

Corso Microclima

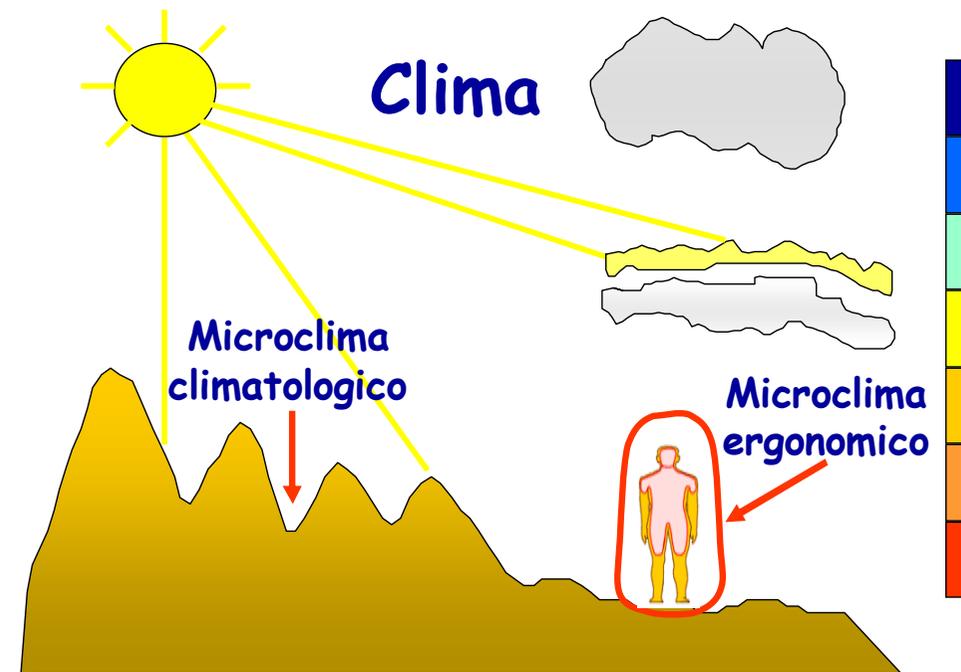
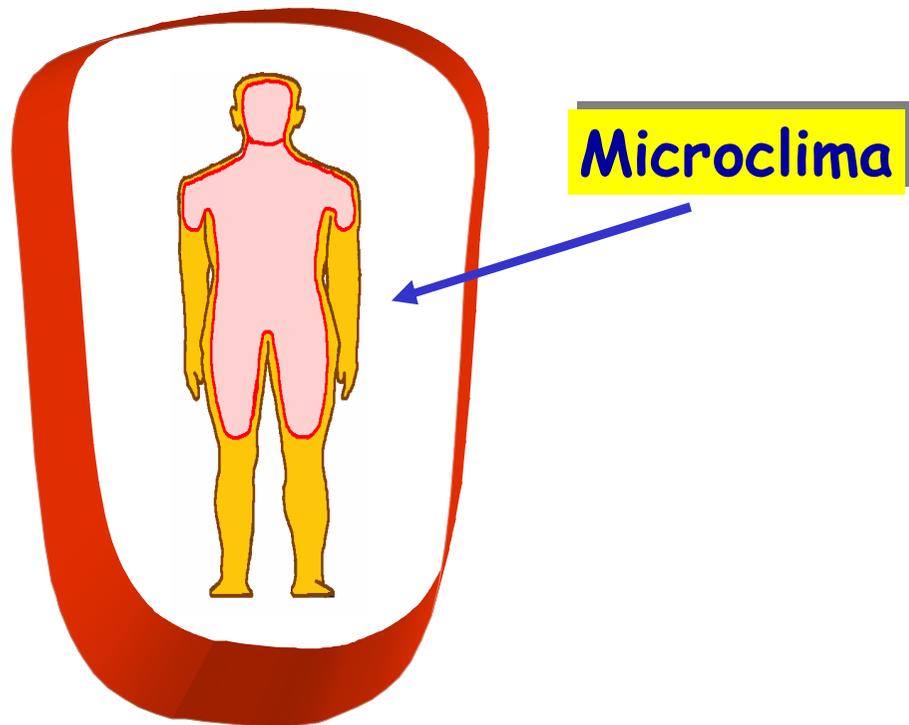
Giovanni Molteni, Giovanni De Vito, Pier Luigi Zambelli

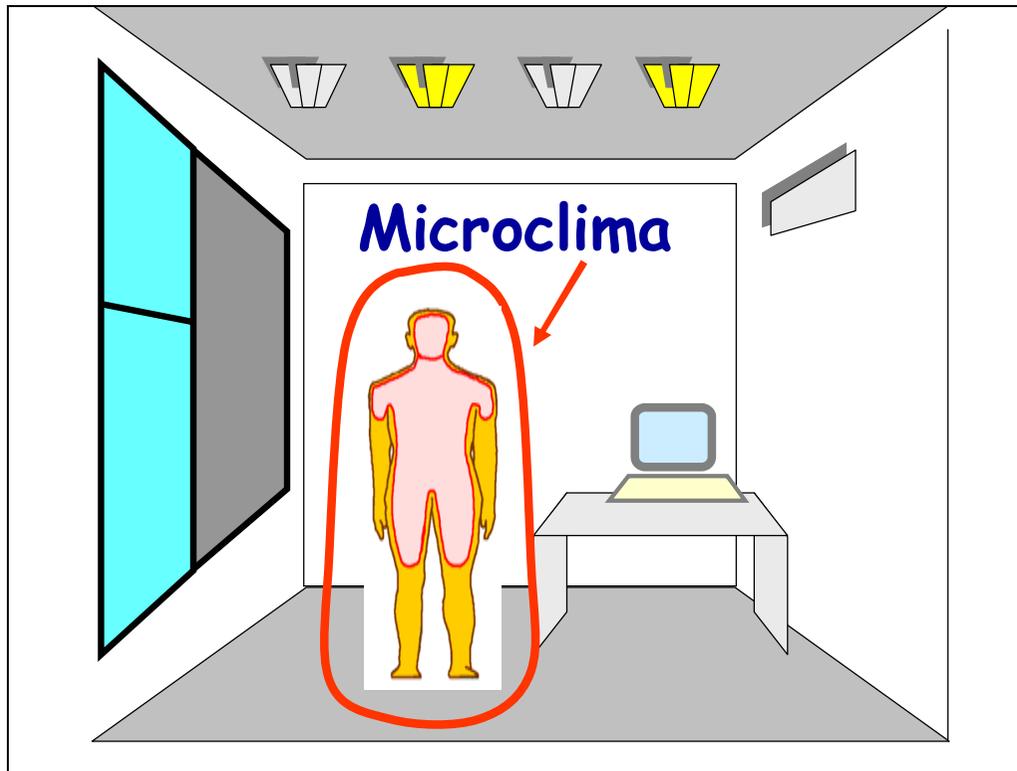
Università degli Studi di Milano - Bicocca
Dipartimento di Medicina Clinica, Prevenzione e Biotecnologie Sanitarie

Il materiale del
Corso Microclima
e' disponibile on-line
sul Web all'indirizzo:

[http://www.medlavoro.medicina.unimib.it/
devito/corso-microclima.htm](http://www.medlavoro.medicina.unimib.it/devito/corso-microclima.htm)

- Testo del corso: .pdf
- Programmi per il calcolo degli indici di confort e stress
- Modulo per le rilevazioni
- Tracce per le relazioni/esercitazioni dei gruppi





DEFINIZIONE

Si definisce “microclima” il complesso dei parametri climatici dell’ambiente locale (ma non necessariamente confinato) che determina gli scambi termici fra l’ambiente stesso e gli individui che vi operano.

Con particolare riferimento agli aspetti normativi gli ambienti termici vengono convenzionalmente distinti in:

- Ambienti moderati
- Ambienti caldi
- Ambienti freddi

Legislazione vigente in materia di microclima

Legislazione vigente in materia di microclima

DPR 303 del 27 aprile 1956

Art. 11. TEMPERATURA DEI LOCALI

La **temperatura** nei locali di lavoro deve essere adeguata all'organismo umano durante il tempo di lavoro, tenuto conto dei **metodi di lavoro** applicati e degli **sforzi fisici** imposti ai lavoratori.

Nel giudizio sulla temperatura adeguata per i lavoratori si deve tener conto della influenza che possono esercitare sopra di essi il grado di **umidità** e il **movimento dell'aria** concomitanti.

La temperatura dei locali di riposo, dei locali per il personale di sorveglianza, dei servizi igienici, delle mense e dei locali di pronto soccorso deve essere conforme alla destinazione specifica di questi locali.

Le finestre, i lucernari e le pareti vetrate devono essere tali da **evitare un soleggiamento eccessivo** dei luoghi di lavoro, tenendo conto del tipo di attività e della natura del luogo di lavoro.

Quando non è conveniente modificare la temperatura di tutto l'ambiente, si deve provvedere alla **difesa** dei lavoratori contro le **temperature troppo alte o troppo basse** mediante misure tecniche localizzate o mezzi personali di protezione.

Legislazione vigente in materia di microclima

DPR 303 del 27 aprile 1956

Art. 12. APPARECCHI DI RISCALDAMENTO.

Gli apparecchi a fuoco diretto destinati al riscaldamento dell'ambiente nei locali chiusi di lavoro di cui al precedente articolo, devono essere muniti di condotti del fumo privi di valvole regolatrici ed avere tiraggio sufficiente per evitare la corruzione dell'aria con i prodotti della combustione, ad eccezione dei casi in cui, per l'ampiezza del locale, tale impianto non sia necessario.

Art. 13. UMIDITÀ.

Nei locali chiusi di lavoro delle aziende industriali nei quali l'aria è soggetta ad inumidirsi notevolmente per ragioni di lavoro, si deve **evitare**, per quanto è possibile, la **formazione della nebbia**, mantenendo la temperatura e l'umidità nei limiti minimi compatibili con le esigenze tecniche.

Legislazione vigente in materia di microclima

DPR 320/56 e DPR 128/59

lavori (cantieri) in sotterraneo e nell'esercizio di cave e miniere, per i quali valgono i dispositivi di legge specifici di settore DPR 320/56 e DPR 128/59 che, tra l'altro, fissano anche dei valori limite.

Sono definite una **temperatura massima di 30-32°C** considerata compatibile con l'esecuzione di attività della durata di 8 h/giorno ed è invece **vietata la normale attività al superamento dei 35°C**.

Legislazione vigente in materia di microclima

- Con l'entrata in vigore dei **D.L. vi 626/94 e 242/96** i problemi di comfort e di sicurezza negli ambienti hanno assunto una rilevanza maggiore di quella avuta in precedenza.
- Va detto che, per quanto riguarda gli aspetti termici, i decreti citati forniscono solo **indicazioni del tutto generali** (cfr. gli artt. 3, 9 e 33 del D.L.vo 626/94 e gli artt. 27 e 29 del D.L.vo 242/96), rimandando di fatto alla **normativa tecnica** che in questo settore è particolarmente abbondante e dettagliata ed in continuo sviluppo.

Legislazione vigente in materia di microclima

D.L.vo 242/96 Art. 27.

Integrazioni all'allegato IV del decreto legislativo n. 626/1994 1. All'allegato IV al decreto legislativo n. 626/1994, sono aggiunti, in fine, i seguenti paragrafi: ...Scarpe e soprascarpe con suola anticalore; Scarpe, stivali e soprastivali di protezione contro il calore; Scarpe, stivali e soprastivali di protezione contro il freddo; Ghettoni; Solette amovibili (anticalore, antiperforazione o antitranspirazione); Ramponi amovibili per ghiaccio, neve, terreno sdruciolevole. Giubbotti termici; Indumenti di protezione contro il calore; Indumenti di protezione contro il freddo;... ".

Legislazione vigente in materia di microclima

D.L.vo 242/96 Art. 29.

Integrazioni all'allegato VII del decreto legislativo n. 626/1994 1. Nell'allegato VII al decreto legislativo n. 626/1994, sono aggiunti, in fine i seguenti paragrafi: "2. AMBIENTE ... e) Calore Le attrezzature appartenenti al/ai posto/i di lavoro non devono produrre un eccesso di calore che possa essere fonte di disturbo per i lavoratori. f) Radiazioni Tutte le radiazioni, eccezion fatta per la parte visibile dello spettro elettromagnetico, devono essere ridotte a livelli trascurabili dal punto di vista della tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori. g) Umidita' Si deve fare in modo di ottenere e mantenere un'umidita' soddisfacente.

Testo di riferimento

Nicolini O., Nataletti P., Peretti A.
*Microclima, aerazione e illuminazione
nei luoghi di lavoro. Verso un manuale di buona pratica*
In dBA Incontri 1985-2005. Bologna 14 settembre 2005

SITI WEB

www.acgih.org (ACGIH – American Conference of Governmental Industrial Hygienists)
www.aicarr.it (AICARR – Assoc.It. Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento, Refrigerazione)
www.aivc.org (AIVC – Air Infiltration and Ventilation Centre)
www.amblav.it (Associazione Ambiente e Lavoro)
http://www.squ1.com/index.php?http://www.squ1.com/downloads/download-form.php?PsychTool_v110(software per calcolo dell'indice di comfort PMV)
www.ashrae.org (ASHRAE– Am. Soc. of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers)
www.cenorm.be/CENORM/BusinessDomains/TechnicalCommittees/Workshops/CENTechnicalCommittees/CENTechnicalCommittees.asp?param=6138&title=CEN%2FTC+156
(CEN TC 156 – Ventilation for Buildings)
http://www.eat.lth.se/Forskning/Termisk/Termisk_HP/Klimatfiler/IREQ2002alfa.htm (calcolo on-line dello stress termico in ambienti severi freddi)
www.epa.gov/iaq/ (EPA – Environmental Protection Agency – Indoor Air Quality)
www.hb2000.org (Healthy Building 2000 Conference)
www.iso.ch (ISO – International Organization for Standardization)
www.ispesl.it (ISPESL – Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro)
www.md.ucl.ac.be/hytr/new/Download/downloadEn.htm (per scaricare il software che consente il calcolo dello stress termico in ambienti severi caldi)
www.uni.com (UNI – Ente nazionale italiano di unificazione)
http://architettura.supereva.it/notes/ns_nazionale/ (Normativa nazionale fino al 1996)

Cenni di Termofisiologia

Cenni di termofisiologia

L'uomo e' un organismo "omeotermo" ossia con una temperatura interna costante

I meccanismi di termoregolazione si basano su un:
Controllo centrale ipotalamico



Sensori periferici
nel midollo
nella cute



Effettori
vasomotori
sudoripari
metabolici

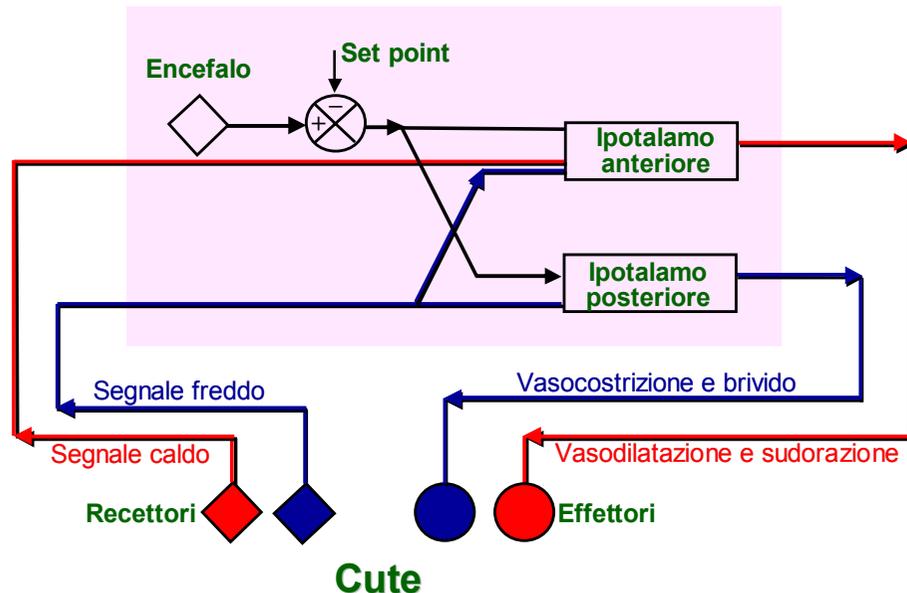
I meccanismi di termoregolazione entrano in azione nelle situazioni di caldo e freddo con lo scopo di mantenere la temperatura interna costante.

Cenni di Termofisiologia

L'uomo e' un organismo "omeotermo" ossia e' in grado di mantenere una temperatura costante (nucleo ~37 °C)

Mantenere le condizioni di omeotermia **non coincide con il mantenimento del benessere** (soddisfazione psichica). Il nucleo puo' essere a ~37°C ma l'organismo **puo' affaticarsi** per mantenere questa condizione.

PRINCIPI DI TERMOREGOLAZIONE



PRINCIPI DI TERMOREGOLAZIONE

Meccanismi di difesa verso il caldo

vasodilatazione cutanea

perspiratio insensibilis (cute, polmoni)

sudorazione attiva

diminuzione attivita' motoria

fallimento dei sistemi

Meccanismi di difesa verso il freddo

vasocostrizione

brivido

aumento dell'attivita' motoria

fallimento dei sistemi

TEMPERATURE CORPOREE MISURABILI

Per la temperatura interna:

- Rettale (valore medio del nucleo)
- Esofagea (piu' vicina alla temperatura cardiaca)
- Timpanica (piu' vicina alla temperatura cerebrale)
- Orale (meno precisa)

Per la temperatura esterna:

- Cutanea media * (valore medio 35,5°C)

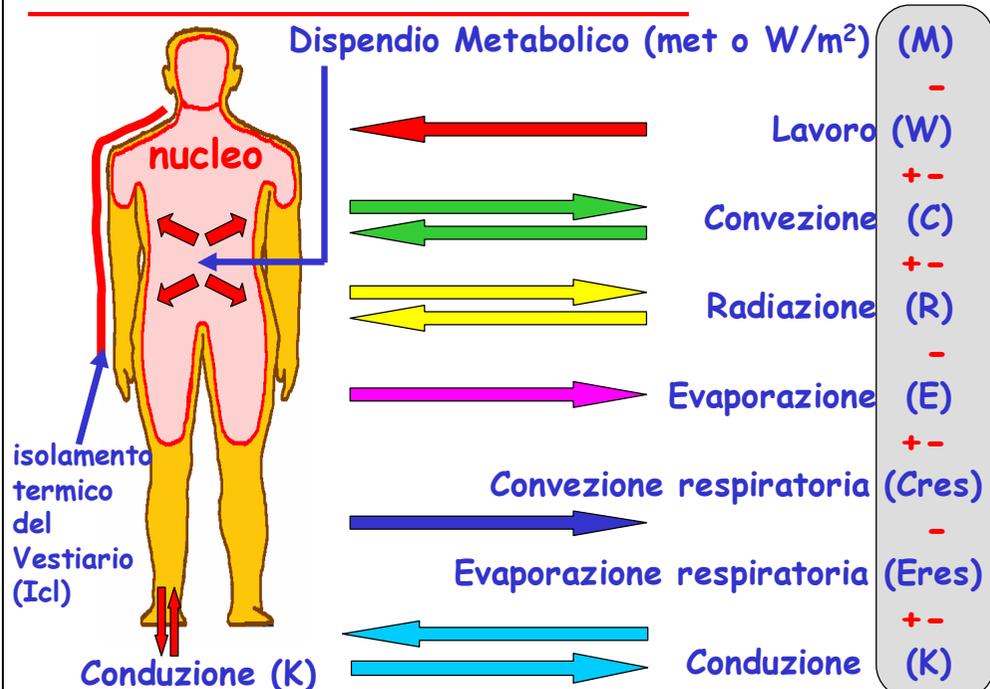
* 0,21 temp. fronte + 0,17 temp. addome + 0,11 temp. torace + 0,10 temp. dorso + 0,15 temp. Coscia + 0,08 temp. polpaccio + 0,12 temp. braccio + 0,06 temp. avambraccio

Cenni di Termofisiologia

Il sistema è governato dall'**equazione di bilancio termico**
S = potenza termica accumulata dall'organismo

l'equilibrio si ottiene quando **S=0**

Equazione di Bilancio Termico = S/Wm^2



Equazione di Bilancio Termico = S/Wm^2

in **ambienti moderati** la termodispersione verso l'esterno avviene prevalentemente attraverso

cute (79%),
 aria espirata (19%)
 escreti (2%)

in **ambienti moderati o freddi**

il calore viene ceduto principalmente mediante **l'irraggiamento, la convezione e l'evaporazione** (mentre la conduzione ha spesso un ruolo molto minore)

Equazione di Bilancio Termico = S/Wm^2

Negli ambienti **caldi**
al contrario

il corpo assorbe calore:

in quest'ultima condizione,
l'unico mezzo con il quale può
raffreddarsi è
l'evaporazione del sudore
(580 Kcal/l di sudore evaporato)

Grandezze Fondamentali che determinano il bilancio termico

Parametri fisici ambientali

T_a = temperatura dell'aria ($^{\circ}C$)

T_r = temperatura media radiante ($^{\circ}C$)

U = Umidità relativa (%)

V_a = velocità dell'aria (m/s)

Caratteristiche dell'individuo

M = dispendio metabolico (met o W/m^2)

I_{cl} = isolamento del vestiario (clo $m^2/^{\circ}C Watt$)

Parametri fisici ambientali e personali che determinano il rapporto uomo – ambiente

Quantità	Simbolo	Unità di misura
Temperatura secca dell'aria	t_s	$^{\circ}C$
Temperatura media radiante	t_r	$^{\circ}C$
Umidità relativa	ϕ	%
Velocità relativa dell'aria	v_{ar}	m/s
Attività metabolica	M	W/m^2 o met (1met=58,2 W/m^2)
Resistenza termica del vestiario	I_{cl}	$m^2^{\circ}C/W$ o clo (1clo=0,155 $m^2^{\circ}C/W$)

L'aspetto critico nella valutazione delle condizioni microclimatiche è che l'organismo umano risponde all'interazione dei 6 fattori che devono sempre essere tutti valutati

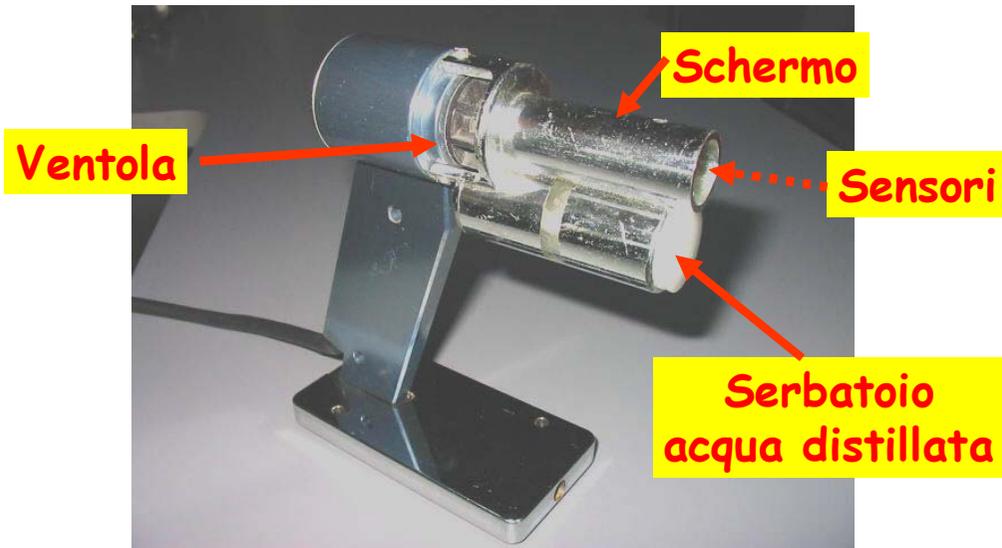
Caratteristiche delle sonde

Centralina



Caratteristiche delle sonde

Sonda per T_a e T_{bu} (psicrometro)



Caratteristiche delle sonde

Sonda per T_a e T_{bu} (psicrometro)



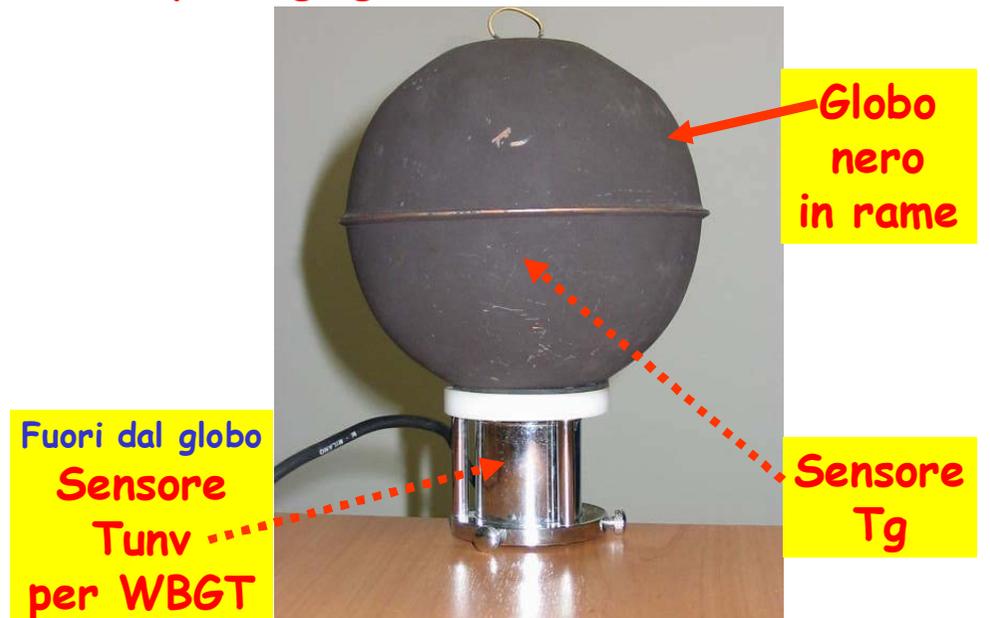
aria forzata: - rimuove l'evaporazione intorno a T_{buvf}
- aumenta la velocità di risposta dei sensori

Caratteristiche fondamentali delle sonde

- ✓ T_a = Temperatura dell'aria ($^{\circ}\text{C}$)
espansione/resistenza/termocoppia
= T_s = Temperatura secca ($^{\circ}\text{C}$)
Caratteristiche fondamentali della sonda
 - riflettente o schermata per radiazioni termiche
 - piccole dimensioni
- ✓ T_{bu} = temperatura del bulbo umido ($^{\circ}\text{C}$)
come T_a + umidificatore
= T_{uvf} = Temperatura umida a ventilazione forzata
Caratteristiche fondamentali della sonda
 - riflettente o schermata per radiazioni termiche
 - piccole dimensioni

Caratteristiche delle sonde

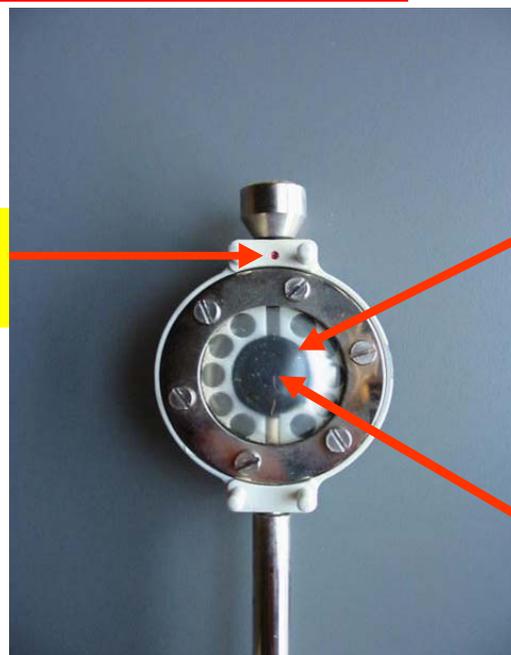
Sonda per T_g (globotermometro)



Caratteristiche delle sonde

Radiometro netto

lato caldo



Termopila
=
sensore

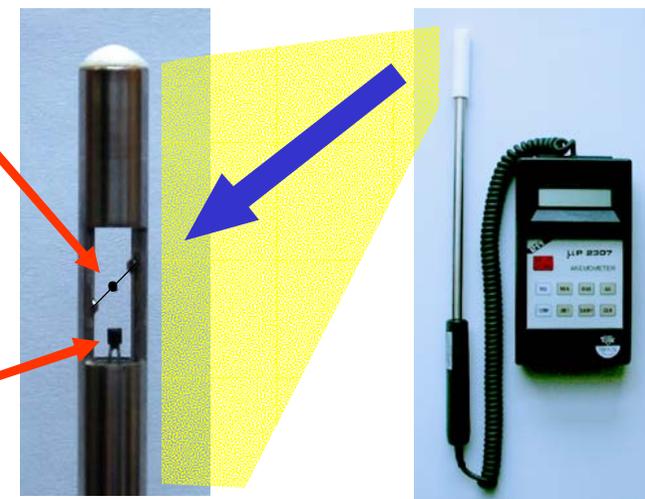
Copertura
antivento
(PET)
permeab.
IR

Caratteristiche delle sonde

Termoanemometro

sensore
ventilazione
termoresistenza
(filo caldo)

sensore
temperatura
stato solido



Caratteristiche fondamentali delle sonde

✓ V_a = velocità dell'aria (m/s)

filo caldo/ventolina

Caratteristiche fondamentali della sonda
• in grado di misurare i movimenti dell'aria
omni-direzionali
(3pigrco steradiani)

✓ T_r = temperatura media radiante (°C)

come T_a + globo nero/termopila

= T_g = temperatura del globotermometro (°C)
Caratteristiche fondamentali della sonda
• emissività elevata
• superficie integra

Classificazione delle sonde

✓ Sonde di tipo C = COMFORT

✓ Sonde di tipo S = STRESS

Esigenze di diversi intervalli di misura
Diverso grado di precisione
Diverso tempo di risposta

Misure di grandezza

✓ Fondamentali = Indipendenti dal tipo di sonda
Esempio T_a e V_a

✓ Derivate = Dipendenti dal tipo di sonda
Esempio T_g o T_{bu}

Caratteristiche delle sonde

	Range	Precisione	Latenza
Sonde di tipo C			
Ta	10-30 °C	±0.2 °C	*
Tr	10-40 °C	± 2 °C	*
Va	0.05-1 m/s	±0.05+0.5Va **	2 s
Pa	0.5-2.5 KPa	±15 Pa	*
Sonde di tipo S			
Ta	-40 - 120 °C	±0.5 °C	*
Tr	-40 - 150 °C	± 5 °C	*
Va	0.2-10 m/s	±0.1+0.05Va **	*
Pa	0.5-6 KPa	±15 Pa	*

* = minima possibile

** = entro un angolo solido di 3 pigreco steradiani

Misura dei parametri personali

✓ **Dispendio metabolico (met, 1 met = 58 W/m²)**

Misura Diretta

* Determinazione del consumo di O₂

Calorimetro Whole Body (Tubi Douglas)

Accuratezza +-5%

mitocondri (ciclo di Krebs)

bruciano grassi, zuccheri e proteine

consumando O₂

producono CO₂ + H₂O

Misura dei parametri personali

✓ **Dispendio metabolico (met, 1 met = 58 W/m²)**

Misura Indiretta

* Classificazione in base all'attività
(leggera, media, pesante)

Accuratezza molto scarsa

* Uso di tabelle di stima di attività
specifiche (compiti lavorativi)

Accuratezza +-15%

* Misure della Frequenza Cardiaca

Accuratezza +-5 / +15%

Misura dei parametri personali

✓ **Isolamento Termico del Vestiario
(clo, 1 clo = 0.155 m²/°C W)**

Metodi comunque indiretti

(misure su manichino statico)

* Stima di abbigliamento tipici

* Stima di singoli capi di vestiario

Non vengono presi in considerazione

* Movimenti del corpo

* Aderenza del vestiario al corpo

* permeabilità al vapore

Gli indici termici

Una volta noti i 4 parametri microclimatici fisici (temperatura secca dell'aria, temperatura umida, temperatura radiante e velocità dell'aria) ed i 2 parametri microclimatici personali (dispendio energetico e isolamento termico del vestiario) è possibile calcolare gli indici termici che permettono di esprimere una valutazione sugli ambienti lavorativi caldi (valutazione dello stress da caldo), freddi (valutazione dello stress da freddo) e termicamente neutri (valutazione del benessere termico)

Gli indici più utilizzati ed affidabili sono:



Valutazione delle
CONDIZIONE DI BENESSERE TERMICO
comfort

(ambienti condizionati, ...)

Esposizione ad ambienti freddi
(pesca, celle frigorifere, ...)

Esposizione ad ambienti caldi
(fonderie, vaserie, mattonifici, ...)

Il benessere termico



Valutazione delle condizioni di benessere termico

Mantenere una temperatura interna costante (~37°C) non coincide, con una condizione di **benessere termico**, che, invece, corrisponde ad una **sensazione di soddisfazione anche psichica** nei confronti dell'ambiente che ci circonda, con i meccanismi di termoregolazione impegnati al **minimo**

Ambito di Applicazione delle Valutazioni Microclimatiche

Valutazione delle
CONDIZIONE DI BENESSERE TERMICO

Comfort

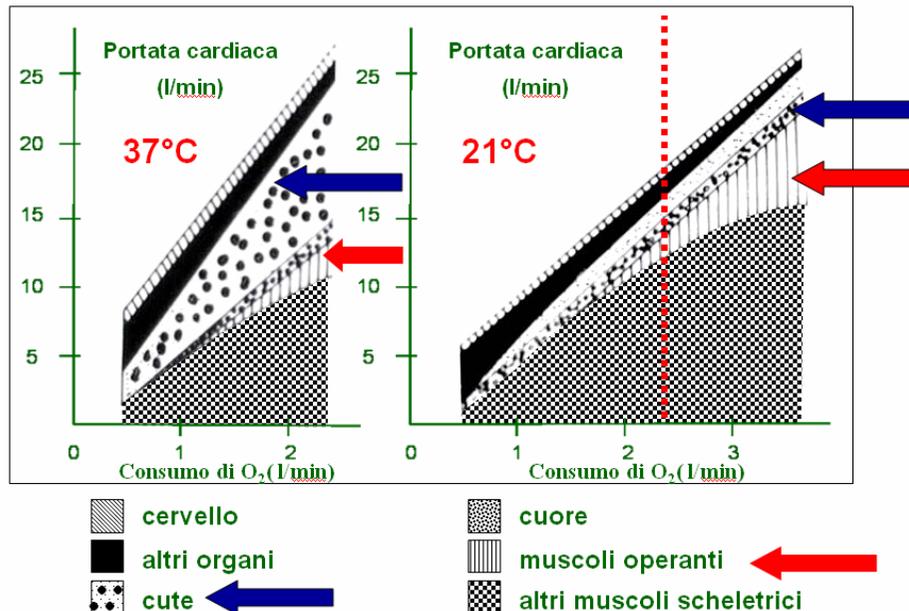
(Uffici - Lombardia terziario 70%)

Voto Medio Predetto
(PMV=Predicted Mean Vote o Indice PMV) FANGER-1970

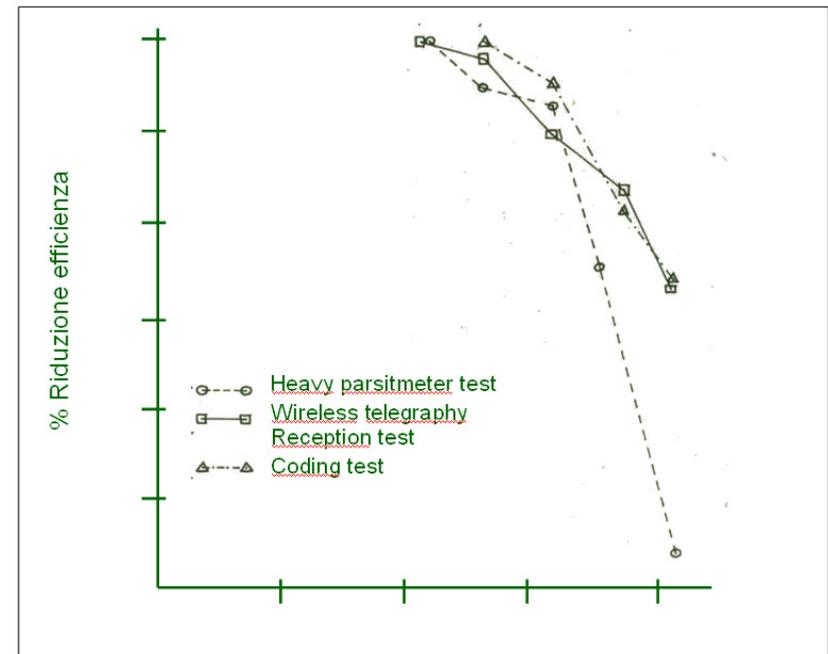
Il PMV

si basa sul presupposto, tratto da studi sperimentali, che la **CONDIZIONE DI BENESSERE TERMICO** per la maggior parte degli individui si ottiene quando il **bilancio termico e' in equilibrio** e la **temperatura cutanea media ed il calore dissipato per evaporazione del sudore variano entro limiti ben ristretti corrispondenti, di fatto, ad una sollecitazione moderata del sistema di termoregolazione.**

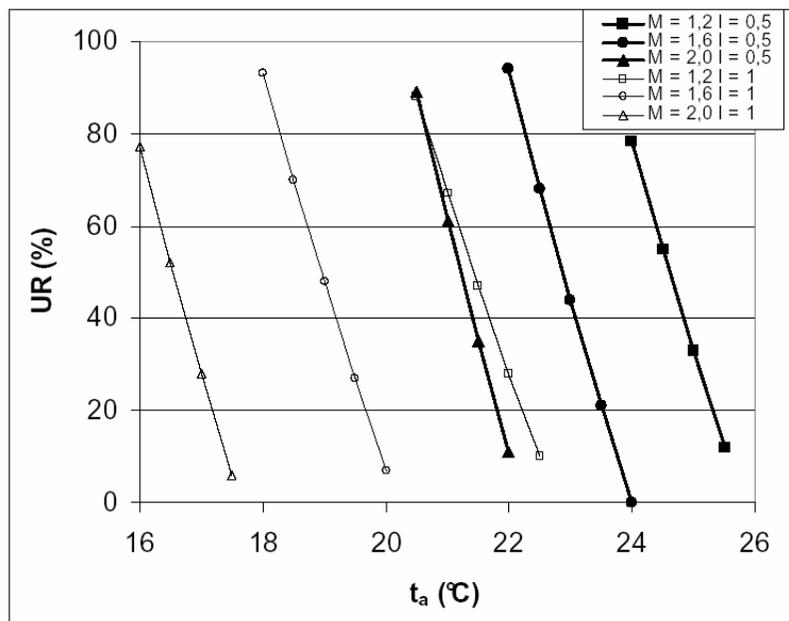
Distribuzione della portata cardiaca in rapporto al consumo di O₂ a differenti temperature ambientali con umidità relativa costante (50%)
a sinistra a 37°C, a destra a 21°C.



Comportamento di alcuni tests psicologici



Temperatura ed Umidità Relativa ottimali in funzione del metabolismo e dell'isolamento termico del vestiario



Voto Medio Predetto

(PMV=Predicted Mean Vote o Indice PMV) FANGER-1970

Al di fuori del benessere termico, la sensazione di caldo o di freddo e' proporzionale al carico termico inteso come:

potenza termica generata all'interno del corpo umano
meno (-)

potenza termica dispersa in condizioni di benessere

Il carico termico, cosi' definito, sperimentalmente si e' dimostrato correlabile, in vaste popolazioni, con il voto che puo' essere espresso dai soggetti su una:



Valutazione delle condizioni di benessere termico

Poiché il PMV è un valore medio, esso sottintende l'esistenza di una **variabilità individuale**

Di conseguenza, anche per un gruppo di individui esposti ad identiche condizioni microclimatiche, non è possibile individuare una situazione ideale, valida per tutti

Per tale motivo all'indice PMV risulta direttamente associato un secondo indice noto come PPD, acronimo di Predicted Percentage of Dissatisfied, che indica la percentuale di soggetti che si ritengono insoddisfatti dalle condizioni microclimatiche in esame

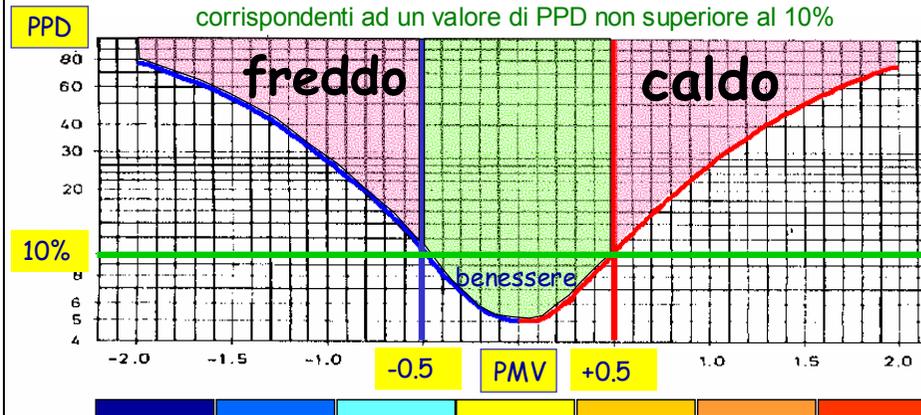
Voto Medio Predetto

(PMV=Predicted Mean Vote o Indice PMV) FANGER-1970

Sulla base di dati sperimentali e' stata elaborata una **CORRELAZIONE** tra **Indice PMV** e la **Percentuale Predetta di Insoddisfatti**

(Predicted Percentage of Dissatisfied o **Indice PPD**)

La norma ISO 7730 ritiene accettabili valori di PMV compresi tra -0.5 e +0.5, corrispondenti ad un valore di PPD non superiore al 10%



PMV ed Umidita' Relativa

il PMV e' applicabile solo se

U% e' tra 40% 60%

la U% non viene utilizzata nel calcolo
semplificato del PMV perche' in questo
range (U% 40%-60%)

influisce poco (deltaPMV = 0,06 unita' per deltaUR = 10%)

PMV - limiti di applicabilita'

Si raccomanda di utilizzare l'indice PMV per valori compresi tra + 2 e -2 e quando i valori dei sei parametri principali sono compresi nei seguenti intervalli:

- dispendio energetico compreso tra 0,8 e 4 met
- resistenza termica dell'abbigliamento compresa tra 0 e 2 clo;
- temperatura dell'aria compresa tra 10 e 30 °C;
- temperatura radiante media compresa tra 10 e 40 °C;
- velocità dell'aria compresa tra 0 ed 1 m/s;
- umidità relativa compresa tra il 40 e 60%;

Metabolismo energetico UNI EN ISO 8996:2005 corrispondente ad alcune attivita'

Attività	Metabolismo energetico	
	(W/m2)	(met)
Disteso	46	0.8
Seduto, rilassato	58	1.0
In piedi, rilassato	70	1.2
Attività sedentaria (ufficio, casa scuola, laboratorio)	70	1.2
Attività in piedi (compere, laboratorio, industria leggera)	93	1.6
Attività in piedi (commesso, lavori domestici, lavori a macchina)	116	2.0
Attività moderata (lavoro pesante a macchina, lavoro in garage)	165	2.8

Resistenza termica di alcuni abbigliamento tipici

Abbigliamento	Icl (clo)
Nudo	0
Tipico abbigliamento tropicale: mutande, pantaloncini, camicia a maniche corte con collo sbottonato, calzini leggeri e sandali.	0.3
Abbigliamento leggero estivo: mutande, pantalone leggero, camicia a maniche corte con collo sbottonato, calzini leggeri e scarpe.	0.5
Abbigliamento da lavoro leggero: mutande, maglia intima leggera, camicia da lavoro di cotone a maniche lunghe, pantaloni da lavoro, calzini di lana, scarpe.	0.7
Tipico abbigliamento invernale per ambienti chiusi: mutande, maglia intima, camicia a maniche lunghe, pantaloni, giacca pullover a maniche lunghe, calzini pesanti, scarpe.	1.0
Abito tradizionale pesante all'europea: biancheria intima di cotone con maglia a maniche lunghe e mutande lunghe, camicia, vestito completo, soprabito con cintura, calzini di lana e scarpe pesanti.	1.5

Resistenza termica di alcuni abbigliamento UNI9920

Capo di abbigliamento		Icli (clo)
Collant		0.21
Calzini	Leggeri	0.03
	Pesanti	0.04
Abbigliamento intimo	slip e reggiseno	0.05
	sottoveste corta	0.13
	sottoveste lunga	0.19
	Mutande	0.05
	maglia intima	0.06
Camicia	T shirt	0.09
	leggera, maniche corte	0.20
	leggera, maniche lunghe	0.28
	pesante, maniche corte	0.25
Gonna	Pesante	0.22
Abito	Leggero	0.17
	Pesante	0.63
Pullover	leggero a maniche corte	0.17
	leggero a maniche lunghe	0.37
	Pesante	0.49
Pantaloni	Leggeri	0.26
	Medi	0.32
Scarpe	Pesanti	0.44
	Leggere	0.04

ISO 7730 tabella per il calcolo dell'Indice PMV
per attivita' con dispendio energetico pari a 1.2 met (ufficio)

Abbigliamento do	Temperatura operativa *	Velocità relativa dell'aria m/sec							
		<0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
0	25	-1,33	-1,33	-1,59	-1,92				
	26	-0,83	-0,83	-1,11	-1,40				
	27	-0,33	-0,33	-0,63	-0,88				
	28	0,15	0,12	-0,14	-0,36				
	29	0,63	0,56	0,35	0,17				
	30	0,10	1,01	0,84	0,69				
	31	1,57	1,47	1,34	1,24				
32	2,03	1,93	1,85	1,78					
0,25	23	-1,18	-1,18	-1,39	-1,61	-1,97	-2,25		
	24	-0,79	-0,79	-1,02	-1,22	-1,54	-1,80	-2,01	
	25	-0,42	-0,42	-0,64	-0,83	-1,11	-1,34	-1,54	-2,21
	26	-0,04	-0,07	-0,27	-0,43	-0,68	-0,89	-1,06	-1,65
	27	0,33	0,29	-0,11	-0,03	-0,25	-0,43	-0,58	-1,09
	28	0,71	0,64	0,49	0,37	0,18	0,03	-0,10	-0,54
	29	1,07	0,99	0,87	0,77	0,61	0,49	0,39	0,02
30	1,43	1,35	1,25	1,17	1,05	0,95	0,87	0,58	

*=(Ta+Tg)/2

ISO 7730 tabella per il calcolo dell'Indice PMV
per attivita' con dispendio energetico pari a 1.2 met (ufficio)

Abbigliamento clo	Temperatura operativa °C	Velocità relativa dell'aria m/sec							
		<0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
0,50	18	-2,01	-2,01	-2,17	-2,38	-2,70			
	20	-1,41	-1,41	-1,58	-1,76	-2,04	-2,25	-2,42	
	22	-0,79	-0,79	-0,97	-1,13	-1,36	-1,54	-1,69	-2,17
	24	-0,17	-0,20	-0,36	-0,48	-0,68	-0,83	-0,95	-1,35
	26	0,44	0,39	0,26	0,16	-0,01	-0,11	-0,21	-0,52
	28	1,05	0,98	0,88	0,81	0,70	0,61	0,54	-0,31
	30	1,64	1,57	1,51	1,46	1,39	1,33	1,29	1,14
32	2,25	2,20	2,17	2,15	2,11	2,09	2,07	1,99	
0,75	16	-1,77	-1,77	-1,91	-2,07	-2,31	-2,49		
	18	-1,27	-1,27	-1,42	-1,56	-1,77	-1,93	-2,05	-2,45
	20	-0,77	-0,77	-0,92	-1,04	-1,23	-1,36	-1,47	-1,82
	22	-0,25	-0,27	-0,40	-0,51	-0,66	-0,78	-0,87	-1,17
	24	0,27	0,23	0,12	0,03	-0,10	-0,19	-0,27	-0,51
	26	0,78	0,73	0,64	0,57	0,47	0,40	0,34	-0,14
	28	1,29	1,23	1,17	1,12	1,04	0,99	0,94	0,80
30	1,80	1,74	1,70	1,67	1,62	1,58	1,55	1,46	

ISO 7730 tabella per il calcolo dell'Indice PMV
per attivita' con dispendio energetico pari a 1.2 met (ufficio)

Abbigliamento clo	Temperatura operativa °C	Velocità relativa dell'aria m/sec							
		<0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
1,00	16	-1,18	-1,18	-1,31	-1,43	-1,59	-1,72	-1,82	-2,12
	18	-0,75	-0,75	-0,88	-0,98	-1,13	-1,24	-1,33	-1,59
	20	-0,32	-0,33	-0,45	-0,54	-0,67	-0,76	-0,83	-1,07
	22	0,13	0,10	0,00	-0,07	-0,18	-0,26	-0,32	-0,52
	24	0,58	0,54	0,46	0,40	0,31	0,24	0,19	0,02
	26	1,03	0,96	0,91	0,86	0,79	0,74	0,70	0,57
	28	1,47	1,42	1,37	1,34	1,28	1,24	1,21	1,12
30	1,91	1,86	1,83	1,81	1,78	1,75	1,73	1,67	
1,25	14	-1,12	-1,12	-1,24	-1,34	-1,48	-1,58	-1,66	-1,90
	16	-0,74	-0,75	-0,86	-0,95	-1,07	-1,16	-1,23	-1,45
	18	-0,36	-0,38	-0,48	-0,55	-0,66	-0,74	-0,81	-1,00
	20	0,02	-0,01	-0,10	-0,16	-0,26	-0,33	-0,38	-0,55
	22	0,42	0,38	0,31	0,25	0,17	0,11	0,07	-0,06
	24	0,81	0,77	0,71	0,66	0,60	0,55	0,51	0,39
	26	1,21	1,16	1,11	1,06	1,03	0,99	0,96	0,87
28	1,60	1,56	1,52	1,50	1,46	1,43	1,41	1,34	

ISO 7730 tabella per il calcolo dell'Indice PMV
per attività con dispendio energetico pari a 1.2 met (ufficio)

Abbigliamento clo	Temperatura operativa °C	Velocità relativa dell'aria m/sec							
		<0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
1,50	12	- 1,09	- 1,09	- 1,19	- 1,27	- 1,39	- 1,48	- 1,55	- 1,75
	14	- 0,75	- 0,75	- 0,86	- 0,93	- 1,03	- 1,11	- 1,17	- 1,35
	16	- 0,41	- 0,42	- 0,51	- 0,58	- 0,67	- 0,74	- 0,79	- 0,96
	18	- 0,06	- 0,09	- 0,17	- 0,22	- 0,31	- 0,37	- 0,42	- 0,56
	20	0,28	0,25	0,18	0,13	0,05	0,00	- 0,04	- 0,16
	22	0,63	0,60	0,54	0,50	0,44	0,39	0,36	0,25
	24	0,99	0,95	0,91	0,87	0,82	0,78	0,76	0,67
	26	1,35	1,31	1,27	1,24	1,20	1,18	1,15	1,08

Le indicazioni di FANGER sono le migliori. Tuttavia sono troppo complicate per i gestori degli impianti che non le conoscono e non utilizzano le tabelle o i software per calcolare i range di utilizzo più appropriati.

I parametri della norma **CEN CR 1752** 1998 (European Guidelines for Ventilation) risultano quindi molto utili per dare indicazioni di massima ai gestori degli impianti. Essi sono sostanzialmente corretti in quanto sono comunque basati su Fanger.

Situazione Base

Ta Uffici: Inverno 20-22 °C / Estate 23-26 °C
Ta Abitazioni: Inverno min. 20 °C / Estate 30 °C
Va: Base Inverno 0.20 - Estate 0.24 / U% Base Inverno 30-70%

Situazione Migliore

Ta Uffici Base: Inverno 20-22 °C / Estate 23.5-25.5 °C
Ta Abitazioni: Inverno min. 21 °C / Estate 27 °C
Va: Migliore Inverno 0.15 - Estate 0.18 / U% Migliore 40-60%

Utilizza 3 classi: A(PPD<6%) max comfort, B (PPD 10%), C (PPD<15%)
Nella nostra esperienza abbiamo verificato molto volte Ta di 21 °C in estate. La soluzione può essere di fornire le indicazioni della **CEN CR 1752** ai gestori e verificare i contenziosi con la **ISO 7730**(FANGER)

Benessere termico

Un ambiente termico moderato viene considerato confortevole secondo la norma tecnica UNI EN ISO 7730 quando sono simultaneamente soddisfatti i criteri di comfort globale e locali, ovvero se:

- PMV risulta in valore assoluto pari o inferiore a 0,5, tale cioè da mantenere il PPD ad un livello pari o inferiore al 10 %
- ciascuno dei fattori di discomfort locale si trova all'interno degli intervalli raccomandati

La norma tecnica UNI EN ISO 7730:1997 stima che se entrambe queste condizioni vengono soddisfatte, la percentuale complessiva di individui insoddisfatti non sia superiore al 20%.

Benessere termico

La nuova versione dello standard internazionale **ISO/DIS 7730:2005** contiene uno schema valutativo analogo, condizionando l'accettabilità di un ambiente termico al soddisfacimento simultaneo dei criteri globale e locali, ma con una maggiore articolazione, ovvero richiedendo che:

Class	Comfort requirements		Temperature range	
	PPD	PMV	Winter 1.0 clo 1.2 met	Summer 0.5 clo 1.2 met
	[%]	[/]	[°C]	[°C]
A	< 6	-0.2 < PMV < + 0.2	21-23	23.5-25.5
B	< 10	-0.5 < PMV < + 0.5	20-24	23.0-26.0
C	< 15	-0.7 < PMV < + 0.7	19-25	22.0-27.0

e che ciascuno dei fattori di discomfort locale sia tale da mantenere la relativa percentuale di insoddisfatti inferiore ad una determinata soglia, che assume valori crescenti passando dalla categoria A alla categoria C

Benessere termico

ISO/DIS 7730:2005

tolleranza condizioni non stazionarie

- in caso di fluttuazioni di temperatura **cicliche**, la variazione picco-picco deve risultare **inferiore ad 1°C**;
- in caso di **derive termiche**, il gradiente **non deve superare i 2°C/h**.

Benessere termico



Fattori di Disagio Locale

La condizione **PMV** compreso tra **-0.5 e +0.5** rappresenta una condizione necessaria ma **non sufficiente per il comfort**.

Perché sia effettivamente comfort, infatti, deve essere anche nullo il dis-comfort dovuto a dis-uniformità delle variabili ambientali, cioè

non devono essere presenti "fattori di disagio locale"

- Elevato gradiente verticale di temperatura
- Pavimento troppo caldo o troppo freddo
- Correnti D'aria
- Elevata asimmetria media radiante

Valori limite per gli indici di disagio locale

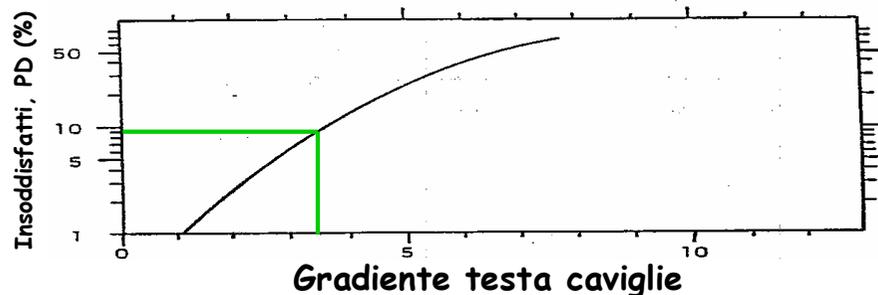
Quantità	Limite massimo o Intervallo	PD massima raccomandata
correnti d'aria	$v_a < 0,15 \text{ m/s}^*$	15%
differenza di temperatura verticale	$\Delta t_a < 3^\circ\text{C}$	5%
temperatura del pavimento	$19 < t < 29^\circ\text{C}$	10%
asimmetria radiante	$\Delta t_r < 10^\circ\text{C}$ (vert.) $\Delta t_r < 5^\circ\text{C}$ (orizz.)	5%

Fattori di Disagio Locale

2

Elevato gradiente verticale di temperatura

Per evitare il disagio legato all'eccessivo gradiente termico verticale e' necessario mantenere la differenza verticale di temperatura, misurata a livello delle caviglie e della testa nella posizione seduta, a 0.1 m e a 1.1 m di altezza, **entro i 3 °C**



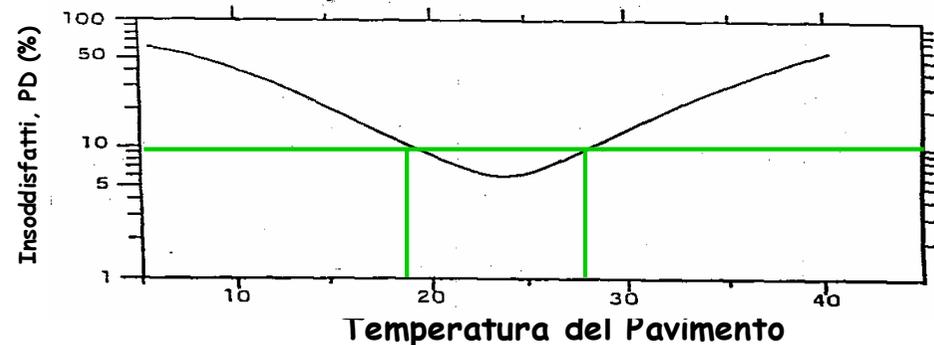
Percentuale di insoddisfatti in funzione del gradiente di temperatura testa-caviglie (Fanger, 1986)

Fattori di Disagio Locale

3

Pavimento troppo caldo o troppo freddo

Per soggetti con calze e scarpe "normali", l'intervallo di temperatura confortevole del pavimento e' abbastanza ampio, compreso cioe' **tra 19 e 27 °C**



Percentuale di soggetti, con scarpe e calze normali, insoddisfatti in funzione della temperatura del pavimento (Fanger, 1986)

Fattori di Disagio Locale

4

Correnti d'aria

Il disagio da corrente d'aria è definito come un raffreddamento locale indesiderato del corpo umano causato dal movimento dell'aria (UNI-EN-ISO 7730-1997, Parsons 1993).

Fattori di Disagio Locale

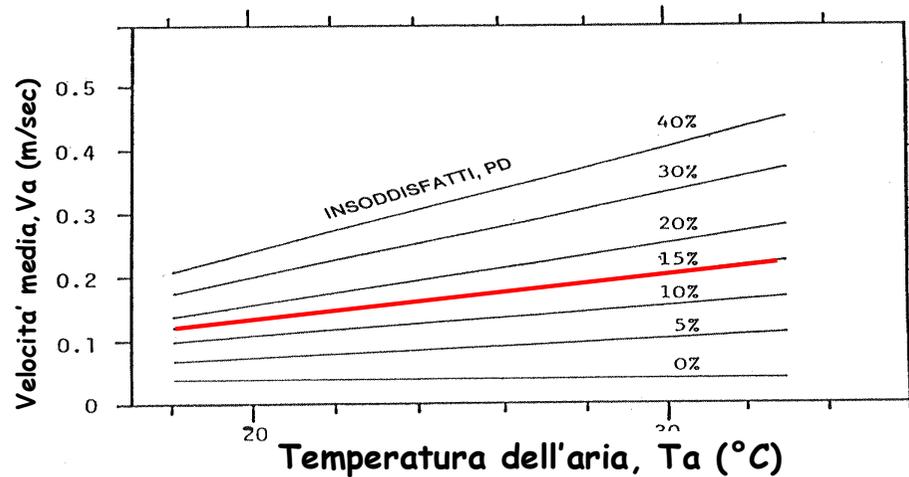
4

Correnti d'aria

La sensazione di disagio e' in relazione a numerosi fattori come:

- temperatura della corrente d'aria
- differenza di temperatura tra aria ambiente e quella della corrente
- velocita' della corrente
- variazioni di velocita' attorno al valore medio (Turbolenza dell'aria)
- zona del corpo investita
- tipo di attivita' che viene svolta

Correnti d'aria



Percentuale di insoddisfatti per correnti d'aria che colpiscono la parte superiore del corpo in funzione della velocità media delle correnti. La temperatura delle correnti è identica a quella dell'aria ambiente. Accettabile 15% insoddisfatti (Fanger, 1986)

Turbolenza dell'aria

Il moto dell'aria negli ambienti è turbolento, cioè la velocità istantanea dell'aria nel punto non è costante nel tempo, anche nel caso di condizioni che farebbero pensare ad una situazione di regime permanente.

Una corretta valutazione delle condizioni microclimatiche negli ambienti confinati deve prendere in considerazione il parametro intensità di turbolenza dell'aria (Tu) che è definito dal rapporto tra il valore medio della velocità dell'aria, misurato per un tempo significativo di almeno tre minuti, al denominatore, e la relativa deviazione standard, al numeratore = (coefficiente di variazione).

Deviazione standard della V_a

$$Tu = \frac{\text{Deviazione standard della } V_a}{\text{media } V_a \text{ (m/sec)}}$$

Turbolenza dell'aria



La strumentazione e le modalità di misura dell'intensità di turbolenza sono complesse, e per tale motivo, questo parametro fisico è stato fino ad oggi poco considerato costituendo un limite alla corretta valutazione delle condizioni microclimatiche.

Acquisitore e Convertitore Analogico/Digitale

Anemometro

Turbolenza dell'aria

Misura delle Correnti d'aria:

Grandezze rilevanti:

- Temperatura dell'aria (T_a)
- Velocità dell'aria (V_a)
- Intensità di turbolenza ($Tu\%$)

Strumento di misura: anemometro a filo caldo

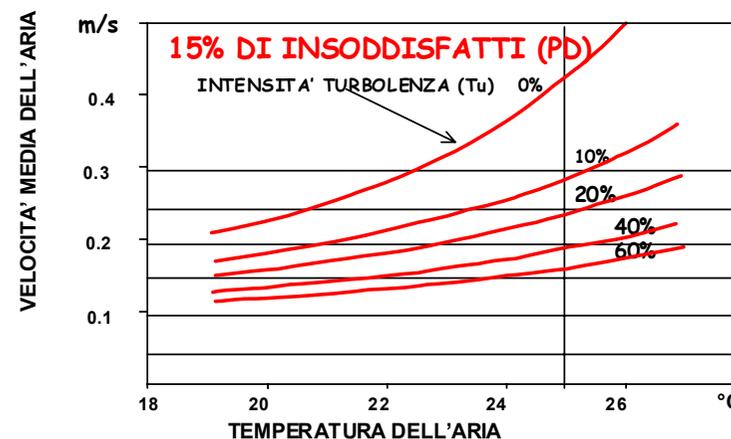
$$Tu = \frac{\sigma V_a}{V_a}$$

Turbolenza dell'aria

Le norme ISO 7730, ISO-DIN 7730 e UNI-EN-ISO 7730 suggeriscono di non superare il valore limite del 15% di soggetti insoddisfatti a causa della intensità di turbolenza (DR).

Ne risulta che per valori di intensità di turbolenza dell'aria tra il 30% ed il 60%, in condizioni di temperatura invernale sono ammesse velocità dell'aria minori di 0.12 m/s, mentre per temperature estive sono ammesse velocità dell'aria minori di 0.16 m/s (figura 1) (Alfano ed al. 1997).

Turbolenza dell'aria

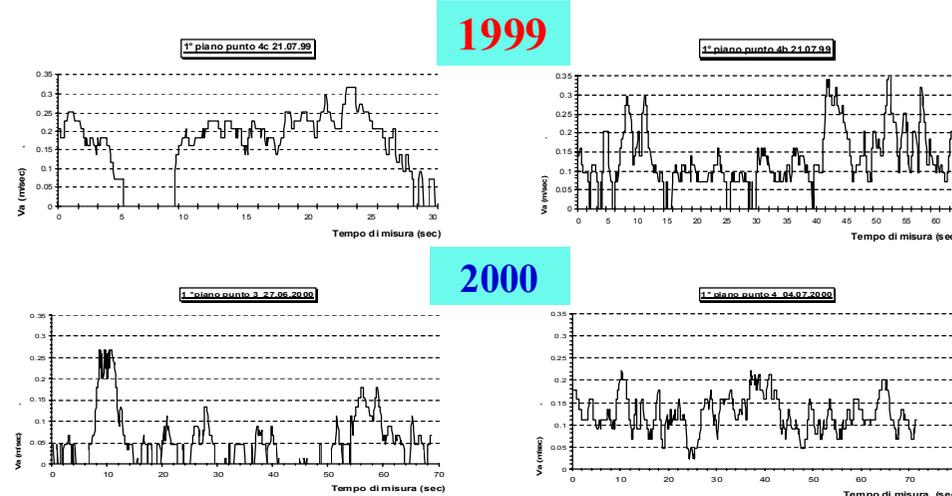


Misure di turbolenza dell'aria e percentuale di insoddisfatti (Fanger 1986, ISO 7730, ISO-DIN 7730 e UNI-EN-ISO 7730)

Una situazione reale (1999)

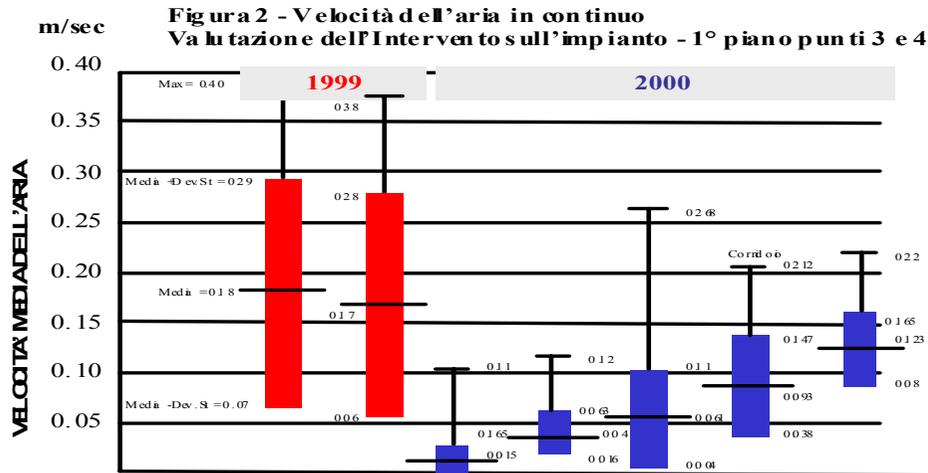


Turbolenza dell'aria



Esempio di intervento in ambiente caratterizzato da elevata turbolenza dell'aria.

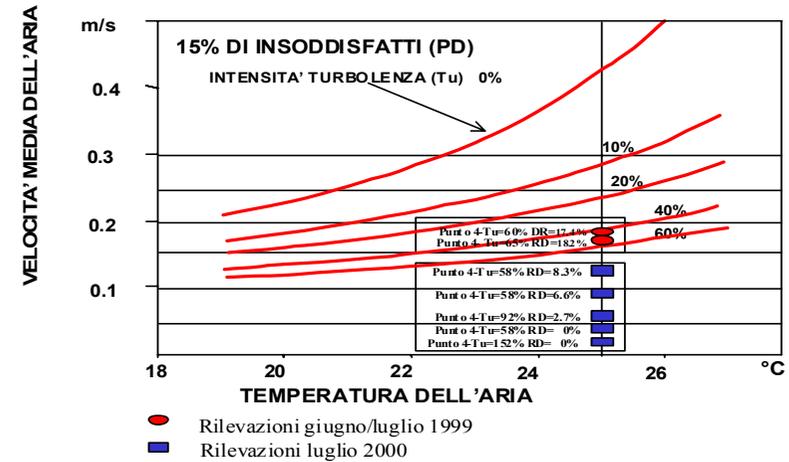
Turbolenza dell'aria



Esempio di intervento in ambiente caratterizzato da elevata turbolenza dell'aria.

Turbolenza dell'aria

Figura 1 - Misure di turbolenza dell'aria e percentuale di insoddisfatti



Esempio di intervento in ambiente caratterizzato da elevata turbolenza dell'aria.

Turbolenza dell'aria

L'indagine ha rilevato eccessive intensità di turbolenza dell'aria in presenza di valori di normalità rilevabili per i comuni parametri microclimatici (ta, tbu, tg, va, PMV, PPD, CO₂ e ricambi d'aria in m³/h/pers). La turbolenza è risultata essere l'unico parametro in grado di spiegare il notevole disagio espresso dagli operatori.

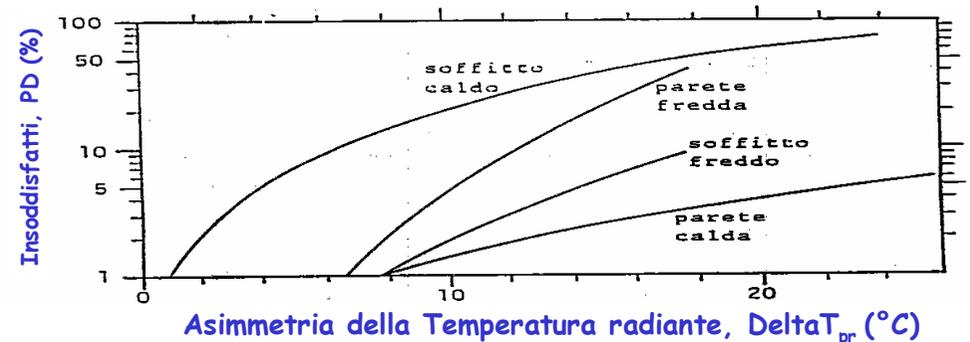
Il problema della turbolenza può, come in questo caso, essere risolto riducendo la portata dell'aria e di conseguenza la velocità di immissione dell'aria.

Tale operazione è possibile solo se viene mantenuto un numero di ricambi d'aria sufficientemente elevato. In questo caso anche un eventuale riduzione della portata d'aria non comporta un peggioramento della qualità dell'aria con un conseguente aumento della CO₂ al di sopra dei limiti raccomandati.

Più correttamente, interventi tecnici sull'impianto di condizionamento con incremento del numero dei punti di immissione dell'aria ed utilizzo di diffusori laminari, in grado di distribuire l'aria più uniformemente, permettono di ridurre l'intensità di turbolenza senza agire sulla portata dell'aria.

Elevata asimmetria della temperatura media radiante

Viene suggerito, per limitare il disagio locale, di mantenere l'asimmetria di temperatura radiante inferiore ai 5 °C in direzione verticale ed ai 10 °C in direzione orizzontale.



Percentuale di insoddisfatti in funzione dell'asimmetria della temperatura radiante per pareti verticali od orizzontali calde o fredde (Fanger, 1986)

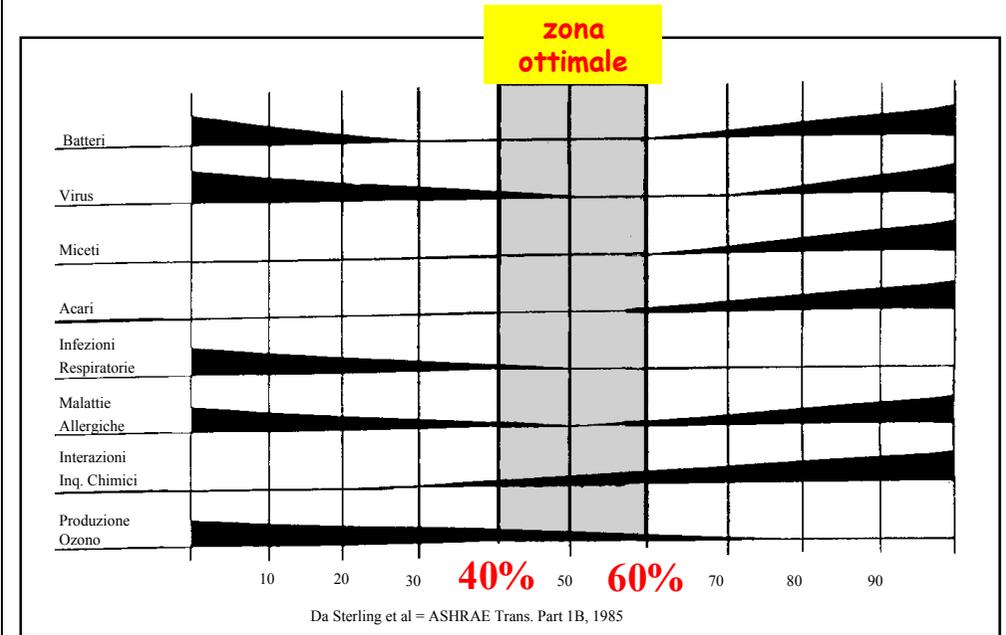
Misura dei Fattori di Disagio Locale

Asimmetria radiante (ΔT_{pr} in $^{\circ}C$)

Strumento di misura: radiometro netto

Valori di riferimento: verticali $\leq 5^{\circ}C$
orizzontali $\leq 10^{\circ}C$

Range di umidità relativa ottimale per la salute



Ricambi d'aria

Misura del numero di ricambi d'aria

Misura diretta

misura dei volumi di aria immessi ed estratti

misura complessa

il bilancio totale non viene mai raggiunto per le fughe di aria dagli infissi

impossibile misurare contemporaneamente tutti i punti di immissione

Misura del numero di ricambi d'aria

Misura diretta
con traccianti
esafluoruro di zolfo (SF_6)

deve essere immessa una concentrazione nota e deve essere misurata la concentrazione in una griglia standard di punti

non ammessa la presenza di personale

Misura del numero di ricambi d'aria

Misura indiretta
Concentrazione di CO_2

Se la CO_2 negli ambienti chiusi è tutta di produzione umana: è possibile stimare molto precisamente il numero di ricambi/h/persona.

$$\text{Ricambi/h/persona} = \frac{17840}{(\text{CO}_{2\text{interna}} - \text{CO}_{2\text{esterna}})}$$

misura semplice, non interrompe attività lavorat.,
basso costo della strumentazione

Misura del numero di ricambi d'aria

Misura indiretta
Concentrazione di CO_2

senso ad infrarosso
"da ambiente"



senso ad infrarosso "dispersivo"

Misura del numero di ricambi d'aria

ASHRAE-ACGIH-OMS

limiti concentrazione di CO_2 in ambienti chiusi
1000 ppm -> 800 ppm = cattiva qualità dell'aria

limiti del numero di ricambi/h/persona
20 $\text{m}^3/\text{h}/\text{persona}$ senza presenza di fumatori
40 $\text{m}^3/\text{h}/\text{persona}$ con presenza di fumatori

Misura del numero di ricambi d'aria

Misura indiretta "usare il naso"

Se entrando in un ambiente a cui non siete abituati ed in presenza di persone, sentite "cattivo odore" non riconducibile a sostanze particolari (solventi-dolciastri, irritanti, fumo, ...)

siete molto probabilmente in presenza di un basso numero di ricambi d'aria e di una concentrazione di $CO_2 > 800$ ppm

Misura della distribuzione dell'aria

Misura diretta con traccianti

glucosio micronizzato (fumi discoteche)
prelievo e video registrazione

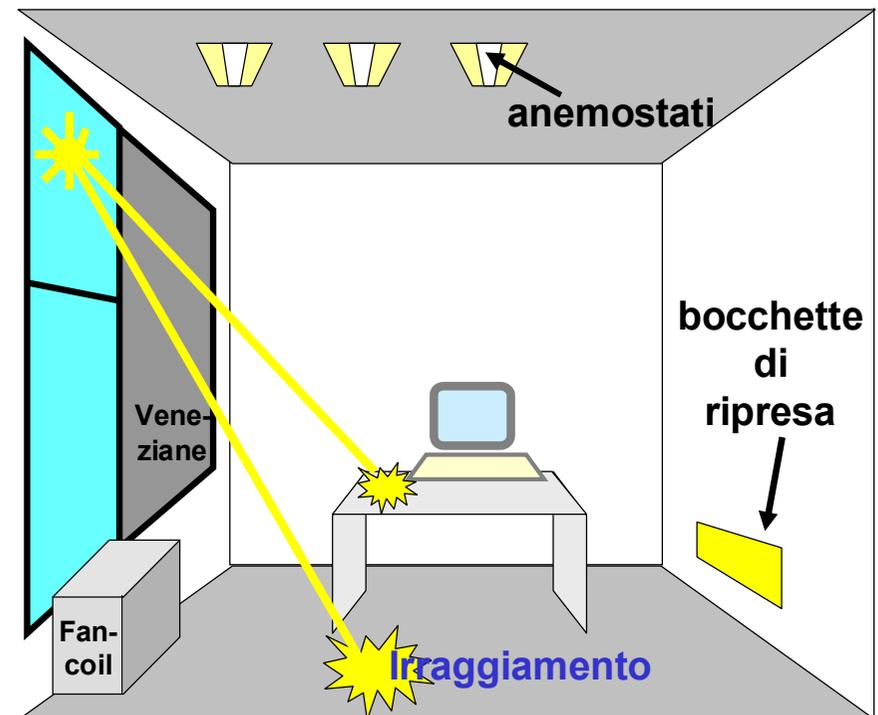
particolarmente utile per dimostrare la presenza di corto-circuiti o di sacche, quando cioè l'aria immessa non lava l'ambiente ma viene subito estratta
(punti di ripresa troppo vicini ai punti di mandata e aree non ventilate)

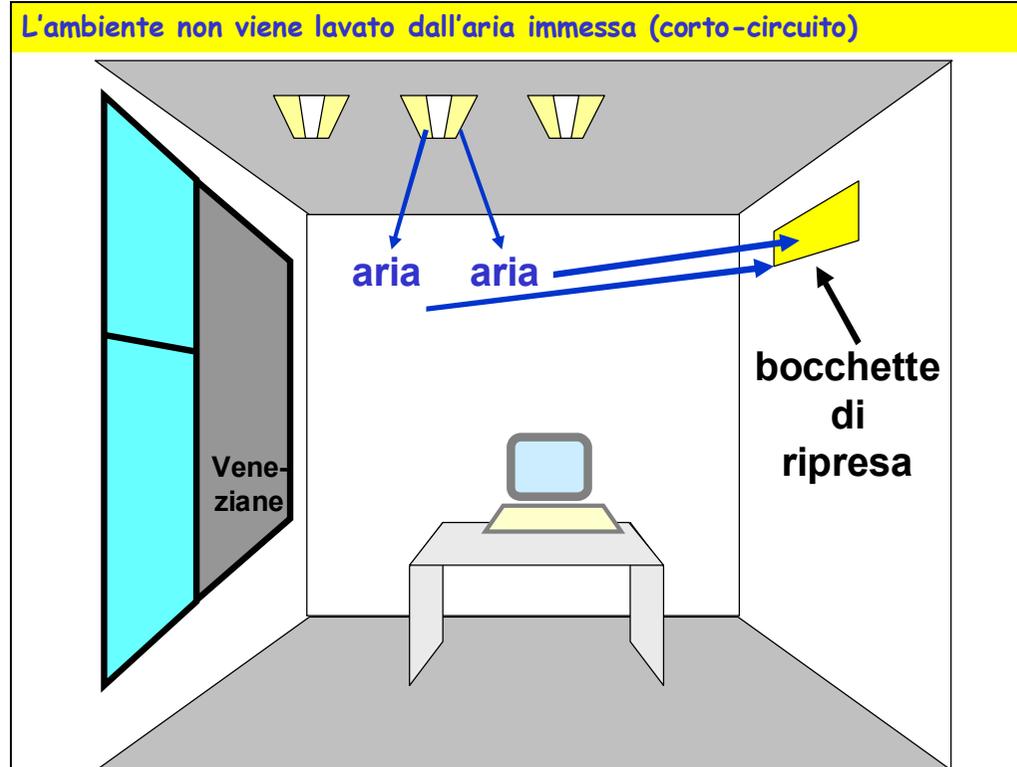
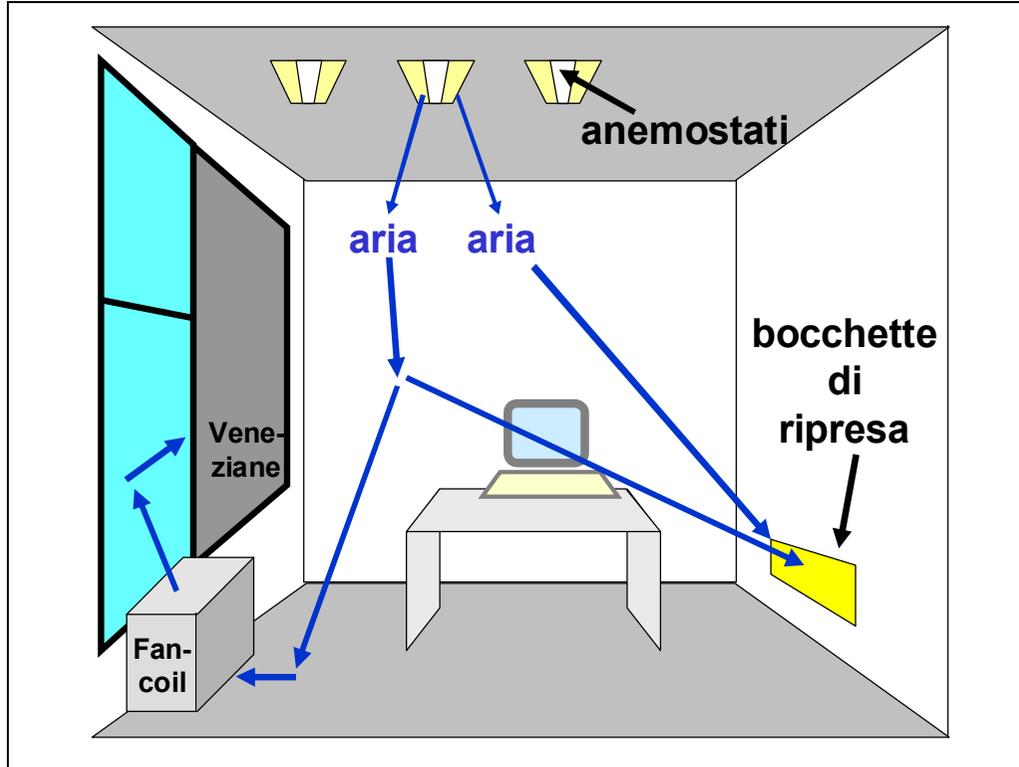
Misura della distribuzione dell'aria

Misura diretta con traccianti fumo di sigaretta

per rendersi conto della reale direzione dell'aria il sistema più semplice consiste nel valutare la direzione del fumo di sigaretta

direzione della fiamma di un accendino
meno efficace ma sufficientemente indicativo





REQUISITI TECNICI DEI LOCALI PER FUMATORI (legge 16 gennaio 2003)

Devono essere contrassegnati come tali e realizzati in modo da risultare adeguatamente separati da altri ambienti limitrofi dove e' vietato fumare.

I locali per fumatori devono rispettare i seguenti requisiti strutturali:

- a) essere delimitati da pareti a tutta altezza su quattro lati;
- b) essere dotati di ingresso con porta a chiusura automatica, abitualmente in posizione di chiusura;
- c) essere forniti di adeguata segnaletica, conforme a quanto previsto
- d) non rappresentare un locale obbligato di passaggio per i non fumatori.

REQUISITI DEGLI IMPIANTI DI VENTILAZIONE E DEI RICAMBIO D'ARIA (legge 16 gennaio 2003)

I locali per fumatori devono essere dotati di idonei mezzi meccanici di ventilazione forzata, in modo da garantire una portata d'aria di ricambio supplementare adeguatamente filtrata.

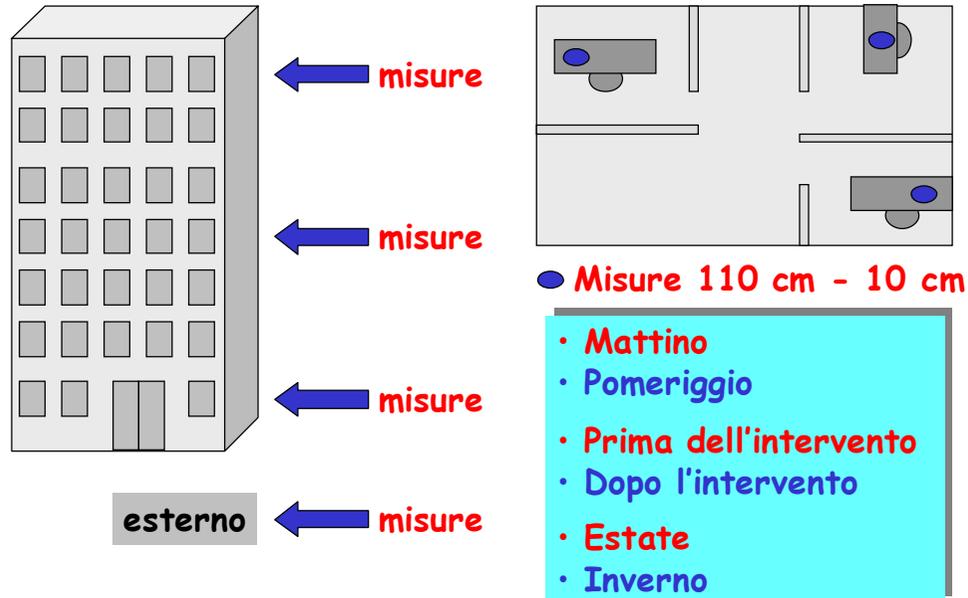
La portata d'aria supplementare minima da assicurare e' pari a **30 litri/secondo per ogni persona**, sulla base di un indice di affollamento pari allo **0,7 persone/mq.**

All'ingresso dei locali e' indicato il numero massimo di persone ammissibili.

I locali per fumatori devono essere mantenuti in depressione non inferiore a 5 Pa. (Pascal) rispetto alle zone circostanti.

L'aria proveniente dai locali per fumatori non e' riciclabile

Organizzazione del sopralluogo per la valutazione del microclima



Organizzazione del sopralluogo per la valutazione del microclima

Posizione dei sensori per le misure delle grandezze fisiche ambientali

Posizione dei sensori	Coefficiente di peso P_i				Altezze raccomandate per la misurazione	
	Ambiente omogeneo		Ambiente eterogeneo		Soggetto seduto	Soggetto in piedi
	Classe C	Classe S	Classe C	Classe S		
Livello testa			1	1	1,1 m	1,7 m.
Livello addome	1	1	1	2	0,6 m	1,1 m.
Livello caviglia			1	1	0,1 m	0,1 m.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i \times P_i}{\sum P_i}$$

ESEMPI DI SITUAZIONI INDAGATE

Errori nella raccolta dati

Attenzione !!!!

La T_a deve essere generalmente \leq della T_g

La T_u (T_{uvf}) deve essere \leq della T_a

La T_{unv} deve essere \geq della T_u

Esempio situazione 1

Ora	Locale	Ts °C	Tu °C	U %	Tg °C	V m/s	0.8 clo 1.2 met	
							PMV	PPD
14.00	3° p. CED 3	26.3	16.9	39.1	26.6	0.1	+ 0.68	14.8
14.45	3° p. CED 2	26.0	16.4	35.6	26.3	0.05	+ 0.67	14.4
15.00	2° p. Segreteria direzione 1	25.8	15.4	34.0	26.3	<0.03	+ 0.65	13.9
15.15	2° p. Segreteria direzione 2	24.8	15.4	37.2	25.1	<0.03	+ 0.41	8.5
15.25	2° p. Centro trapianti	25.0	15.3	34.1	25.5	<0.03	+ 0.48	9.8

Esempio situazione 2

Ora	Locale	Ts °C	Tu °C	U %	Tg °C	V m/s	0.75 clo 1.4 met	
							PMV	PPD
15.20	Corridoio p.t.	24.3	15.7	41.0	24.4	0.05	+ 0.37	7.87
15.30	Sala degenza 1 vuota	23.1	15.6	45.1	23.3	<0.03	+ 0.18	5.65
15.40	Sala degenza 1 con pazienti	25.7	17.0	42.3	26.1	0.05	+ 0.73	16.3
16.00	Corridoio p.t.	25.4	16.9	43.0	25.8	0.05	+ 0.67	14.4
16.15	Sala degenza 2	27.4	18.7	44.1	27.7	0.05	+ 1.12	31.4

Software
per il calcolo degli
indici di comfort

Software per il calcolo degli indici di comfort

PMV

programma **BASIC-freeware** per:
 applicazione della ISO 7730
 calcolo del numero di ricambi/h/persona
 calcolo della percentuale di insoddisfatti
 per la turbolenza dell'aria
 acquisisce dati da file formato testo

PMV

```
PMV
Auto
-----+
| Universita' degli Studi di Milano - Bicocca
| Dipartimento di Medicina Clinica, Preventiva e Biotecnologie Sanitarie
| Sezione di Ergonomia
|-----+
| Calcolo di Alcuni Parametri Microclimatici (Fanger 1970 e ISO 7730/1984) |
|-----+
| Dispendio Energetico MET = 1.2 |(1.2 =lavor.sedent.)|
| Rendimento Meccanico Attivita' MET = 0.0 |(FACOLT.)|
| Resistenza termica dell'abbigliamento CLO = |(0.32/0.46/0.74)|
| Temperatura secca dell'aria gradi C = |(FACOLT.)|
| Temperatura media radiante (globo) gradi C = |(FACOLT.)|
| Velocita' assoluta dell'aria m/sec = |(v.n.<0.20)|
| Umidita' relativa % = 50 |(v.n.40%-60%)|
| Turbolenza della velocita' dell'aria % = |(FACOLT.) (v.n.<30%)|
| CO2 Interna / CO2 Esterna ppm = / |(FACOLT.)|
|-----+
| PMU (Uoto Medio Predetto) |-----+
|-----+ |-----+
| DR (Perc.di Insod.per la Turbolenza) | | RICAMBI D'ARIA | |
| (FACOLT.=Facoltativo) +-----+ m3/h/persona +-----+
+--P.Zambelli-G.De Uito-2000-----+freeware--+
```

Software per il calcolo degli indici di comfort

Calcolatrice LSI-BABUC
programma Windows per il calcolo di parametri vari
puo' caricare i dati dalla centralina microclimatica

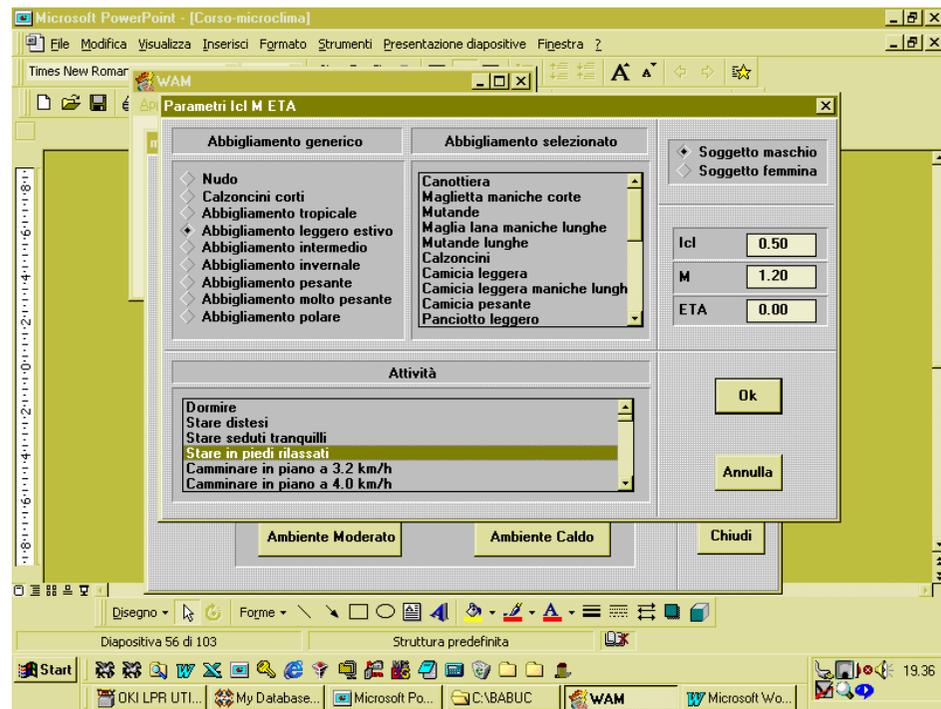
Calcolatrice LSI - BABUC

The screenshot shows the 'microClima' application window. It is divided into three main sections: 'Grandezze Primarie', 'Grandezze', and 'Parametri'.
- **Grandezze Primarie:** Temp.Ambiente (ta) 25 °C, Temp.UmidaVF (tw) 19 °C, Temp.Globo (tg) 26 °C, Temp.UmidaVN (trw) °C, Vel Aria (Va) 0.1 m/s.
- **Grandezze:** Calcola rh 56.48 %, Calcola tr 26.58 °C, Calcola Var Sogg. 0.16 m/s, Calcola pa 13.42 mm/Hg.
- **Parametri:** Abbigliamento 0.50 clo, Attivita' 1.20 met, Rendimento 0.00 %.
Buttons at the bottom include 'Ambiente Moderato', 'Ambiente Caldo', and 'Chiudi'. A 'Legenda' button is also present.

Calcolatrice LSI - BABUC

This screenshot shows the same 'microClima' application window, but with a pop-up window titled 'Ambiente Moderato' displayed. The pop-up contains the following calculated values:
- PMV: 0.15
- PPD: 5.45 %
- DR: 4.70 %
- Temp. Ambiente: 25.74 °C
Buttons in the pop-up include 'Legenda' and 'Chiudi'. The main application window remains visible in the background.

Calcolatrice LSI - BABUC



Software per il calcolo degli indici di comfort

Numerosi software freeware sviluppati da centri universitari

PSYTool

Esposizione ad ambienti caldi

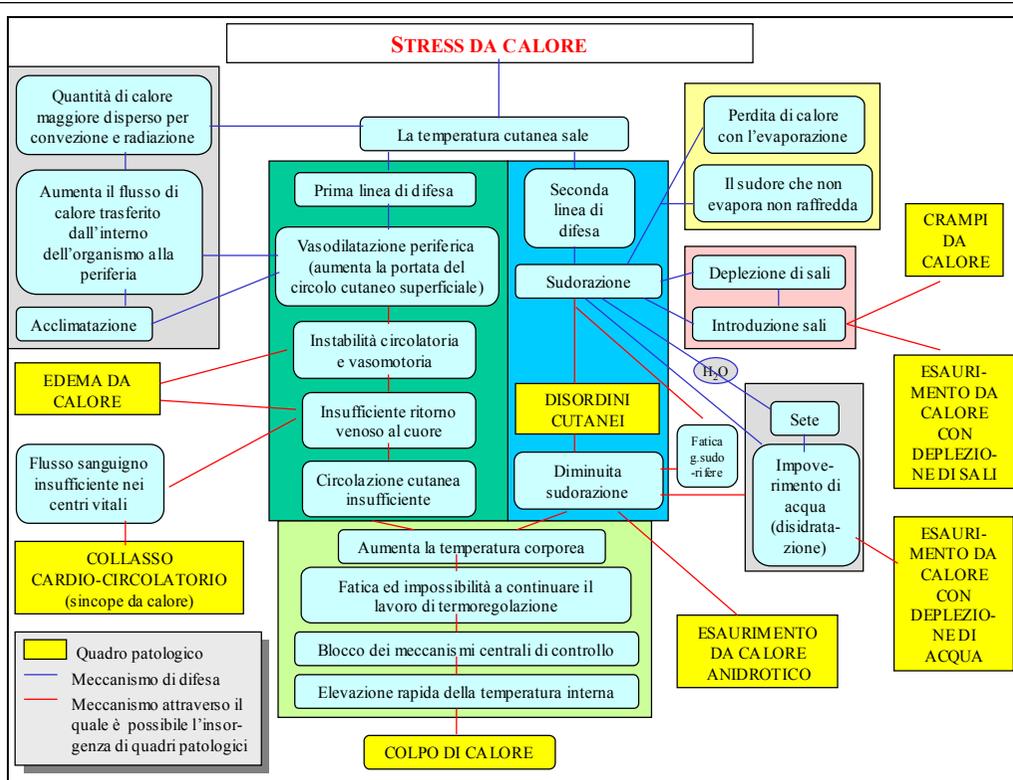


Ambito di Applicazione delle Valutazioni Microclimatiche

Esposizione ad ambienti severi caldi

Stress

TLV - ACGIH



Esposizione ad ambienti caldi

Sintomatologia clinica progressiva della ipertermia:

°C

39.0 Collasso Temp. Rettale "normale"

40.5 Blocco della termoregolazione

42.0 Alterazioni cerebrali irreversibili

Cenni di termofisiologia

Negli ambienti **caldi**
il corpo **assorbe calore:**

l'unico mezzo con il quale
raffreddarsi è

l'evaporazione del sudore

580 Kcal/litro di sudore evaporato

Sudore nel non-acclimatato 400 g/h

Sudore nel acclimatato 1000 g/h

Si perde l'acclimatamento dopo ~7 giorni

Esposizione ad ambienti caldi

- **WBGT semplice** - per selezionare le condizioni eventualmente meritevoli di particolare approfondimento
- **PHS / Indici di sudorazione richiesta complesso** - per portare a termine approfondimenti nel caso il WBGT superi i valori limite previsti

Esposizione ad ambienti caldi (WBGT) UNI EN 27243:1996

Il presupposto che determina i limiti di esposizione per l'indice WBGT è evitare il superamento della temperatura del nucleo oltre i **38°C**

Esposizione ad ambienti caldi

L'ACGIH

(Associazione Americana degli Igienisti Industriali) ha approvato l'uso del WBGT come TLV per l'esposizione ad ambienti caldi.

All'esterno con esposizione solare

$$\text{WBGT} = 0.7 \text{ NWB} + 0.2 \text{ GT} + 0.1 \text{ DB}$$

All'esterno, senza esposizione solare, o all'interno

$$\text{WBGT} = 0.7 \text{ NWB} + 0.3 \text{ GT}$$

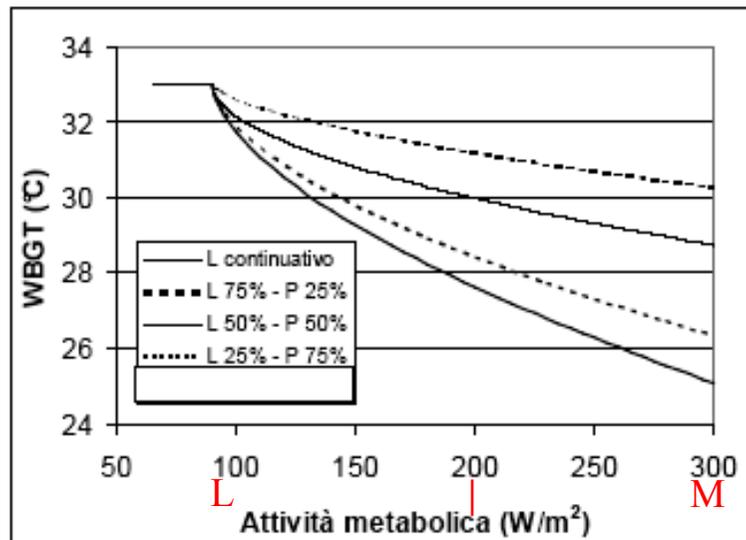
WBGT = indice di temperatura con bulbo umido e globotermometro

NWB = temperatura del bulbo umido naturalmente ventilato

DB = temperatura del bulbo secco

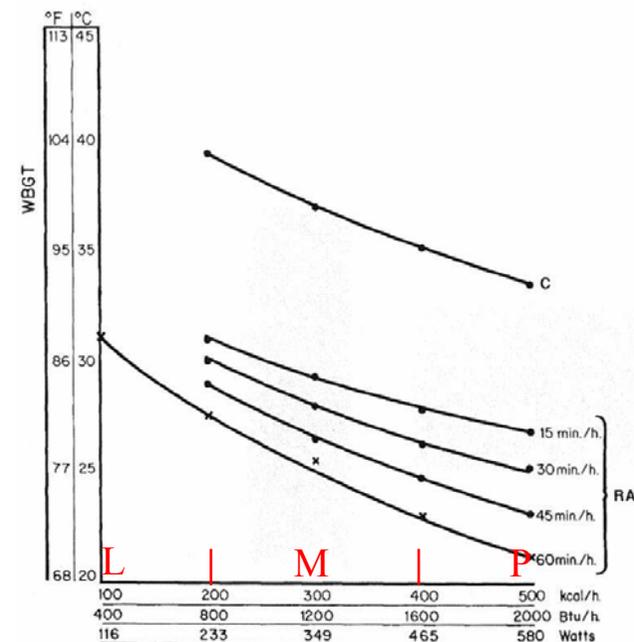
GT = temperatura del globotermometro

Esposizione ad ambienti caldi (WBGT)



Valori limite di Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) in funzione di Met

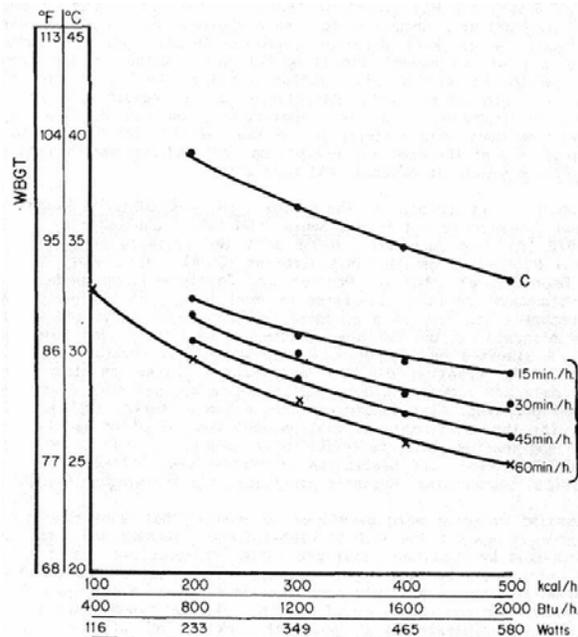
Esposizione ad ambienti caldi (WBGT)



Schema per il calcolo dei valori limite di Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) proposti dall'ACGIH

non acclimatati

Esposizione ad ambienti caldi (WBGT)



Schema per il calcolo dei valori limite di Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) proposti dall'ACGIH acclimatati

Esposizione ad ambienti caldi (WBGT)

Esempi di valori massimi ammissibili di WBGT (in °C) per soggetti acclimatati

Rapporto lavoro/riposo	Classe metabolica / Metabolismo (W/m ²) / Impegno lavorativo				
	0 < 65 Leggero	1 65 ÷ 130 Moderato	2 130 ÷ 200 Sostenuto	3 200 ÷ 260 Pesante	4 > 260 Molto pesante
Lavoro continuativo	33	30,7	28,4	26,7	25,2
75% lavoro / 25% riposo	33	30,9	29,2	27,8	26,4
50% lavoro / 50% riposo	33	31,8	30,5	29,5	28,5
25% lavoro / 75% riposo	33	32,3	31,7	31,1	30,4

Esposizione ad ambienti caldi (WBGT)

Esempi di TLV per esposizione a calore (valori espressi in °C WBGT) ACGIH 2001

Acclimatati

Lavoro/Riposo	Leggero	Moderato	Pesante	Molto pes.
Lavoro Continuo	29.5	27.5	26.0	
75% lavoro / 25% Riposo ogni ora	30.5	28.5	27.5	
50% lavoro / 50% Riposo ogni ora	31.5	29.5	28.5	27.5
25% lavoro / 75% Riposo ogni ora	32.5	31.0	30.0	29.5

* Con un aumento del carico di lavoro, lo stress calorico per un lavoratore non acclimatato e' maggiore.

Per i lavoratori non acclimatati che fanno un lavoro moderato, il TLV dovrà essere abbassato di circa 2.5 °C

Esposizione ad ambienti caldi (WBGT)

Esempi di TLV per esposizione a calore (valori espressi in °C WBGT) ACGIH 2001

NON Acclimatati

Lavoro/Riposo	Leggero	Moderato	Pesante	Molto pes.
Lavoro Continuo	27.5	25.0	22.5	
75% lavoro / 25% Riposo ogni ora	29.0	26.5	24.5	
50% lavoro / 50% Riposo ogni ora	30.0	28.0	26.5	25.0
25% lavoro / 75% Riposo ogni ora	31.0	29.0	28.0	26.5

Esposizione ad ambienti caldi (WBGT)

Fattori di correzione per il TLV WBGT in funzione del vestiario

Tipo di vestito	Valore CLO	Correzione WBGT
Divisa da lavoro estiva	0.6	0
Grembiule di cotone	1.0	- 2
Divisa da lavoro invernale	1.4	- 2
Impermeabile (che lascia traspirare)	1.2	- 6

Esposizione ad ambienti caldi (WBGT)

Qualora le condizioni microclimatiche siano diverse tra le diverse aree di lavoro e l'eventuale area di riposo, il **dispendio energetico** va calcolato ponderandolo col tempo di permanenza nelle diverse aree come segue:

dispendio energetico medio:

$$\frac{(M_1) (t_1) + (M_2) (t_2) + \dots + (M_n) (t_n)}{t_1 + t_2 + t_n}$$

Esposizione ad ambienti caldi (WBGT)

Analogamente l'indice WBGT andrà mediato (di norma, per esposizioni continuative l'indice va mediato per periodi della durata di 1 ora) come segue:

WBGT Medio =

$$\frac{(WBGT_1) (t_1) + (WBGT_2) (t_2) + \dots + (WBGT_n) (t_n)}{t_1 + t_2 + t_n}$$

Esposizione ad ambienti caldi (PHS) UNI EN ISO 7933:2005

La procedura più dettagliata e affidabile per la valutazione dello stress in ambienti termici severi caldi è la

"Predicted Heat Strain" (PHS)

UNI EN ISO 7933:2005

Esposizione ad ambienti caldi (PHS) UNI EN ISO 7933:2005

Equazione di bilancio termico riscritta riconoscendo il ruolo primario svolto in questi ambienti dalla sudorazione

$$E_{req} = M - W - CRES - ERES - C - R - dSeq$$

E_{req} è la
potenza termica che risulta necessario dissipare per
SUDORAZIONE
per il mantenimento di condizioni di neutralità termica.

$dSeq$ (che non compare nella equazione di equilibrio energetico sviluppata per ambienti termici moderati) corrisponde alla **potenza termica associata all'incremento della temperatura del nucleo corporeo (t_{cr})**

Esposizione ad ambienti caldi (PHS) UNI EN ISO 7933:2005

La quantità E_{req} viene convertita nella quantità SW_{req} (acronimo di **SWeat required, ovvero sudorazione richiesta**)

tenendo conto della efficienza non ideale ($r_{req} < 1$) con la quale il sudore prodotto evapora effettivamente, e riesce dunque a produrre il desiderato effetto raffreddante

$$SW_{req} = E_{req} / r_{req}$$

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.

Esposizione ad ambienti caldi (PHS) UNI EN ISO 7933:2005

La quantità SW_{req} rappresenta l'elemento incrementale (Novità rispetto alla UNI 7933:1989 e UNI 12515:1999)

che consente di **seguire nel tempo** l'evoluzione del primo degli indici sintetici presenti nello standard

SW_p

(**SWeat predicted, o sudorazione prevista**).

Esposizione ad ambienti caldi (PHS) UNI EN ISO 7933:2005

L'altro elemento forte di novità è rappresentato dalla gestione

dell'isolamento termico dell'abbigliamento

il quale tiene adesso conto in modo molto dettagliato della velocità dell'aria nell'ambiente nonché della velocità (media) e della direzione che caratterizzano lo spostamento del soggetto nello svolgimento della propria attività lavorativa.

Esposizione ad ambienti caldi (PHS) UNI EN ISO 7933:2005

In parallelo alla evoluzione nel tempo dell'indice SWp , e sfruttando ad ogni passo il risultato ottenuto per questa quantità, vengono calcolate le evoluzioni di altre quantità, ed in particolare:

- a) la frazione di pelle bagnata w_p nelle condizioni ambientali in esame;
- b) la quantità cumulata di acqua perduta dall'organismo D , data dalla somma delle perdite per sudorazione e evaporazione avvenute in ogni intervallo Δt ;
- c) tre temperature caratteristiche dell'organismo, ovvero
 - c1) la temperatura della pelle t_{sk} ;
 - c2) la temperatura del nucleo corporeo t_{cr} ;
 - c3) la temperatura rettale t_{re} ,le quali dipendono tutte dal ritmo al quale viene accumulata energia nell'organismo, ovvero dalla differenza fra la potenza termica che dovrebbe venire dissipata per mantenere l'equilibrio termico e la potenza termica realmente dissipata.

Esposizione ad ambienti caldi (PHS) UNI EN ISO 7933:2005

La valutazione dell'accettabilità o inaccettabilità dell'ambiente termico in esame secondo la norma tecnica UNI EN ISO 7933:2005 viene effettuata confrontando i due indici sintetici di stress SW_{req} e w_{req} ed i due indici sintetici di strain D e t_{re} con i rispettivi valori limite SW_{max} , w_{max} , D_{max} e $t_{re,max}$. Tali valori limite, riportati nelle Tabelle seguenti, risultano calcolati in base a considerazioni di carattere fisiologico, ed hanno i seguenti significati:

Esposizione ad ambienti caldi (PHS) UNI EN ISO 7933:2005

- a) la quantità SW_{max} rappresenta la massima potenza termica dissipabile per sudorazione ovvero la massima quantità di sudore evaporabile per unità di tempo (nel caso specifico quantificata in un'ora)
- b) la quantità w_{max} rappresenta la massima frazione di pelle dalla quale può essere realisticamente fatto evaporare il sudore

Esposizione ad ambienti caldi (PHS) UNI EN ISO 7933:2005

- c) la quantità D_{max} stabilisce la massima perdita d'acqua compatibile con il mantenimento dei normali parametri fisiologici dell'individuo. Si tratta di un parametro con una forte variabilità biologica. Le cifre del 3% (nessun accesso a liquidi) e del 5% (libero accesso a liquidi) rispondono all'obiettivo di proteggere da effetti nocivi (disidratazione) il 95 % dei soggetti esposti (*la norma in questione fornisce due limiti che si riferiscono uno al 50% e l'altro al 95% percentile della popolazione esposta. Si considera solo il secondo, più cautelativo.*)
- d) infine la quantità $t_{re,max}$ rappresenta il valore massimo accettabile della temperatura rettale. Il valore di $38^{\circ}C$ risulta tale da rendere molto improbabile (1/10.000) il raggiungimento di temperature che caratterizzano situazioni di pericolo.

Esposizione ad ambienti caldi (PHS) UNI EN ISO 7933:2005

Valori limite degli indici di **stress** per l'esposizione ad ambienti termici severi caldi

Quantità	Individui non acclimatati	Individui acclimatati
SW_{max} [g/h]	$2,6 \times (M-32) \times A_{DU}$	$3,25 \times (M-32) \times A_{DU}$
W_{max}	0,85	1

Valori limite degli indici di **strain** per l'esposizione ad ambienti termici severi caldi

Quantità	Accesso ai liquidi	
	libero	nessuno
D_{max95}	5% della massa corporea	3% della massa corporea
$t_{re,max}$ [°C]	38	

$$\text{superficie corporea } A_{DU} [\text{m}^2] = 0,20247 \times \text{Altezza} [\text{m}]^{0,725} \times \text{Peso} [\text{kg}]^{0,425}$$

Calcolo on-line: www.halls.md/body-surface-area/bsa.htm

Esposizione ad ambienti caldi (PHS) UNI EN ISO 7933:2005

Dal confronto fra valori limite e l'evoluzione nel tempo delle quantità D e tre, possono essere ottenute **due stime indipendenti del tempo di esposizione massimo quotidiano** all'ambiente in esame:

- **Dlim-tre** rappresenta il tempo dopo il quale la temperatura rettale **tre** raggiunge il valore limite **tre,max**;
- **Dlimloss95** rappresenta il tempo dopo il quale la quantità di acqua complessivamente perduta supera il valore limite **Dmax95**.

E' pertanto richiesto che la durata della giornata lavorativa venga limitata ad un tempo massimo dato da:

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

Esposizione ad ambienti caldi (PHS) UNI EN ISO 7933:2005

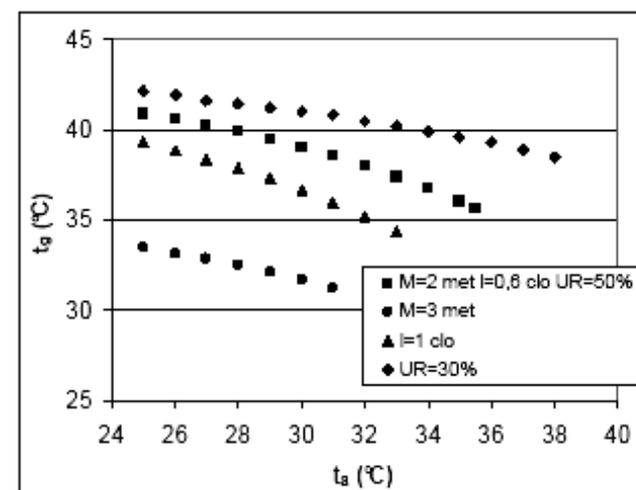
Nelle condizioni di **bassa e media umidità** che normalmente (ma non sempre) caratterizzano gli ambienti caldi in climi non tropicali, **si può avere notevole sudorazione e dunque l'esposizione tende ad essere limitata dalla quantità Dlimloss95**.

La Figura seguente mostra l'andamento della temperatura dell'aria e della temperatura di globotermometro, ottenute imponendo che la durata massima dell'esposizione per individui acclimatati sia pari a 8 ore.

Tale durata è, nelle condizioni mostrate nella Figura, sempre determinata dal superamento del valore Dmax a causa di un'eccessiva perdita di liquidi. I simboli quadrati rappresentano il caso scelto come standard (M = 2 met, Icl = 0,6 clo, UR = 50%).

Le altre curve corrispondono a casi in cui, a turno, il valore di una sola delle tre quantità [metabolismo, isolamento termico, umidità relativa] è stato modificato, e consentono di valutare ciascuna l'effetto di uno specifico parametro. Il rendimento h (ovvero la frazione dell'energia metabolica utilizzata per compiere lavoro meccanico) e la velocità dell'aria sono sempre state assunte pari rispettivamente al 5% e a 0,2 m/s.

Esposizione ad ambienti caldi (PHS) UNI EN ISO 7933:2005

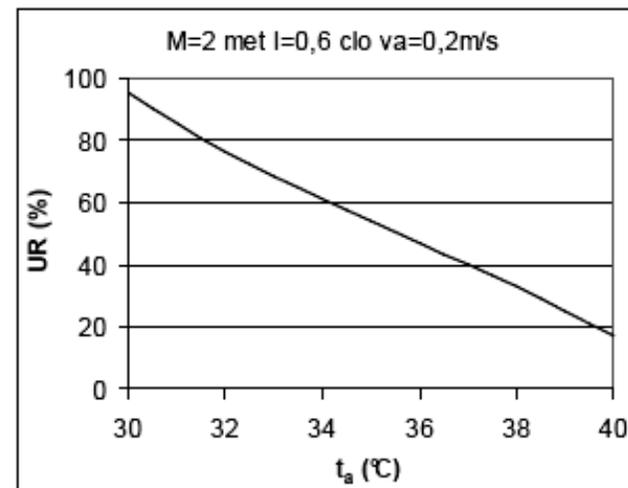


Valori di t_a e t_g che corrispondono ad un tempo limite di esposizione $D_{lim} = 8$ ore

Esposizione ad ambienti caldi (PHS) UNI EN ISO 7933:2005

La Figura 2.2 mostra invece i valori della temperatura dell'aria e della umidità relativa che corrispondono, per individui acclimatati, ad una durata massima dell'esposizione pari a 8 ore. Il calcolo è stato eseguito assumendo $M = 2$ met, $I_{cl} = 0,6$ clo, $v_a = 0,2$ m/s, $h = 5\%$.

Esposizione ad ambienti caldi (PHS) UNI EN ISO 7933:2005



Valori di $t_a = t_g$ e di UR che corrispondono ad un tempo limite di esposizione $D_{lim} = 8$ ore

Esposizione ad ambienti caldi (PHS) UNI EN ISO 7933:2005

Il calcolo degli indici sintetici di stress (SWreq, wreq) e di strain (D, tre), può venire eseguito con facilità mediante il software PHS, che fa parte del pacchetto "hytrprogrammes.exe" scaricabile gratuitamente alla pagina web:

<http://www.md.ucl.ac.be/hytr/new/Download/downloadEn.htm>
<http://www.md.ucl.ac.be/hytr/new/Download/iso7933n.txt> (QBasic)

che contiene anche le istruzioni per l'installazione del software. Va sottolineato che all'interno di tale codice la massa corporea è fissata a 75 kg e di conseguenza il valore limite per la perdita di liquidi D_{max95} è fissato a 3750 g (libero accesso a liquidi). Qualora la massa del soggetto in esame risulti significativamente diversa da tale valore è necessario adeguare tale valore moltiplicandolo per il rapporto (massa/75 kg).

Esposizione ad ambienti caldi (PHS) UNI EN ISO 7933:2005

L'affidabilità del metodo PHS risulta verificata soltanto all'interno di determinati intervalli stabiliti sia per i parametri ambientali che per i parametri individuali,

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 + 4.500	Pa
velocità dell'aria	v_a	0 + 3	m/s
attività metabolica	M	100 + 450	W
isolamento termico del vestiario	I_{cl}	0,1 + 1	clo

Esposizione ad ambienti caldi (PHS) UNI EN ISO 7933:2005

L'intervallo di applicabilità per l'attività metabolica corrisponde a circa 1 - 4,3 met per un'area corporea tipica di un individuo adulto di 1,8 m². Viene inoltre raccomandata **particolare attenzione** nel trattare situazioni nelle quali si abbia:

- un **valore negativo di Emax**. Dato che Emax è proporzionale alla differenza ($p_{sk,s} - p_a$) ciò implica che la pressione del vapore acqueo in aria (p_a) è superiore alla tensione di vapore saturo alla temperatura media cutanea ($p_{sk,s}$) e quindi non si ha evaporazione bensì condensa di vapore acqueo sulla pelle;
- un **tempo massimo di esposizione Dlim < 30 minuti**, che implica un ruolo molto forte da parte dei fenomeni che innescano la sudorazione, non adeguatamente trattati nella norma tecnica.

In queste circostanze viene richiesta una supervisione medica diretta e personalizzata sui soggetti a rischio.

Esposizione ad ambienti caldi (PHS) UNI EN ISO 7933:2005

Una delle opportunità che la procedura PHS offre è quella di **stimare le pause** con le quali interrompere l'attività negli ambienti severi caldi.

La determinazione della durata minima della pausa richiesta al termine di un periodo lavorativo pari a Dlim non è un risultato diretto della procedura, in quanto **dipende anche dall'attività lavorativa che la seguirà**.

Essa **va invece determinata per tentativi, verificando che** una determinata sequenza di impegni lavorativi e pause, di durata arbitraria all'interno di una giornata lavorativa, **risulti compatibile con il vincolo che nessuno dei due parametri di strain D e tre superi mai il rispettivo valore massimo ammissibile Dmax e tre,max mostrato nella Tabella degli indici di strain**.

Con queste premesse, il calcolo della durata minima della pausa può anch'esso venire eseguito con il software PHS.

Esposizione ad ambienti caldi

LE MISURE DI CONTROLLO AMBIENTALE

- incremento della ventilazione,
- raffreddamento dell'aria,
- utilizzo di schermi riflettenti il calore radiante
- isolamento del personale

rappresentano i principali **metodi** di controllo ambientale usati **per ridurre la sollecitazione termica** negli ambienti di lavoro caldi.

Esposizione ad ambienti caldi

LE MISURE DI CONTROLLO AMBIENTALE

1- L'INCREMENTO DELLA VENTILAZIONE

è utilizzato per **diluire l'aria calda con aria più fredda** (l'aria generalmente più fredda proviene dall'esterno).

Questa tecnica, tuttavia, funziona chiaramente meglio durante i periodi di clima **freddo e non è particolarmente utile nei periodi molto caldi**.

!!!!!! Se la temperatura secca dell'aria è **superiore a 35.5°C**, superiore quindi alla temperatura cutanea media, l'incremento della ventilazione determina, per via convettiva, una **acquisizione di calore da parte dell'operatore!!!!!!** che può anche essere superiore alla quota di calore persa attraverso l'evaporazione del sudore

Esposizione ad ambienti caldi

LE MISURE DI CONTROLLO AMBIENTALE

- 2.- Il **raffreddamento dell'aria** è più efficace del semplice incremento della ventilazione in quanto riduce la temperatura ambientale **rimuovendo** dall'aria il **calore** e frequentemente anche l'**umidità**.
- 3.- L'**aria condizionata** è un metodo di raffreddamento dell'aria efficace, tuttavia è **costoso** da installare e gestire soprattutto se l'ambiente di lavoro è di grandi dimensioni.

Esposizione ad ambienti caldi

LE MISURE DI CONTROLLO AMBIENTALE

- 4.- L'utilizzo di **schermi riflettenti** posti tra l'operatore e superfici con temperatura superiore a 35.5°C, fonti di emissione di radiazioni infrarosse, permette di avere attorno all'operatore superfici più fredde, riducendo così la quota di calore radiante assorbito. Per essere efficace lo schermo deve essere posto **fra l'operatore e la superficie calda (meglio se doppio e con aria)**, motivo che ne limita l'applicazione, dato che **spesso interferisce pesantemente con l'attività lavorativa**.

Esposizione ad ambienti caldi

LE MISURE DI CONTROLLO AMBIENTALE

- 5.- Il **raffreddamento locale dell'aria** può essere efficace nella riduzione della temperatura dell'aria in zone specifiche.
L'utilizzo di **cabine condizionate** permette di creare condizioni termiche accettabili per posti di lavoro specifici o di offrire una **zona di recupero** vicino alle aree calde.
È evidente il **vantaggio sotto il profilo dei costi di installazione e di gestione**, in particolare per ambienti di lavoro di grandi dimensioni, rispetto al condizionamento generale.

Esposizione ad ambienti caldi

MISURE DI CONTROLLO ORGANIZZATIVE

Limitare il tempo di esposizione:

- programmare i **lavori più pesanti** (lavori di manutenzione ordinaria o di riparazione) nelle ore più fresche del giorno (**prima mattina, tardo pomeriggio o nel turno notturno**);
- **aumentare il numero degli addetti** in modo da ridurre il tempo di esposizione dei singoli operatori;
- prevedere **aree di sosta fresche**;
- permettere di **interrompere il lavoro quando l'addetto accusa un elevato disagio da calore**;
- instaurare un **ritmo lavoro-pausa**, secondo le indicazioni dell'indice **WBGT e/o PHS**.

Esposizione ad ambienti caldi

MISURE DI CONTROLLO ORGANIZZATIVE

Ridurre il dispendio metabolico:

ausiliazione delle operazioni manuali più pesanti

Migliorare la tollerabilità al calore:

per nuovi addetti o non acclimatati:

- iniziare con una esposizione pari al 20% del turno lavorativo il primo giorno,
- aumentando del 20% ogni giorno successivo.

Esposizione ad ambienti caldi

MISURE DI CONTROLLO DI IGIENE DEL LAVORO E DI SICUREZZA

La prevenzione delle manifestazioni patologiche da stress da calore dipende da un **precoce riconoscimento dei sintomi prodromici** e per tale scopo è di fondamentale importanza l'adozione di misure di igiene, di sicurezza e di formazione degli operatori:

tutti gli **operatori esposti** deve essere

- **informati sui rischi** dello stress da calore
- **sui segni precoci** delle manifestazioni patologiche;

Esposizione ad ambienti caldi

MISURE DI CONTROLLO DI IGIENE DEL LAVORO E DI SICUREZZA

Tutti gli **operatori** devono essere **informati** sugli effetti dei **fattori predisponenti** quali:

- **obesità**
- **alcool**
- utilizzo di **farmaci** (diuretici, anticolinergici, antipertensivi, sedativi, psicotropi, anticoagulanti e farmaci che possono alterare il meccanismo della sete, come l'alloperidolo, o che possano alterare il meccanismo della sudorazione, come gli anti-istaminici)

Tutti gli **operatori** devono essere **informati** sui comportamenti preventivi quali riequilibrare i liquidi persi con la sudorazione attraverso un adeguato apporto di liquidi;

- educare gli addetti a introdurre liquidi a piccole dosi assunte frequentemente (**un bicchiere ogni 15–20 minuti**) **evitando alcool, the, caffè e bibite che contengono caffeina**, che sono in grado di incrementare la disidratazione corporea

Esposizione ad ambienti caldi

SORVEGLIANZA SANITARIA

UNI EN ISO 12894:2002

Deve essere attivata per WBGT > 25°C

Esposizione ad ambienti caldi

MONITORAGGIO DEGLI ESPOSTI

Valutazione preliminare della tolleranza allo stress da calore
Nei soggetti sani esiste una ampia variabilità nel tollerare lo stress da calore e per ridurre il rischio di incorrere in manifestazioni patologiche da calore è necessario **non esporre i soggetti intolleranti**.

Un metodo pratico per valutare la tolleranza allo stress da calore consiste nella determinazione del massimo consumo di ossigeno (**VO2 max**).

Da studi di laboratorio e sul campo è emerso infatti che soggetti con **VO2 max superiore a 2.5 litri/min** risultano **tolleranti** al calore, mentre soggetti con valori di **VO2 max inferiori a 2.5 litri/min nel 63% dei casi** sono risultati **intolleranti**

Esposizione ad ambienti caldi

MONITORAGGIO DEGLI ESPOSTI

la valutazione preliminare deve anche tener conto della presenza anamnestica di **pregresse manifestazioni patologiche da calore**, in quanto tali soggetti possono risultare **meno tolleranti**;

è indispensabile inoltre indagare circa la presenza anamnestica di patologie:

cardiache,
vascolari,
respiratorie,
neurologiche,
renali,
ematologiche,
gastrointestinali,
endocrine e dermatologiche,

che in qualche modo influiscono sulla tolleranza allo stress da calore; (può essere utile la raccolta del questionario tratto da Gobbato)

Esposizione ad ambienti caldi

MONITORAGGIO DEGLI ESPOSTI

esame obbiettivo

con particolare attenzione a cardiovascolare, respiratorio, nervoso e cutaneo;

esami bioumorali raccomandati:

glicemia, azotemia, creatininemia, elettroliti, emoglobina, glicosuria e proteinuria;

misura della pressione arteriosa:

di per se non è una controindicazione assoluta alla esposizione al calore, ma vanno attentamente considerati gli eventuali effetti della terapia antipertensiva;

per i soggetti in **trattamento con diuretici** e dieta iposodica controllo periodico degli elettroliti.

Esposizione ad ambienti caldi

MONITORAGGIO DEGLI ESPOSTI

Il monitoraggio degli esposti ha **due obiettivi principali**:

- monitoraggio di eventuali alterazioni dello stato di salute che possono compromettere la tolleranza al calore
- capacità di tollerare il calore.

Per il primo obiettivo è auspicabile:

- una **visita periodica a cadenza annuale** con controllo degli esami bioumorali raccomandati e raccolta del questionario anamnestico tratto da Gobbato

Esposizione ad ambienti caldi

MONITORAGGIO DEGLI ESPOSTI

1 Ha mai qualche reazione al caldo che abbia indotto a sospettare una minor tolleranza al calore?	<input type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No
2 Hai mai avuto qualche malattia dovuta al calore? Se sì riferire quando accadde e descrivere le circostanze: _____ E' stato ricoverato per tale evento? Ha avuto altri episodi analoghi?	<input type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No
3 Ha avuto episodi di perdita della coscienza, di lipotimia, di perdita dell'efficienza fisica o e' stato trattato per disturbi mentali?	<input type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No
4 Soffre di diabete o di altre malattie generali?	<input type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No
5 Soffre di qualche malattia del cuore o dei vasi, ivi comprese l'ipertensione arteriosa?	<input type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No
6 Soffre di qualche malattia polmonare, ad esempio asma ?	<input type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No
7 Soffre di qualche malattia della pelle ? Se si precisare: _____	<input type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No
8 Ha subito qualche trattamento che impedisce di sudare (ad esempio: simpaticectomia)?	<input type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No
9 Assume farmaci prescritti dal medico? Se si riportare il nome: _____	<input type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No
10 Prende medicine di sua iniziativa (riportare tutti farmaci non dimenticando quelli per il mal di testa, mal di schiena, per dormire) Se si indicare il nome: _____	<input type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No
11 Ha uno stile di vita sedentario? Se no quando fa attivita' fisica : <input type="checkbox"/> Occasionalmente <input type="checkbox"/> Regolarmente <input type="checkbox"/> Quotidianamente	<input type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No
12 Consuma bevande alcoliche? Se si quanto spesso: <input type="checkbox"/> Occasionalmente <input type="checkbox"/> Regolarmente <input type="checkbox"/> Quotidianamente	<input type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No
N.B. Se la risposta e' positiva ad una delle domande da 1 a 10, fare riferimento la giudizio del medico (tratto da F.Gobbato. Medicina del Lavoro. Edizioni Masson 2002)	

Esposizione ad ambienti caldi

MONITORAGGIO DEGLI ESPOSTI NIOSH 1986 – Brohua et al.

per il **secondo obiettivo** viene consigliato :

la capacità di tolleranza al calore può essere valutata attraverso il **recupero della frequenza cardiaca che viene misurata dopo 30 secondi (P1) e dopo 2.5 minuti (P2) al termine del lavoro con esposizione al calore od al termine di ogni periodo di pausa**, nel caso fosse instaurato un ritmo lavoro-pausa, secondo le indicazioni dell'indice WBGT, come indicato:

Recupero della frequenza cardiaca	Frequenza cardiaca P ₂	Differenza P ₁ - P ₂
Recupero soddisfacente	<90
Recupero dubbio (necessari ulteriori accertamenti)	90	>10
Recupero insoddisfacente (indicativo di stress da calore)	90	<=10

Va comunque sottolineato che al riscontro di una **frequenza cardiaca eccedente i 110 battiti/min.** all'inizio del periodo di pausa, nel caso fosse instaurato un ritmo lavoro-pausa, secondo le indicazioni dell'indice WBGT, è **necessario ridurre di un terzo il successivo periodo di lavoro, mantenendo lo stesso periodo di pausa.**

Esposizione ad ambienti caldi

La norma UNI EN ISO 12894:2002 propone un questionario da somministrare ai lavoratori valido sia per esposizioni a caldo che per quelle al freddo.

Esposizione ad ambienti caldi

PROPOSTA DI PROGRAMMA SANITARIO (Gobbato SIMLII 1978)

WBGT	Costo energetico del lavoro (W)			
	70 ÷ 140	140 ÷ 210	210 ÷ 280	> 280
< 25	-	(A)	A, (B)	B
25÷30	(A)	A	B	C
30÷35	A, (B)	B	C	D
> 35	B	C	D	E

Legenda:	
A:	visita medica
B:	come A + accertamenti di base (es. urine, spirometria, ECG)
C:	come B + spirometria completa, ECG dopo sforzo, esami di routine
D:	come C + prove scalari su cicloergometro: ventilazione e VO ₂ , monitoraggio cardiologico (ECG, frequenza, pressione)
E:	(solo per squadre di emergenza e soccorso in condizioni estreme) come D + controllo di efficienza in camere climatizzate durante prova da sforzo e con definizione specifica della tolleranza individuale
N.B.:	
-	Le indicazioni tra parentesi sono da valutare caso per caso
-	Come periodicità della visita medica si può considerare una frequenza biennale per B, annuale per C, semestrale per D-E.

Esposizione ad ambienti caldi

CASO di morte per COLPO DI CALORE

Cartotecnica sopralco a 2.5 m dal tetto -
 eta' 55 anni mansione jolly- non acclimatato - probabile alcolista
 Ta esterna 34°C - Ta interna >37°C - Tg >37°C - umidità circa 40% -WBGT 30.9
 Confusione (atto di fumare senza la sigaretta)
 dopo 10 minuti trovato in coma
 118 tenta raffreddamento

dopo 20 minuti in PS Ttimpanica 42°C

raffreddamento per infusione e instillazione gastrica
 chiazze rossastre cutanee, elettroliti,
 mioglobina, CPK, ALT, AST, RX torace-negativa
 reparto rianimazione - dopo 1.5 giorni morte

autopsia: chiazze rossastre cutanee, petecchie (post-mortem?), microinfarti (post-mortem?), focolaio broncopneumonico (rianimazione), fegato steatosico (alcolista?), dilatazione ventricoli cerebrali (edema cerebrale?)

La diagnosi viene posta per esclusione, in assenza di altre cause con Tinterna >40.6 (MedLegali US)

Esposizione ad ambienti caldi

Tipo di lavoro	media Kcal/ min	Range Kcal / min
Lavoro con le mani	0.4	0.2 -1.2
Leggero	0.9	
Pesante		
Lavoro con un braccio	1.00.	0.7-2.5
Leggero	1.7	
Pesante		
Lavoro con ambedue le braccia	1.5	1.0-3.5
Leggero	2.5	
Pesante		
Lavoro con il corpo	3.5	2.5-15.0
Leggero	5.0	
Moderato	7.0	
Pesante	9.0	
Molto pesante		

Esposizione ad ambienti caldi

Uso di strumento pesante a mano in una linea di montaggio

a) Camminare	Kcal/min	2
b) Lavoro lavoro leggero con il corpo	Kcal/min	3.5
c) In piedi fermo	Kcal/min	0.6
totale parziale	Kcal/min	6.1
d) aggiungere per metabolismo basale	Kcal/min	1
totale	Kcal/min	7.1

	n. ora	Basale Kcal /min	dispendio teorico Kcal/min	dispendio teorico + metab. basale Kcal/min							
	1	2	3	4	5	6	7	8			
pausa mensa (min)				15	15						
pause SBF (min)		10	10				10	10			
tempo libero (min)	16.63	16.63	16.63	16.63	16.63	16.63	16.63	16.63			
pause tot (min)	16.63	26.63	26.63	31.63	31.63	16.63	26.63	26.63	1.00	0.60	1.60
durata ora (min)	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00			
lavoro (min)	43.37	33.37	33.37	28.37	28.37	43.37	33.37	33.37			
Spostamenti 18/59	13.23	10.18	10.18	8.66	8.66	13.23	10.18	10.18	1.00	2.00	3.00
carico 36/59	26.46	20.36	20.36	17.31	17.31	26.46	20.36	20.36	1.00	3.00	4.00
anomalia 5/59	3.68	2.83	2.83	2.40	2.40	3.68	2.83	2.83	1.00	4.00	5.00
dispendio ponderato energetico/ora Kcal/ora	190.53	168.74	168.74	157.84	157.84	190.53	168.74	168.74			
dispendio ponderato energetico/ora Kcal/min	3.18	2.81	2.81	2.63	2.63	3.18	2.81	2.81			
MET ponderato Kcal/ora/50	3.81	3.37	3.37	3.16	3.16	3.81	3.37	3.37			

Esposizione ad ambienti caldi

POSTO DEL PRELIEVO	REPARTO: VULCANIZZAZIONE RILEVAZIONI MICROCLIMATICHE					
	WBGT (°C)	Ta (°C)	Tu (°C)	Tg (°C)	U (%)	V (m/s)
Linea A-B	32,55	37,61	29,05	40,71	30,29	0,73
Linea B-C	31,17	38,47	26,67	41,70	29,10	0,64
Cambio stampi	31,37	39,78	26,54	42,65	28,39	1,13
Linea C-D	31,31	39,67	26,40	42,78	28,11	0,46
Linea D-E	30,07	38,38	25,39	40,99	30,49	1,08
Linea F nastro di carico	27,59	33,85	23,74	36,56	37,64	0,80
Cambio camere	30,74	38,08	25,46	43,06	29,57	0,97
Area lavaggio stampi	28,49	34,85	24,38	38,10	35,80	0,18
Esterno	27,59	34,17	23,43	37,31	36,81	0,87

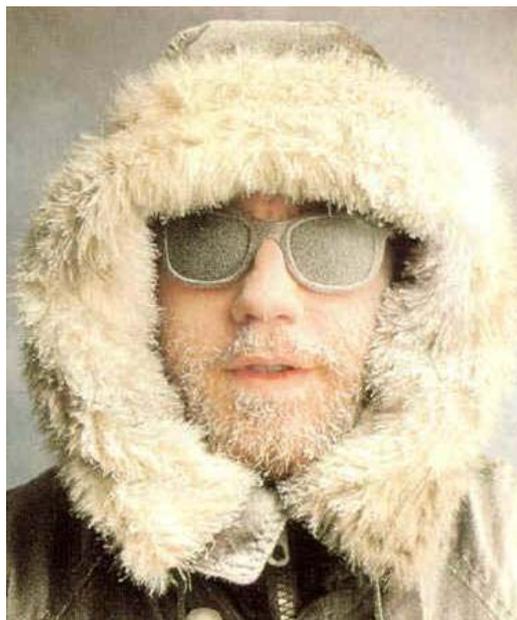
Esposizione ad ambienti caldi

Sulla base dei valori di WBGT e relativamente alle condizioni microclimatiche del pomeriggio risulterebbe un ritmo lavoro/riposo pari al 25%/75% per le 4 postazioni che superano il valore di WBGT di 31,2 °C.

E' presumibile che tutte le volte che all'esterno si raggiunge una temperatura di 31-32 °C con una umidità relativa del 30-40% i limiti WBGT di lavoro continuo vengano superati.

Eventuali valori di umidità relativa esterni più elevati, dato il peso della temperatura umida nel calcolo del WBGT, che conta per il 70%, ridurrebbero ulteriormente i valori di temperatura esterna che determinano nel reparto vulcanizzazione un superamento dei limiti del lavoro continuo.

Esposizione ad ambienti freddi



Esposizione ad ambienti freddi

Indici di stress da freddo

Non esiste un indice universalmente accettato

La valutazione dello stress termico in ambienti severi freddi viene effettuata mediante una procedura detta

“Isolamento richiesto”

descritta nella norma tecnica UNI ENV ISO 11079:2001

Esposizione ad ambienti severi freddi

Stress

TLV - ACGIH

Esposizione ad ambienti freddi

I limiti si prefiggono di proteggere i lavoratori contro gli effetti più gravi dello stress da freddo (ipotermia) e dal danno locale da freddo.

Descrivono le condizioni al di sotto delle quali si ritiene che la maggior parte dei lavoratori possa rimanere esposta ripetutamente giorno dopo giorno senza effetti negativi per la salute.

Esposizione ad ambienti freddi

Obiettivi:

- ✓ prevenire un abbassamento della temperatura corporea al di sotto di **36 °C**
- ✓ tutelare contro il danno da freddo alle estremità
- ✓ per una esposizione singola occasionale si può accettare un abbassamento della temperatura corporea interna fino ad un valore non inferiore a **35 °C**
- ✓ particolare attenzione a **mani, piedi, testa**

Esposizione ad ambienti freddi

Sintomatologia clinica progressiva della ipotermia rettale (Am. Family Physician 1982)

°C In rosso i sintomi più importanti

37.6 Temp. Rettale "normale"

37.6 Temp. orale "normale"

36.0 Il metabolismo basale aumenta nel tentativo di compensare la perdita di calore

35.0 **Massima intensità dei brividi, <<<dolori alle estremità !!!!>>>**
INTERROMPERE IMMEDIATAMENTE

34.0 Vittima pienamente cosciente, pressione arteriosa normale

33.0 **Ipotermia grave al di sotto di questa temperatura**

32.0-31.0 **Obnubilamento della coscienza**, PA difficilmente rilevabile, pupille dilatate ma reattive alla luce, **i brividi cessano**

30.0-29.0 **Perdita progressiva della coscienza**, incrementata rigidità muscolare, polso e PA difficili da rilevare, **dimin.freq.resp.**

28.0 Possibile **fibrillazione ventricolare** da irritabilità miocardica

Esposizione ad ambienti freddi

Sintomatologia clinica progressiva della ipotermia:

°C

- 27.0 La motilità cardiaca cessa, pupille non reattive alla luce, riflessi superficiali e profondi assenti
- 26.0 Vittima raramente cosciente
- 25.0 Possibilità di fibrillazione ventricolare spontanea
- 24.0 Edema polmonare
- 22.0-21.0 Rischio massimo di fibrillazione ventricolare
- 20.0 Arresto cardiaco
- 18.0 Grado massimo di ipotermia accidentale alla quale il paziente può sopravvivere
- 17.0 EEG isoelettrico (piatto)
- 9.0 Grado massimo di ipotermia per raffreddamento artificiale a cui il paziente può sopravvivere

Esposizione ad ambienti freddi

I lavoratori

- più anziani
- con problemi circolatori
- neo-assunti
- terapia farmacologica

necessitano di protezioni cautelative speciali

Esposizione ad ambienti freddi

Indici di stress da freddo

- WCI (windchill index) Siple e Passel 1945

$$WCI = (10 \sqrt{V_a + 10.45 - V_a}) * (33 - T_a)$$

tiene conto della velocità del vento

non permette di calcolare gli effetti della perdita di calore in funzione del vestiario

Esposizione ad ambienti freddi

Indici di stress da freddo

- ESAT (Equivalent still air temperature) Burton 1955

considera l'effetto del vento nel correggere la temperatura dell'aria e fornisce il valore equivalente di domanda termica nell'aria ferma

Esposizione ad ambienti freddi

Indici di stress da freddo

- ✓ **IREQ (Required clothing insulation index)**
Holmer 1984 - ISO 11079 2001

simile all'indice di sudorazione richiesta
permette di calcolare l'isolamento richiesto
(vestiario)

ed il tempo lavorativo massimo (1-tempo di
riposo)

a diversi livelli di metabolismo
tiene conto della V_a

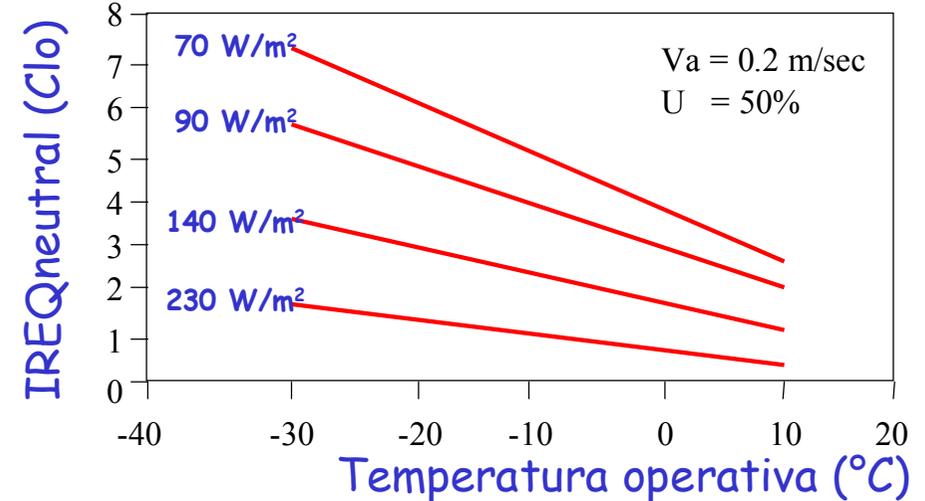
IREQ_{min} isolamento termico per T_{corpo} non normale

IREQ_{neutral} isolamento termico per T_{corpo} 37°C

Esposizione ad ambienti freddi

Indici di stress da freddo

IREQ_{Neutral} - ISO 11079(2001)



Esposizione ad ambienti freddi

Indici di stress da freddo

IREQ (Required clothing insulation index)

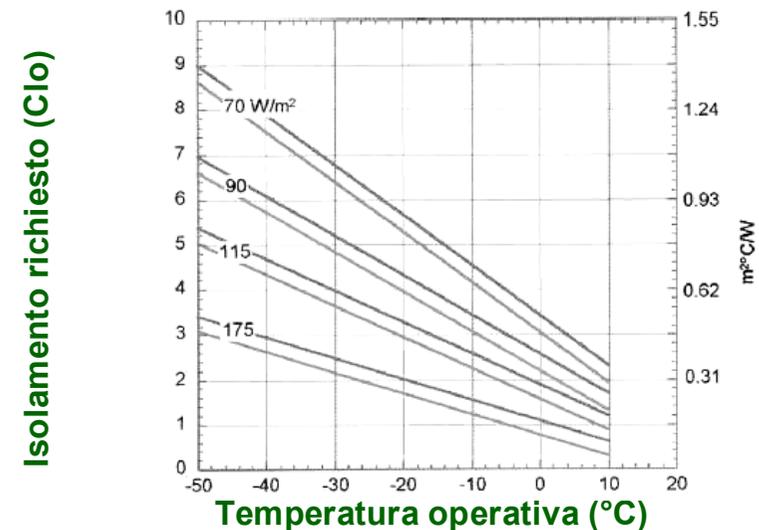
permette di calcolare l'isolamento richiesto
(vestiario) a diversi livelli di metabolismo per
garantire:

- **condizioni minime accettabili**
IREQ_{min} (presenza di sensazione di freddo)
- **condizioni di neutralità termica**
IREQ_{neutral}

Esposizione ad ambienti freddi

Indici di stress da freddo

Confronto tra IREQ_{Neutral} e IREQ_{min}



Esposizione ad ambienti freddi

Indici di stress da freddo

Dal confronto tra $IREQ_{min}$, $IREQ_{neutral}$ con l'isolamento termico I_{cl} effettivamente garantito dall'abbigliamento utilizzato, si possono verificare tre diverse situazioni:

- $I_{cl} < IREQ_{min}$ implica protezione insufficiente, e conseguente rischio di ipotermia;
- $I_{cl} > IREQ_{neutral}$ implica iper-protezione, e conseguente rischio di sudorazione, che, in presenza di un ambiente esterno rigido, può produrre effetti nocivi;
- $IREQ_{neutral} \geq I_{cl} \geq IREQ_{min}$ definisce l'intervallo di accettabilità, garantendo condizioni comprese tra una sensazione soggettiva di freddo e la neutralità termica

Esposizione ad ambienti freddi

Indici di stress da freddo

Il calcolo sia dei valori $IREQ_{min}$ ed $IREQ_{neutral}$, sia delle durate massime consentite per l'esposizione corrispondenti a condizioni di isolamento minimo (DLE_{min}) ovvero neutro (DLE_{neu}), può venire eseguito con facilità mediante il software $IREQ2002$ accessibile on-line all'indirizzo:

http://www.eat.lth.se/Forskning/Termisk/Termisk_HP/Klimatfiler/IREQ2002alfa.htm

Il software richiede in input i valori dei quattro parametri ambientali e dei due parametri individuali elencati nella Tabella 1.2, e di tre ulteriori parametri, ossia la potenza metabolica utilizzata per compiere lavoro meccanico, la velocità media del soggetto esposto e la permeabilità all'aria del vestiario. Per quest'ultimo, stante la difficoltà per un utente medio di disporre di dati realistici, vengono forniti all'interno della stessa pagina web dei valori di riferimento.

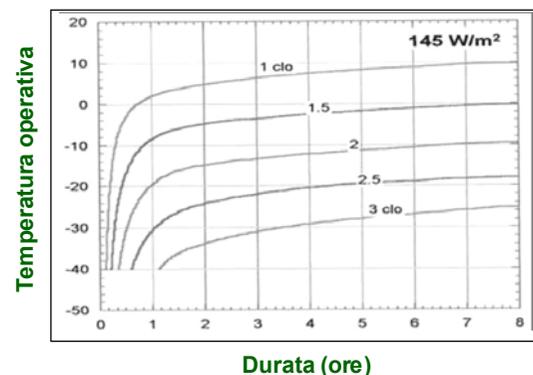
Esposizione ad ambienti freddi

Indici di stress da freddo

L'esposizione ad ambienti severi freddi risulta limitata ad una durata massima:

$$DLE = Q_{lim} / S$$

dove Q_{lim} è la massima perdita di energia tollerabile senza serie conseguenze, pari a 40 Wh/m^2 , ed S è lo squilibrio energetico (ovvero il raffreddamento subito dall'organismo) per una specifica attività metabolica



Esposizione ad ambienti freddi

Indici di rischio locale da freddo

Analogamente a quanto avviene per gli ambienti termici moderati, anche per gli ambienti termici severi freddi esiste un **indice aggiuntivo di tipo "locale"** ad integrazione dell'indice "globale" $IREQ$.

L'indice locale viene in questo caso utilizzato per proteggere il soggetto esposto dalle conseguenze di un eccessivo raffreddamento in specifiche parti del corpo (**mani, piedi, testa**) che, caratterizzate da un **rapporto superficie/volume sfavorevole**, risultano particolarmente sensibili al raffreddamento di tipo convettivo dovuto alla azione combinata della bassa temperatura e del vento

Esposizione ad ambienti freddi

Lesioni locali da freddo

L'esposizione a basse temperature di parti superficiali conduce al congelamento dei tessuti per alterazione della concentrazione di sali nei liquidi circostanti e delle componenti fosfolipidiche delle membrane e per stasi venosa associata a liberazione di sostanze istamino-simili, che portano a fenomeni trombotici-occlusivi fino alla gangrena

Esposizione ad ambienti freddi

Lesioni locali da freddo

- **morso da freddo** (congelamento dei liquidi corporei, macchia bianca sulla cute)
- **piele da trincea o da immersione 1-15°C** (ridotto flusso di sangue, neuropatia periferica grave)
- **ustione da freddo** (contatto della cute con superfici fredde)

Esposizione ad ambienti freddi

Indici di rischio locale da freddo

L'indice sintetico utilizzato è detto "chilling temperature" ed è identificato dal simbolo tch

$$tch = 33 - WCI / 25,5$$

dove WCI è l'acronimo di **Wind Chill Index**, un indice sintetico di analogo significato, che risulta essere una semplice funzione della temperatura dell'aria e della velocità del vento

Esposizione ad ambienti freddi

Indici di rischio locale da freddo 11079:2001

WCI e Chilling temperature sono stati sostituiti dalla temperatura efficace che è funzione di ta (Actual thermometer reading) e va (Wind speed)

Wind speed	Actual thermometer reading, °C										
m/s	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
1,8	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
2	-1	-6	-11	-16	-21	-27	-32	-37	-42	-47	-52
3	-4	-10	-15	-21	-27	-32	-38	-44	-49	-55	-60
5	-9	-15	-21	-28	-34	-40	-47	-53	-59	-66	-72
8	-13	-20	-27	-34	-41	-48	-55	-62	-69	-76	-83
11	-16	-23	-31	-38	-46	-53	-60	-68	-75	-83	-90
15	-18	-26	-34	-42	-49	-57	-65	-73	-80	-88	-96
20	-20	-28	-36	-44	-52	-60	-68	-76	-84	-92	-100

I valori limite di t_{ch} contenuti nella norma tecnica UNI ENV ISO 11079:2001 sono di -14°C (soglia di allarme) e di -30°C (soglia di pericolo). Quest'ultimo valore corrisponde al livello al quale si ha congelamento della parte esposta in un'ora. – Inoltre: Stress se T_{dito} < 24 °C – Strain se T_{dito} < 15°C
Sono necessarie protezioni respiratorie se Ta scende < - 40°C

Esposizione ad ambienti freddi

Indici di stress da freddo

TLV - ACGIH

basato su WCI

evita che la Tcorpo scenda <36°C

permette il calcolo dei tempi di lavoro/riposo

Esposizione ad ambienti freddi

TLV - ACGIH

potere raffreddante del vento alla diverse Ta

Va Ta misurata

m/s 10 4.4 -1.1 -6.6 -12.2-17.7-23.3-28.8-34.4-40.0-45.5-51.5

Temperatura equivalente di sensaz.di freddo (ECT) °C

Calma	10	4.4	-1.1	-6.6	-12.2	-17.7	-23.3	-28.8	-34.4	-40.0	-45.5	-51.5
2.2	8.9	2.8	-2.7	-8.8	-14.4	-20.5	-26.1	-32.2	-37.7	-43.8	-49.4	-55.5
4.4	4.4	-2.2	-8.8									
6.6	2.2											
8.8	0.0											
11.0	-1.1											
13.2	-2.2											
15.4	-2.7											
17.6	-3.3											

pericolo limitato pericolo crescente pericolo elevato

Esposizione ad ambienti freddi

TLV - ACGIH

rapporto lavoro/pause di riscaldamento per turni di 4 ore

Ta °C		Vento trasc. m/s		Vento 2.2 m/s		Vento 4.4 m/s	
da	a	t.lav. max	Pause n.	t.lav. max	pause n.	t.lav. max	pause n.
-26	-28	norm	1	norm	1	75	2
-29	-31	norm	1	75	2	55	3
-32	-34	75	2	55	3	40	4
-35	-37	55	3	40	4	30	5
-38	-39	40	4	30	5	interrompere	
-40	-42	30	5	interrompere		interrompere	
-43		interrompere					

Esposizione ad ambienti freddi

ACGIH Linee guida per l'esposizione dei lavoratori a freddo

Non esporre la cute a ECT (equivalent chill temp) <=-32 °C

Ta < 2 °C cambiare abiti e riposo al caldo

Lavori fini con le mani non ammessi per 16°C sedentari, 4°C leggero, -7°C pesante

Evitare contatti cutanei < -7°C, < -17.5°C guanti e ricopertura superfici

...

Esposizione ad ambienti freddi

Revised ALFA Version of ISO/CD 11079

**CALCULATION OF REQUIRED CLOTHING INSULATION (IREQ),
DURATION LIMITED EXPOSURE (DLE), REQUIRED RECOVERY TIME
(RT)**

IREQ 2002 ver 3.1a, Hakan O. Nilsson and Ingvar Holmer.
BOOKMARK THIS PAGE in order to ALWAYS use the LAST VERSION of the
code.

Disclaimer and references at the end of the document.

**CALCULATION OF REQUIRED INSULATION, IREQ AND
DURATION LIMITED EXPOSURE, DLE**

- 116 M (W/m²), Metabolic energy production (58 to 290 W/m²)
- 0 W (W/m²), Rate of mechanical work, (normally 0)
- 15 Ta (C), Ambient air temperature (< +10 C)
- 15 Tr (C), Mean radiant temperature (often close to ambient air temperature)
- 8 p (l/m²s), Air permeability (low < 5, medium 50, high > 100 l/m²s)
- 0.3 w (m/s), Walking speed (or calculated work created air movements)
- 2 v (m/s), Relative air velocity (0.4 to 18 m/s)
- 85 rh (%), Relative humidity
- 2.5 Icl (clo), AVAILABLE basic clothing insulation (1 clo = 0.155 W/m²K)

Calculate IREQ Interpret IREQ

IREQ & DLE RESULTS (minimal to neutral)

Insulation Required, IREQ 2.6 to 3 (clo)

REQUIRED basic clothing insulation (ISO 9920), Icl 3.2 to 3.6 (clo)

Duration limited exposure, DLE 1.6 to 1 (hours)

CALCULATION READY!

CALCULATION OF REQUIRED RECOVERY TIME, RT

- 90 M (W/m²), Metabolic energy production, (normally lower)
- 0 W (W/m²), Rate of mechanical work, (normally 0)
- 25 Ta (C), Ambient air temperature, (normally warmer)
- 25 Tr (C), Mean radiant temperature, (normally warmer)
- 8 p (l/m²s), Air permeability
- 0.2 w (m/s), Walking speed (normally lower)
- 0.4 v (m/s), Relative air velocity (normally lower)
- 50 rh (%), Relative humidity
- 1.5 Icl (clo), Available basic clothing insulation, (normally lower)

Calculate RT Interpret RT

RT RESULTS (neutral)

Required recovery time 0.9 (hours)

CALCULATION READY!

CALCULATION OF THE WINDCHILL INDEX, WCI

- 6.8 v (m/s), Relative air velocity
- 25 Ta (C), Ambient air temperature

Calculate WCI Interpret WCI

WINDCHILL INDEX, WCI 2000 (W/m²)

Chilling temperature, Tch 58 (C)

Esposizione ad ambienti freddi

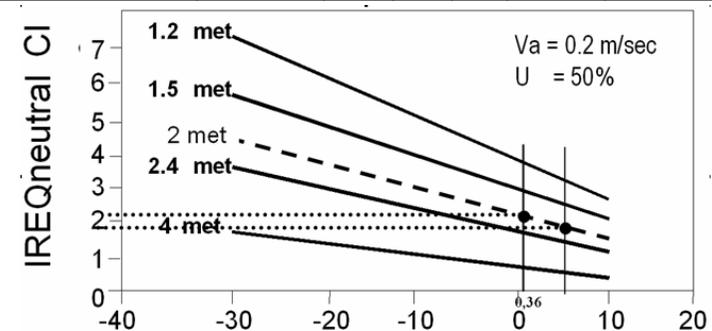
Postazione	Ts °C	Tu °C	U %	Tg °C	V m/s	met	PMV Icl 1.8	PPD (%)
Reparto frutta e verdura – sotto anemometri	14	10	61,4	14,2	0,40	2	0.37	7,84
Reparto frutta e verdura – centro ambiente	15	10	53,9	15,4	0,50	2	0.46	9.39
Reparto frutta e verdura – accanto banco espositivo –	13,55	8,93	55,2	14,2	0,15	2	0.38	7.96
Locale confezionamento frutta e verdura	10,1	7,15	67,2	10,7	0,05	1,6	-0.34	7.42
Reparto Pescheria – centro ambiente	12,65	7,5	49,11	13,3	0,15	1,6	-0.13	5.36
Zona surgelati – tra due corsie con armadi frigo a pozzetto	14,80	9,19	48,44	14,91	0,05-0,1	2	0.47	9.68
Zona panetteria tra gli scaffali	15,59	9,00	41,71	16,0	0,05	2	0.56	11.64
Enoteca	15,03	9	45,31	15,5	0,01	1,6	0.19	5.78
Zona salumi appesi – sotto evaporatori	11,09	6,66	53,48	11,9	0,10-0,30	2	0.25	6.30
Banco vendita carne al dettaglio	14,31	7,7	39,29	14,5	0,05	1,6	0.54	11.17

Esposizione ad ambienti freddi

Postazione	Ts °C	Tu °C	U %	Tg °C	V m/s	met	PMV Icl 1.5	PPD (%)
Zona dietro casse – vicino porta uscita – porte chiuse	16,67	10,3	44,78	17	0,10	1.6	-0.15	5.45
	15,10	8,8	43,2	17	0,10	1.6	-0.25	6.26
Zona dietro casse – vicino porta uscita – porte aperte	14,68	10	55,4	15,3	0,20-0,50	1.6	-0.58	12.1
Barriera casse – lateralmente verso reparti non food	17,41	10,8	44,1	17,9	0,1	1.6	-0.02	5.01

Esposizione ad ambienti freddi

Postazione	Ts °C	Tu °C	U %	Tg °C	V m/s	Temp. Operativa (To)	met	Icl
Zona formaggi - tra le corsie con scaffali	5,07	3,71	78	3,5	0,15-0,20	4,28	2	2.55
Zona salumi – tra le corsie con scaffali	7,57	4,81	64,3	4,8	0,15	6,18	2	2.55
Zona salumi – davanti alle corsie	6,81		67	3,5	0,25-0,40	5,15	2	2.55
Zona carne sottovuoto – centro ambiente	+ 0,43		84	+ 0,2	0,20-0,25	0,36	2	2.55



Esposizione ad ambienti freddi

Celle frigorifere

Cosa fare in caso di sbalzi di temperatura

per raffreddamento temporaneo

Esposizione ad ambienti freddi

I DPI PER GLI AMBIENTI TERMICAMENTE SEVERI

Gli indumenti di protezione debbono rispondere ai requisiti generali previsti dalla **UNI EN 340:2004** per quanto riguarda le caratteristiche dei **materiali, delle taglie disponibili**, della marcatura di identificazione del **rischio** per le quali sono state testate e delle indicazioni a carico del fabbricante.

La norma **UNI EN 511:1995** fornisce la classificazione dei **guanti resistenti al freddo** secondo un codice a tre cifre associato al pittogramma (vedi Figura 4.6) che indica la permeabilità all'acqua al freddo da contatto e al freddo convettivo.