPD
- **Indici discomfort locale:**
 - Gradienti termici verticali ed orizzontali
 - Correnti d'aria
 - Asimmetria temperatura media radiante

AMBIENTI SEVERI

- **Indice di stress (freddo)**
 - IREQ, WCI, ...
- **Indice di stress (caldo)**
 - WBGT, SW_{req} , W_{req} , ...

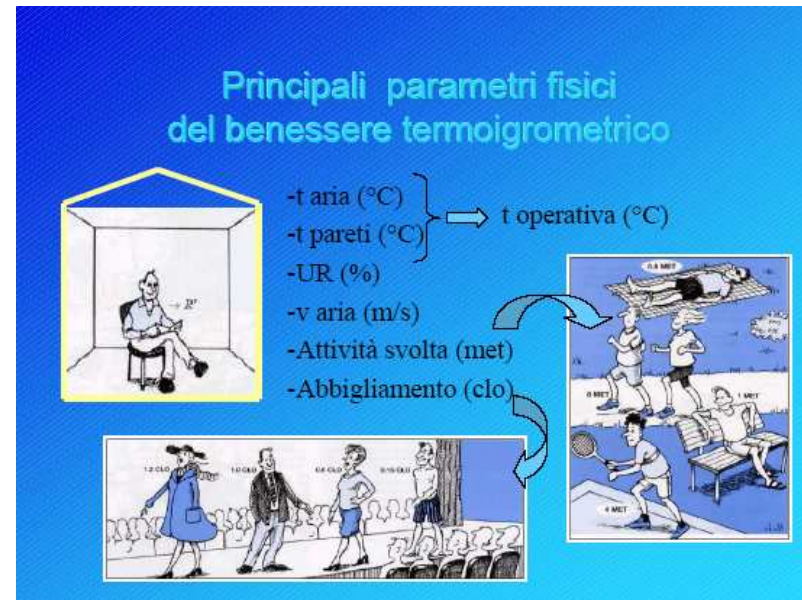
Cosa misurare

Prospetto 1 - Principali grandezze indipendenti che intervengono nell'analisi degli ambienti termici (ISO 7726:1998)								
Termini del bilancio termico	Grandezze							
	t_a	t_r	v_a	p_a	I_{cl}	R_{cl}	M	W
	Temperatura dell'aria	Temperatura media radiante	Velocità dell'aria	Umidità assoluta dell'aria (pressione parziale del vapor d'acqua)	Resistenza termica conduttiva dell'abbigliamento	Resistenza evaporativa dell'abbigliamento	Energia metabolica	Lavoro esterno utile
Generazione di energia termica interna, M-W							x	x
Potenza termica scambiata per irraggiamento, R		x			x			
Potenza termica scambiata per convezione, C*	x		x		x			
Potenza termica dispersa per evaporazione:								
-evaporazione dalla pelle, E			x	x		x		
-evaporazione nella respirazione, E _{res}				x			x	
Convezione da respirazione, C ¹⁾	x						x	

1) La potenza termica è influenzata anche dai movimenti del corpo umano. La velocità dell'aria risultante in corrispondenza della pelle è detta velocità relativa dell'aria (v_{ar}). Il calore scambiato per conduzione ha un' influenza limitata sul bilancio termico totale.

Cosa misurare: le grandezze fisiche

- Grandezze fisiche (fondamentali)
 - Temperatura dell'aria
 - Temperatura media radiante
 - Umidità dell'aria
 - Velocità dell'aria
- Grandezze fisiche (derivate)
 - Temperatura di bulbo umido a ventilazione naturale
 - Temperatura di globo
 - ...
 - Temperatura di globo di bulbo umido
 - Temperatura di globo umido



Come misurare: Campi di misura e prestazioni metrologiche degli strumenti (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	Δt_{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 Δt_{pr} Desiderabile: 0 K ÷ 20 K: ± 1 K >20 K ÷ 200 K: ± 0.5 Δt_{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

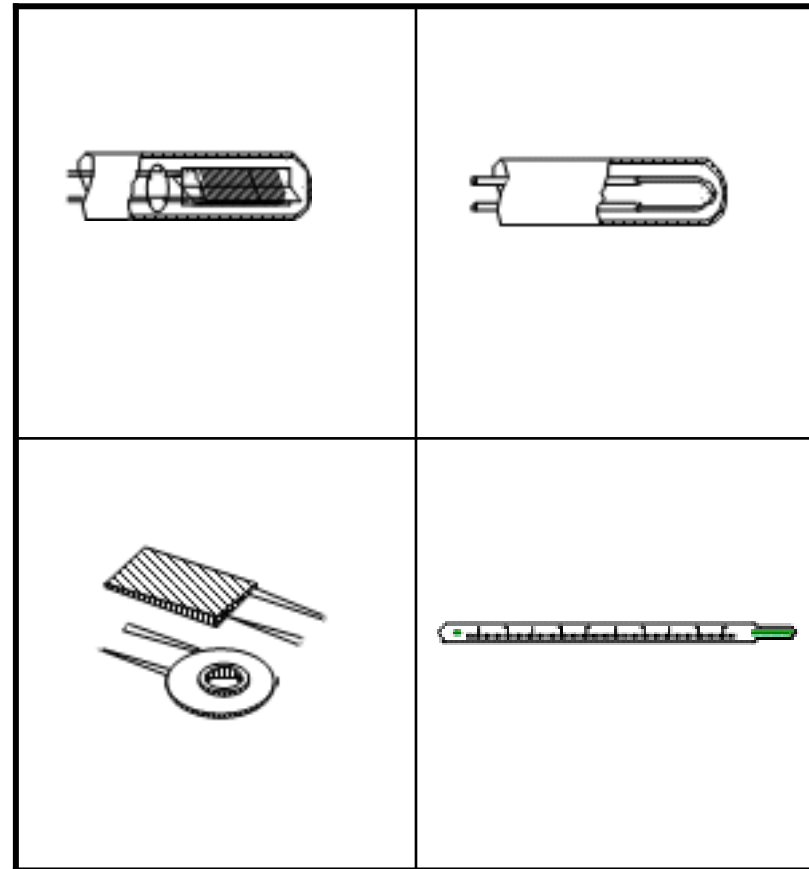
Quando e Dove misurare: Criteri Stabilità ed Uniformità

Prospetto 4 - Criteri per un ambiente omogeneo ed a regime permanente (ISO 7726:1998)		
Grandezze	Classe C (comfort) Fattore X	Classe S (stress termico) Fattore X
Temperatura dell'aria	3	4
Temperatura media radiante	2	2
Asimmetria della temperatura media radiante	2	3
Velocità dell'aria media	2	3
Pressione di vapore	2	3

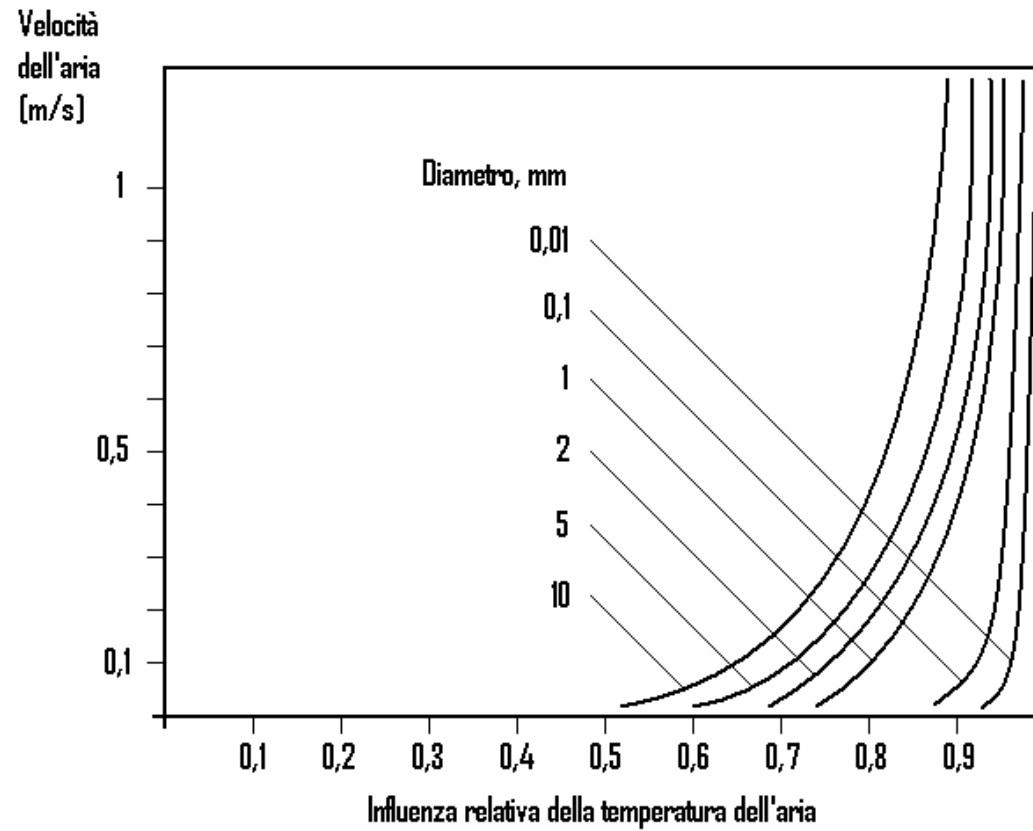
Prospetto 5 - Coefficienti d'altezza per le grandezze fisiche di un ambiente (ISO 7726:1998)						
Posizione dei sensori	Coefficienti di peso delle diverse misure per il calcolo dei valori medi				Altezze raccomandate (puramente indicative)	
	Ambiente omogeneo		Ambiente eterogeneo		Seduto	In piedi
	Classe C	Classe S	Classe C	Classe S		
Livello testa			1	1	1,1m	1,7m
Livello addome	1	1	1	2	0,6m	1,1m
Livello caviglia			1	1	0,1m	0,1m

1. La temperatura dell'aria

- Strumenti di misura
 - Termometri a resistenza (Pt100 4 fili, termistori)
 - Termocoppie
 - Termometri ad espansione (liquido, solido)
- Fattori di incertezza (rich. $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ / desid. 0.2°C)
 - caratteristica (taratura)
 - deriva
 - effetto delle radiazioni
 - inerzia termica del sensore
- Verifica e Taratura
 - punti fissi
 - per confronto



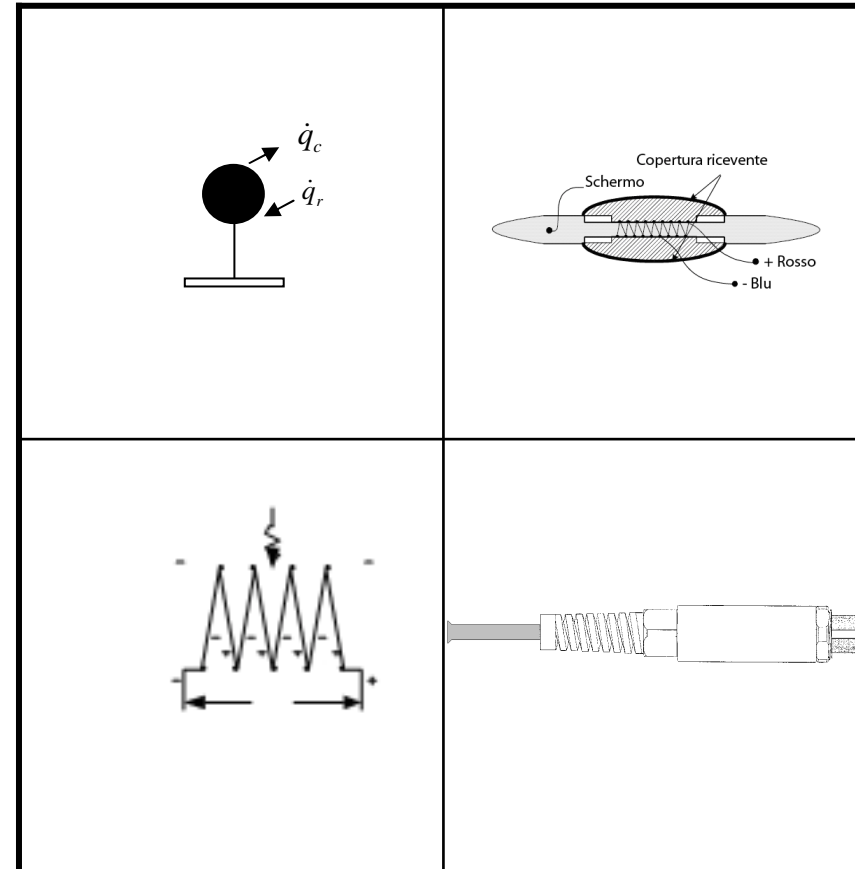
1. Influenza radiazione sulla misura della temperatura



$$E = t_a(X - 1) + t_r(1 - X)$$

2. La temperatura media radiante (asimmetria)

- Metodi di misura
 - Globotermometro
 - Fattori di vista (Termometri a contatto, a radiazione)
 - Temperatura piana radiante (Radiometri)
 - (metodo delle due sfere)
- Fattori di incertezza (rich. $\pm 2^\circ\text{C}$ / desid. 0.2°C)
 - caratteristica (taratura)
 - deriva
 - emissività
- Verifica e Taratura
 - Corpi neri
 - Vernici ad emissività nota



2. Metodo del globotermometro

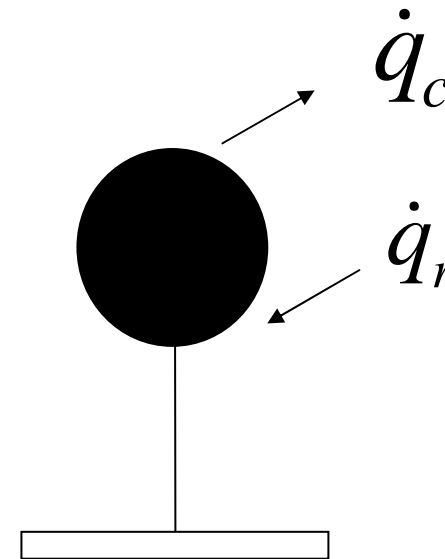
- L'equazione di bilancio dell'energia sul globo restituisce la relazione:

$$\bar{T}_r = \sqrt[4]{T_g^4 + \frac{h_{cg}}{h_{rg}} (T_g - T_a)}$$

- La temperatura di globo è un'ottima approssimazione della temperatura operativa:

$$t_o = \frac{h_c \cdot t_a + h_r \cdot \bar{t}}{h_c + h_r} = A \cdot t_a + (1 - A) \cdot \bar{t}$$

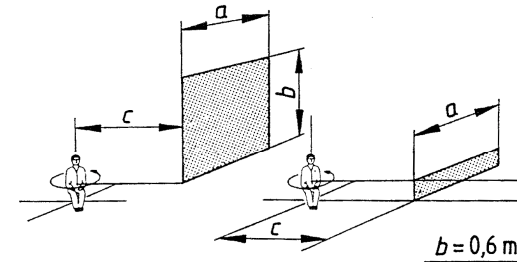
- Per contro la misura di globo presenta le seguenti problematiche di misura:
 - un unico punto non è rappresentativa di tutto il campo radiativo relativo
 - il tempo di risposta elevato (circa 20-30 min)
 - la differenza di forma tra un individuo e una sfera
 - esposizione a radiazioni di piccola lunghezza d'onda (i.e. il sole) non approssima l'emiss. effettiva



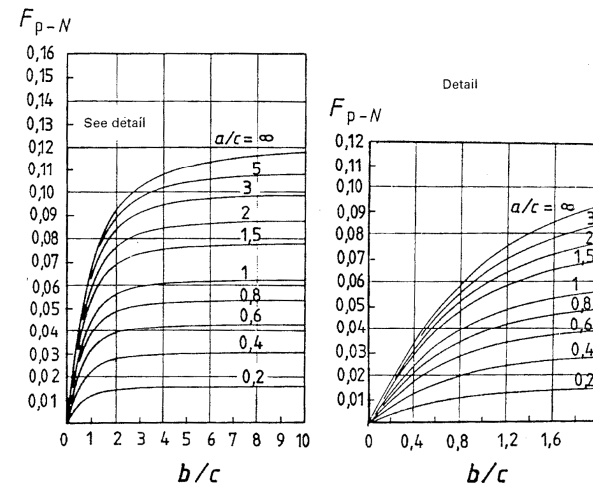
2. Metodo dei fattori di vista

- Nel caso in cui le differenze di temperatura tra le superfici dell'ambiente sono relativamente piccole, l'equazione di misura può essere espressa:

$$T_r = T_1 \cdot F_{p-1} + T_2 \cdot F_{p-2} + T_3 \cdot F_{p-3} + \dots + T_N \cdot F_{p-N}$$



- Il metodo dei fattori di vista presenta rispetto agli altri metodi:
 - una migliore accuratezza nella determinazione dei contributi delle diverse pareti alla temperatura media radiante
 - la possibilità di stimare anche condizioni di asimmetria
 - la difficoltà di calcolare i fattori di vista (specie in geometrie spaziali complesse)
 - la difficoltà di misurare la temperatura media superficiale (specie per contatto o per oggetti in movimento)

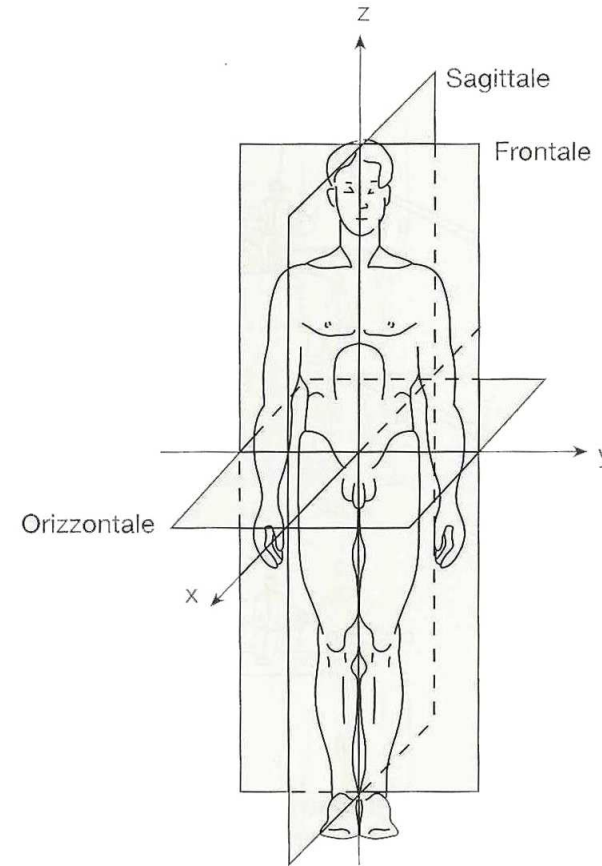


2. Metodo della temperatura piana radiante

- La temperatura media radiante può allora essere valutata misurando la temperatura piana radiante T_{pr-i} nelle sei direzioni dello spazio ed i fattori di area proiettata A_{p-i} per una persona nelle stesse sei direzioni dello spazio:

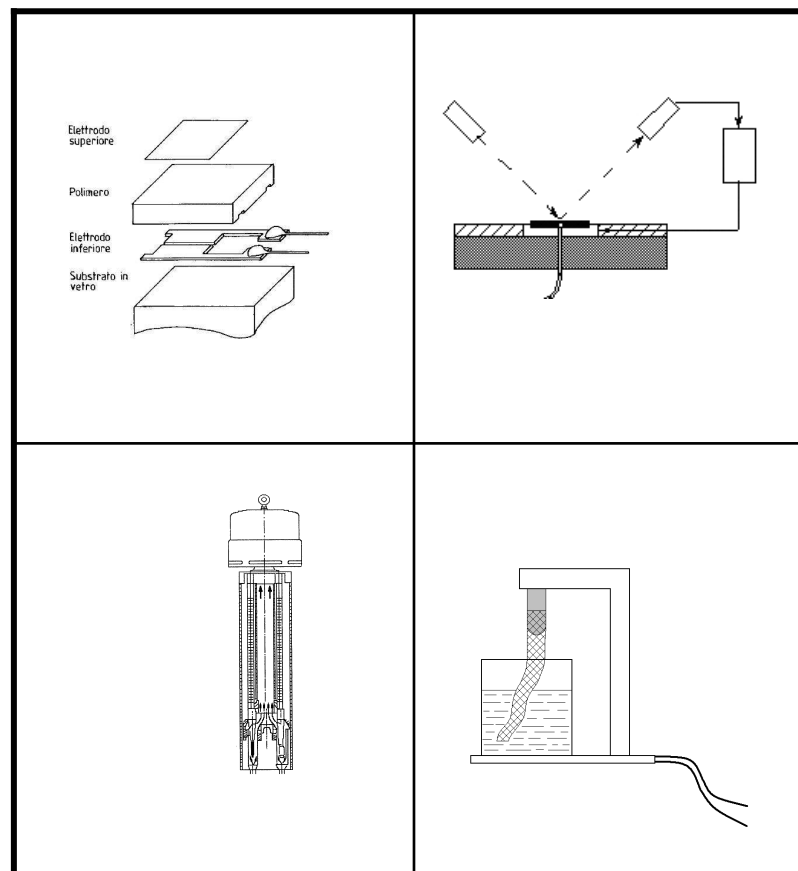
$$T_{mr} = \frac{\sum_{i=1-6} T_{p-i} \cdot A_{p-i}}{\sum_{i=1-6} A_{p-i}}$$

Fattori di area proiettata per una persona seduta o in piedi, secondo gli assi di una terna cartesiana con l'origine nel soggetto, l'asse z verticale e con l'asse x orizzontale e perpendicolare al piano frontale			
Posizione	Fattore di area proiettata lungo l'asse		
	X	Y	Z
In piedi	0,35	0,23	0,08
Seduto	0,3	0,22	0,18



3. *L'umidità relativa/ assoluta*

- Strumenti di misura
 - Igrometri relativi
 - Psicrometri a ventilazione forzata e naturale
 - Igrometri a condensazione
- Fattori di incertezza (classe C ± 150 Pa)
 - caratteristica e deriva
 - sporco superficiale
 - influenza della temperatura
 - proprietà termofluidodinamiche
- Verifica e Taratura
 - Soluzioni saline
 - Taratura per confronto

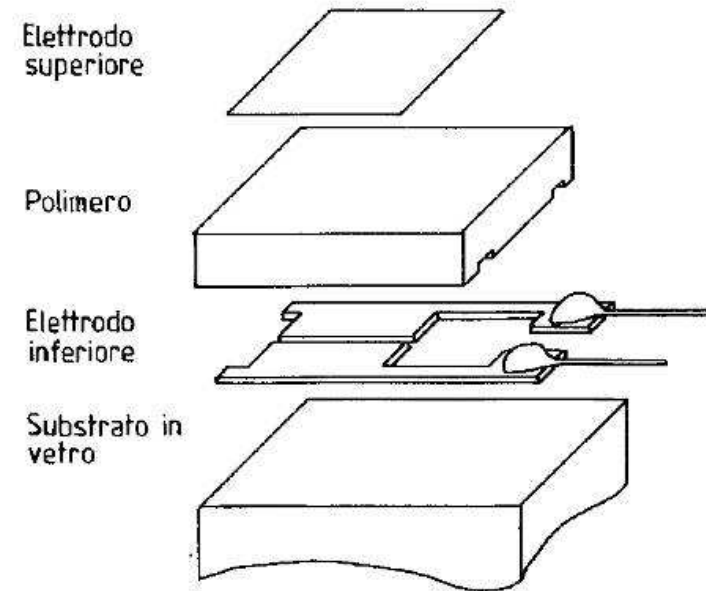


3. Gli igrometri relativi

- Gli igrometri relativi, come ad esempio gli igrometri a capello, gli igrometri elettrici capacitivi e resistivi, misurano direttamente l'umidità relativa definita

$$UR = \frac{p_v}{p_{vs}(t_a)}$$

- Limiti:
 - sensibilità alla temperatura
 - sporcamento/contaminazione e superficiale



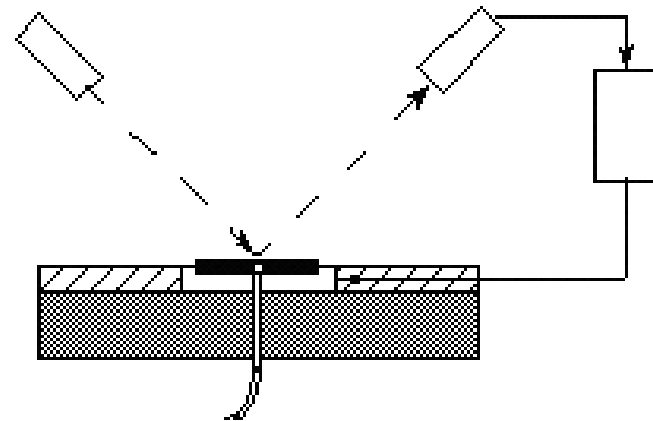
3. Gli igrometri a condensazione

- Gli igrometri a specchio condensante misurano la temperatura di rugiada, direttamente proporzionale alla pressione parziale del vapore p_v e quindi al titolo w :

$$p_v = p_{vs}(t_r)$$

$$w = 0.612 \frac{p_v}{(P - p_v)}$$

- Limiti:
 - elevati tempi di risposta
 - sporcamento/contaminazione superficiale



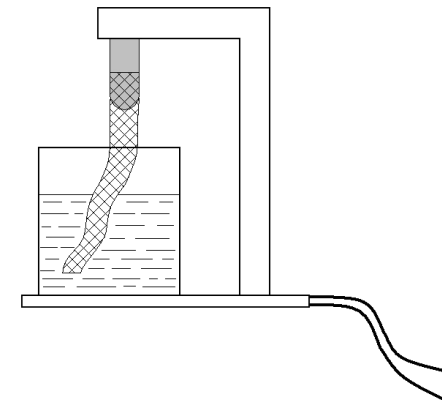
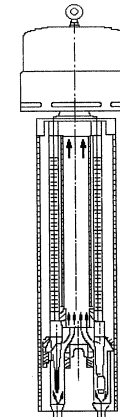
3. Gli psicrometri

- Lo psicrometro è costituito da due termometri di cui il primo termometro misura la temperatura di “bulbo asciutto” dell’aria il secondo la temperatura di “bulbo umido”

$$p_v = p_{vs}(t_{bu}) - AP(t - t_{bu})$$

$$w = 0.612 \frac{p_v}{(P - p_v)}$$

- Limiti:
 - sporcamento della garza e dello schermo radiativo,
 - temperatura dell’acqua di alimentazione
 - velocità di aspirazione

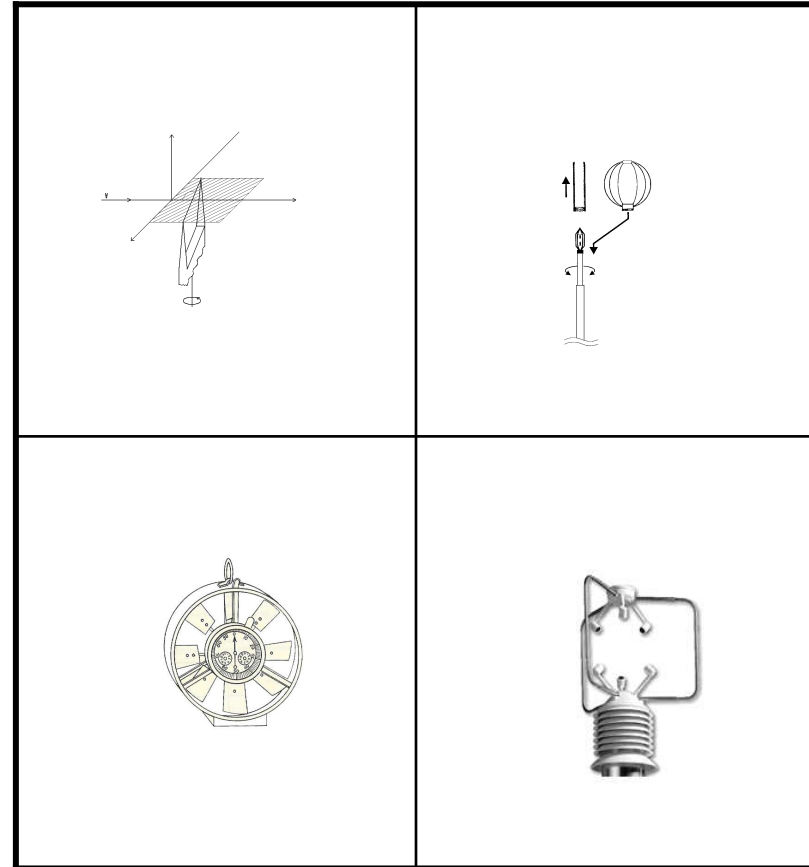


4. La velocità dell'aria

- Strumenti di misura
 - Anemometri omnidirezionali (a film caldo)
 - Anemometri direzionali (a filo caldo, a mulinello)
 - Anemometri 3D (a filo caldo e ad ultrasuoni)

$$v_{\text{media}} = \sqrt{(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)}$$

- Fattori di incertezza (classe C rich. $\pm(0.05+0.05 \text{ va}) \text{ m/s desid. } 0.02+ \dots$)
 - caratteristica (taratura)
 - deriva
 - costante di tempo (turbolenza)
 - Influenza alla direzione
- Verifica e Taratura
 - Ugelli
 - Gallerie del vento



5. Il metabolico energetico M (UNI EN ISO 8996: 2005)

Livello	Metodo	Incertezza	Ispezione dei luoghi di lavoro
1 Esame	1A: Classificazione in accordo all'occupazione	Rischio di errore molto grande	Non necessaria
	1B: Classificazione in accordo all'attività		
2 Osservazione	2A: Tabelle valori aggregati	Rischio di errore alto (incertezza $\pm 20\%$)	Tempo e moto necessario allo studio
	2B: Tabelle aliquote disaggregate		
3 Analisi	3 : Misura della frequenza cardiaca sotto assegnate condizioni	Rischio di errore medio (incertezza $\pm 10\%$)	Studio richiesto per determinare un periodo rappresentativo
4 Perizia	4A: Misure del consumo di ossigeno	Incertezza funzione delle misure (incertezza $\pm 5\%$)	Tempo e moto necessario allo studio
	4B: Metodo DLW		Ispezione del luogo di lavoro non necessaria, ma le attività disponibili devono essere valutate
	4C: Metodo calorimetrico diretto		Ispezione del luogo di lavoro non necessaria

5. Il metabolico energetico M (UNI EN ISO 8996: 2005)

Valutazione indiretta

- Esame in funzione della classificazione di occupazione (ISO 8996/livello 1A) / attività (ISO 8996 /livello 1B)
 - Tipo: Classe 0/1/2/3/4
 - Precisione: approssimativa
- Stima in funzione dell'attività specifica aggregata (ISO 8996/livello 2A) e disaggregata (ISO 8996/livello 2B)
 - Tipo: somma dell'energia metabolica (basale+carico di lavoro+postura+velocità)
 - Precisione: scarsa ($\approx 20\%$)

Misura diretta/ indiretta

- Misura della frequenza cardiaca
 - Tipo strumento: cardiofrequenzimetro
 - Precisione: media ($\approx 10\%$)
- Misura del consumo di ossigeno
 - Tipo strumento: flussimetro, sonda di ossigeno
 - Precisione: buona ($\approx 5\%$)
- Misura dell'energia termica scambiata
 - Tipo strumento: calorimetro (Tubi Douglas)
 - Precisione: buona (5%-10%)

5. Il metabolico energetico M: valutazione indiretta

Valutazione indiretta - livello 1

Classificazione dei livelli del tasso metabolico (ISO 8996 - tabella A2)			
Classe	Valore medi tasso metabolico		Esempi
	W/m ²	W	
Classe 0: A riposo	65 (55 a 70)	115 (100 a 125)	Riposo
Classe 1: Tasso metabolico basso	100 (70 a 130)	180 (125 a 235)	Seduto a proprio agio: lavoro manuale leggero (scrittura, battitura a macchina, disegno, taglio, contabilità); lavoro con mani e braccia (piccoli utensili, ispezione, montaggio o cernita di materiale leggero); lavoro con braccia e gambe (guida di un veicolo in condizioni normali, manovra di un pedale o di interruttore con i piedi). In piedi: lavoro con trapano (piccoli pezzi); fresatrice (piccoli pezzi); avvolgimento bobine; avvolgimento piccole armature; lavoro con macchine di piccola potenza; passeggiare (velocità fino a 3,5 km/h).
Classe 2: Tasso metabolico moderato	165 (130 a 200)	295 (235 a 360)	Lavoro sostenuto con mani e braccia: (martellare chiodi, limare); lavoro con braccia e gambe (guida di autocarri fuori strada, trattori o macchine per costruzione); lavoro con braccia e tronco (lavoro con martello pneumatico, montaggio trattori, intonacare, movimentazione intermittente di materiale moderatamente pesante, sarchiare, zappare, raccogliere frutta o verdura); spingere o tirare carri leggeri o carriole; camminare a velocità compresa tra 3,5 e 5,5 km/h; fucinare.
Classe 3: Tasso metabolico elevato	230 (200 a 260)	415 (360 a 465)	Lavoro intenso con braccia e tronco; portare materiale pesante; scavare con pala; lavorare con martello; segare, piallare o scalpellare legno duro; tosare l'erba a mano; scavare; camminare ad una velocità tra 5,5 e 7 km/h. Spingere o tirare carri e carriole con carichi pesanti; sbavare pezzi fusi; disporre blocchi di cemento.
Classe 4: Tasso metabolico molto elevato	290 (>260)	520 (>465)	Attività molto intensa a ritmo da veloce a massimo; lavorare con la scure; scavare in modo intenso; salire scale o rampe; camminare velocemente a piccoli passi, correre, camminare a velocità superiore a 7 km/h.

Valutazione indiretta - livello 2

Energia metabolica in W/m ² per un soggetto seduto in funzione del carico di lavoro e delle parti del corpo coinvolte (ISO 8996 - tabella B1)				
Parti del corpo		Carico di lavoro		
		leggero	medio	pesante
Entrante le mani	Valore medio	70	85	95
	Intervallo	<75	75-90	>90
Un braccio	Valore medio	90	110	130
	Intervallo	<100	100-120	>120
Entrante le braccia	Valore medio	120	140	160
	Intervallo	<130	130-150	>150
Corpo	Valore medio	180	245	335
	Intervallo	<210	210-285	>285

5. Il metabolico energetico M: misura indiretta

- misura della frequenza cardiaca

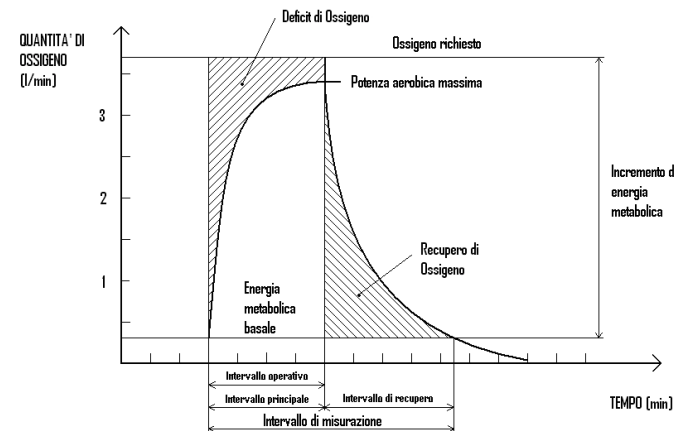
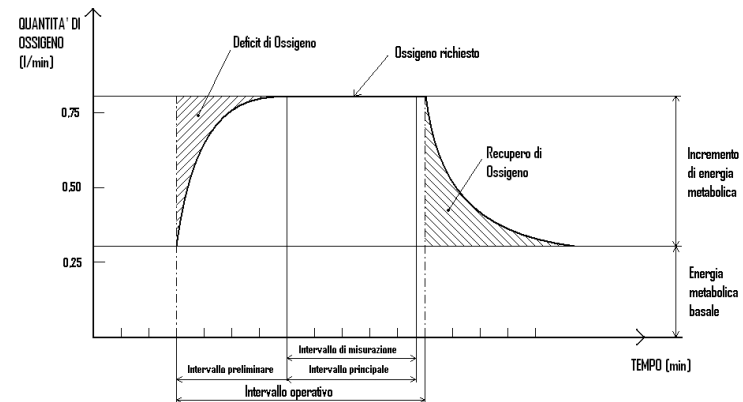
$$HR = HR_0 + RM \cdot (M - M_0)$$

dove:

$$HR = HR_0 + \Delta HR_M + \Delta HR_S + \Delta HR_T + \Delta HR_N + \Delta HR_E$$

- misura della quantità di ossigeno consumato:
 - metodo parziale
 - metodo integrale

$$M = EE \cdot V_{O_2} / A_{Du}$$



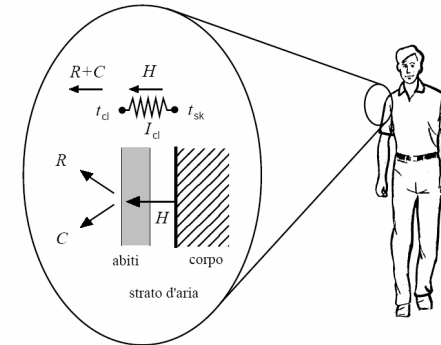
6. L'isolamento termico vestiario I_{cl}

- L'isolamento termico base (o intrinseco del vestiario) I_{cl} viene genericamente definito mediante la relazione

$$I_{cl} = \frac{\bar{t}_{sk} - \bar{t}_{cl}}{H}$$

- L'isolamento termico dell'abbigliamento dipende soprattutto dallo spessore e dalla porosità di ogni strato che lo compone, oltre che dalla superficie corporea coperta. :

$$I_{clu} = 0.00067 \cdot A_{cov} + 0.217 \cdot H_{fab} \cdot A_{cov}$$



Parti del corpo	% sul totale
1 Testa – collo	8,7
2 Torace	10,2
3 Schiena	9,2
4 Addome	6,1
5 Natiche	6,6
6 Arto superiore destro	4,7
7 Arto superiore sinistro	5,2
8 Arto inferiore destro	3,2
9 Arto inferiore sinistro	3
10 Mano destra	2,5
11 Mano sinistra	2,5
12 Coscia destra	9,1
13 Coscia sinistra	9,3
14 Polpaccio destro	6,1
15 Polpaccio sinistro	6,2
16 Piede destro	3,6
17 Piede sinistro	3,8
Totale	100

6. L'isolamento termico vestiario I_{cl}

Valutazione indiretta

- Valutazione in funzione della tipologia di vestiario (UNI EN ISO 9920: 2004)
 - Tipo: uomo/donna; estiva/invernale
 - Precisione: scarsa
- Valutazione in funzione dello specifico vestiario indossato (UNI EN ISO 9920: 2004)
 - Tipo: maglieria intima/maglie/pantaloni/.../accessori
 - Precisione: media

Limiti:

- non vengono presi in considerazione i movimenti del corpo e l'aderenza del vestiario
- non è considerata la permeabilità al vapore

Misura diretta

- Misura della resistenza termica vestiario (ISO 9920)
 - Tipo strumento: manichino termometri; camera climatica;
 - Precisione: buona (5%-10%)

6. L'isolamento termico vestiario I_{cl}

Abbigliamento completo (tabella A2 ISO 9920)					
N°	Abbigliamento completo	Massa (g)	f_{cl}	I _{cl}	
				clo	m ² C/W
ABBIGLIAMENTO GIORNALIERO Pantaloni, camicia					
100	Mutande 8, maglietta 30, pantaloncini 364, calzini al polpaccio 264, scarpe da ginnastica 262	318	1.1	0.33	0.051
101	Mutande 1, Cappello a cilindro 69, pantaloni corti 99, sandali 272	258	1.07	0.23	0.036
102	Mutande 8, maglia a maniche corte 79, pantaloni corti 97, calzini al polpaccio 265, scarpe 260	622	1.11	0.41	0.064
103	Mutande 8, maglia con maniche a 3/4 66, pantaloni corti 97, calzini 263, scarpe da ginnastica 260	451	1.17	0.52	0.081
106	Mutande 1, camicia a maniche corte 68, pantaloni aderenti 102, sandali 272	523	1.14	0.44	0.068

TABELLA B2 Descrizione indumento (tabella B2 ISO 9920)						
N°	Descrizione indumento	Genere N°	Tessuto N°	Massa ind. [g]	I _{cl}	
					[clo]	[m ² C/W]
BIANCHERIA INTIMA						
1	Mutande	1	25	27	0.03	0.005
2	Calze	8	-	39	0.02	0.003
44	Reggiseno e mutande	7	57	87	0.04	0.006
MAGLIERIA INTIMA						
30	Maglietta	2	27	105	0.08	0.012
31	Maglietta	2	50	180	0.1	0.016

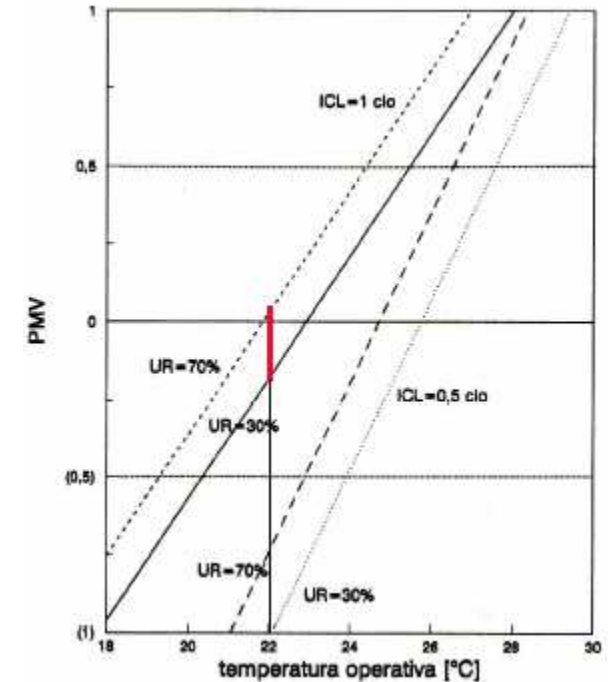
Sensibilità degli indici agli errori di misura

	ta (°C)	t _{mr} (°C)	UR%	wa (m/s)	M (met)	I _{cl} (clo)	PMV	Errore PMV
	23	23	60	0.10	1	1	0	
Errore ta=0.5°C	23.5	23	60	0.10	1	1	0.07	0.07
Errore t _{mr} =2°C	23	25	60	0.10	1	1	0.25	0.25
Errore UR=5%*	23	23	65	0.10	1	1	0.03	0.03
Errore wa=0.15	23	23	60	0.15	1	1	-0.12	-0.12
Errore M=10%	23	23	60	0.10	1,1	1	0.20	0.20
Errore I _{cl} =10%	23	23	60	0.10	1	1,1	0,14	0,14

* equivalenti ad un errore di circa 150kPa nelle condizioni ambientali utilizzate

	ta (°C)	t _g (°C)	t _{nw} (°C)	M(met)	WBGT	Errore WBGT
	30	35	25	4	27.5	
Errore ta=0.5°C	30.5	35	25	4	27.6	0.05 (0 per ambienti interni)
Errore t _g =0.5°C	30	35.5	25	4	27.6	0.1 (015 per per ambienti interni)
Errore t _n =0.5°C	30	35	25.5	4	27.9	0.35
Errore M=10%	30	35	25	4.4		(influisce sul WBGT limite)

	ta (°C)	t _{mr} (°C)	UR%	wa (m/s)	M (met)	IREQ (clo)	Errore IREQ
	-10	-10	50	1	2	2.59	
Errore ta=0.5°C	-9.5	-10	50	1	2	2.56	0.03
Errore t _{mr} =0.5°C	-10	-9.5	50	1	2	2.58	0.01
Errore UR=5%	-10	-10	50.5	1	2	2.58	0.01
Errore wa=0.15m/s	-10	-10	50	1.1	2	2.60	0.01
Errore M=10%	-10	-10	50	1	2.2	2.32	0.27



Obiettivo 1: Laboratori metrologici accreditati

Benessere Termoisgrometrico

- Grandezze consolidate

- Grandezze non consolidate

TARATURE (Grandezze fisiche)

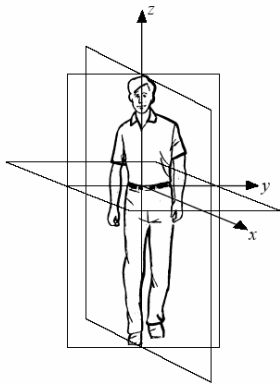
- Umidità
- Temperatura
- Velocità dell'aria
- Temperatura media radiante
- Asimmetria della temperatura radiante
- Temperatura piana radiante
- Temperatura di globo
- Temperatura di bulbo umido a ventilazione naturale

PROVE (Grandezze)

- Tasso metabolico (M)
- Resistenza abbigliamento (Icl)

CALCOLO (Indici di stress/benessere)

- PMV
- PPD
- Temperatura operativa
- WBGT
- WCI
- ECT
- DLE
- RT



Obiettivo 2: Potenziamento servizi di misura alle PMI

- **Laboratorio ambientale UNILAB:**
 - Sistema di misura parametri termoigrometrici (WBGT, t, ..)
 - Sistema di misura parametri qualità dell'aria
 - Sistema di misura polvero (PM10, PM2,5, PTS)
 - Termocamera da laboratorio
 - Termocamera da campo
- **Messa a punto di protocolli e procedure di misura validate (ISO 17025):**
 - individuazione delle postazioni di misura,
 - scelta delle tecniche di misura appropriate (ai limiti della normativa e delle misure nelle zone di ambiguità ai sensi della norma ISO 14253)
 - misurazione/valutazione dei parametri di comfort/stress
 - calcolo degli indici
 - messa a punto di metodiche di gestione delle misure e della strumentazione per il controllo ambientale
 - Stima dell'incertezza
- **SW di calcolo validati (ISO 17025):**
 - Modellazione del campo termico ambientale
 - Modellazione del bilancio termico sull'individuo
 - Calcolo degli indici di benessere e stress
 - Stima dell'incertezza di misura
- **Audit interlaboratorio:**
 - Umidità
 - velocità dell'aria
- **Verifiche condizioni di benessere in PMI:**
 - Misure del benessere/stress termico
 - Verifica dell'idoneità degli ambienti di lavoro



Programma di calcolo degli indici di stress da freddo (REQ, WCI, DLE, RT) Norma UNI EN ISO 11079:2001			
DA TI SINT	Metodo	Metodo	Metodo
REQ	Metodo	Metodo	Metodo
WCI	Metodo	Metodo	Metodo
DLE	Metodo	Metodo	Metodo
RT	Metodo	Metodo	Metodo



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		Ambienti termici moderati. Determinazione degli indici PMV e PPD e specifiche per le condizioni di benessere termico.	UNI EN ISO 7730: 1997 (IN REV)
Valutazione dello stress termico in ambienti freddi		Valutazione degli ambienti freddi – Determinazione dell'isolamento richiesto dagli indumenti (IREQ).	UNI ENV ISO 11079 2001 (IN REV)
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 termoigr.		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