



Il Microclima nei luoghi di lavoro

generalità, descrittori




Omar Nicolini - Az.USL di Modena (o.nicolini@ausl.mo.it)

1



Microclima

*Complesso dei parametri climatici
che influenzano gli scambi termici soggetto-ambiente*

I principali parametri sono:

- temperatura dell'aria t ($^{\circ}\text{C}$)
- temperatura media radiante t_{rm} ($^{\circ}\text{C}$)
- umidità relativa UR (%)
- velocità dell'aria v (m/s)
- dispendio energetico metabolico M (met -o- W/m^2)
- resistenza termica del vestiario I_{cl} (clo -o- $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$)
- altri -acclimatazione-allenamento-alimentazione-età-...

2



Microclima ... effetti

AMBIENTI MODERATI → DISAGIO

- diminuzione dell'attenzione, affaticamento
- concausa nell'aumento di infortuni

AMBIENTI SEVERI CALDI → STRESS da caldo

- "colpo di calore"
- convulsioni, coma, morte

AMBIENTI SEVERI FREDDI → STRESS da freddo

- congelamento, più o meno parziale
- perdita di conoscenza, morte

3

Microclima ... legislazione

Titolo I + Titolo II con Allegato IV
&

Titolo VIII – Capo I
Disposizioni generali

- **art.180** - Definizioni e campo di applicazione
- **art.181** - Valutazione dei rischi
- **art.182** - Disp. miranti ad eliminare o ridurre i rischi
- **art.183** - Lavoratori particolarmente sensibili
- **art.184** - Informazione e formazione dei lavoratori
- **art.185** - Sorveglianza sanitaria
- **art.186** - Cartella sanitaria e di rischio

4

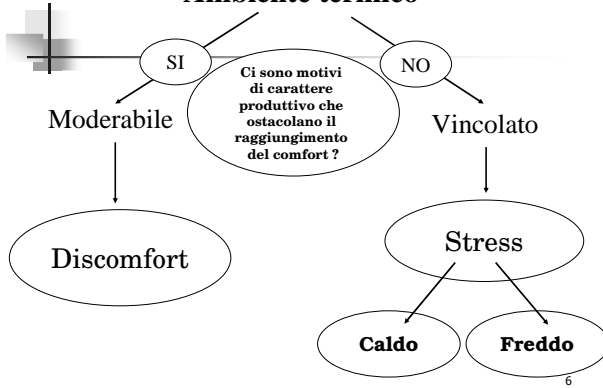
Commento

A differenza di quanto avviene per la valutazione di altri rischi fisici o chimici (es. il rischio rumore), la legge non contiene né la procedura per la valutazione del rischio, né l'indicazione del descrittore, né i valori limite.

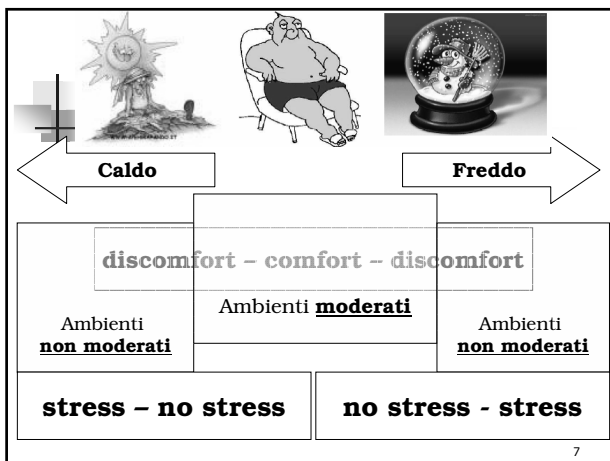
Tutta questa materia è pertanto delegata alla normativa tecnica

5

Ambiente termico




6

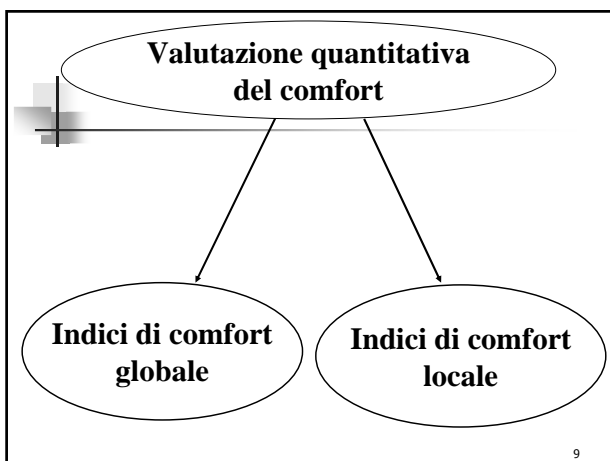


Ambienti termici moderabili

- ✓ Sensazioni di fastidio o di disturbo (discomfort) generale e/o locale
- ✓ Interferenza con l'attività lavorativa
- ✓ Nessun vero rischio per la salute



8



UNI EN ISO 7730:2006

Determinazione degli indici PMV e PPD e specifica delle condizioni di benessere termico

M – Metabolismo energetico (Dispendio metabolico)
W – Potenza meccanica (Lavoro)
C_{RES} – Perdite nella respirazione per via convettiva
E_{RES} – Perdite nella respirazione per via evaporativa
K – Potenza scambiata per conduzione
C – Potenza scambiata per convezione
R – Potenza scambiata per irraggiamento
E – Potenza scambiata per evaporazione

S – Squilibrio energetico
 (L'organismo guadagna energia se $S > 0$,
 cede energia se $S < 0$)

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

L'equazione dell'equilibrio energetico contiene soltanto sei quantità

Quattro parametri oggettivi (ambientali)

Temperatura dell'aria t_a

Temperatura media radiante t_r

Pressione parziale del vapore acqueo (umidità) p_a

Velocità dell'aria v_a

Due parametri soggettivi (individuali)

Attività metabolica M

Isolamento del vestiario I_{clo}

448

Temperatura dell'aria

E' una misura della energia cinetica delle molecole dell'aria

Unità di misura – Grado centigrado (°C)

Strumentazione richiesta – Termometro

UNI EN ISO 7726

Ergonomia degli ambienti termici – Strumenti per la misurazione delle grandezze fisiche

12

Temperatura media radiante

E' una misura della temperatura media delle superfici in contatto ottico diretto con la postazione di misura (e di conseguenza una misura del flusso di radiazione che incide sulla postazione di misura)

Unità di misura – Grado centigrado (°C)

Strumentazione richiesta: Globotermometro



UNI EN ISO 7726
Ergonomia degli ambienti termici –
Strumenti per la misurazione delle grandezze fisiche

13

Press. parziale del vapore acqueo

E' una misura della quantità di vapore acqueo presente nell'aria

Unità di misura – KiloPascal (KPa)

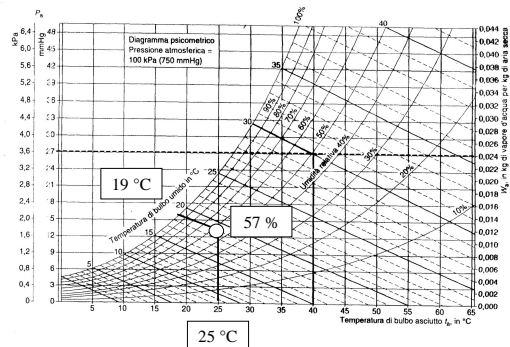
Strumentazione richiesta: Igrometro
o Psicrometro



UNI EN ISO 7726
Ergonomia degli ambienti termici –
Strumenti per la misurazione delle grandezze fisiche

14

Umidità relativa



15

Velocità dell'aria

E' una misura del movimento d'aria in prossimità della postazione di misura

Unità di misura – metri al secondo (ms^{-1})

Strumentazione richiesta: Anemometro



UNI EN ISO 7726
Ergonomia degli ambienti termici –
Strumenti per la misurazione delle grandezze fisiche

16

Metabolismo

E' una misura della potenza generata dall'organismo nello svolgimento di una determinata attività.
(1 met = 58,15 W/m²; sup.corporea ≈ 1,8 m²)


Il rendimento meccanico η è definito come il rapporto fra la potenza meccanica impegnata W ed il metabolismo M

ATTIVITÀ	METABOLISMO (met/min)	RENDIMENTO MECCANICO η (%)
RIPOSO		
Dormire	0.7	0
Stare distesi	0.8	0
Stare seduti tranquilli	1.0	0
Stare in piedi rilassati	1.2	0
CAMMINARE:		
In piano	km/hr	
3.2	2.0	0
4.0	2.4	0
4.8	2.6	0
5.6	3.2	0
6.4	3.8	0
8.0	5.8	0
In salita	km/hr	
Inclinazione 5%	1.6	2.4
5%	3.2	3.5
5%	4.8	4.6
5%	6.4	7.0
10%	1.6	3.3
15%	3.2	5.4
15%	4.8	8.0
25%	1.6	4.2
25%	3.2	7.8
CARPENTERIA MECCANICA		
seguare profilati metallici a macchina	1.8 - 2.2	0
seguare profilati metallici a mano	4.0 - 4.8	10 ÷ 20
spianare lamiere con martello	5.6 - 6.4	10 ÷ 20
FONDERIA		
sbavatura getti con martello pneumatico	3.0 - 3.4	0 ÷ 10
compattare forme	4.0 - 4.8	0 ÷ 10
rimozione scoria	7.6	0 ÷ 10
operazioni ai forni	5.0 - 7.0	0 ÷ 10

ATTIVITÀ	METABOLISMO (met/min)	RENDIMENTO MECCANICO η (%)
INDUSTRIA MECCANICA		
montaggi leggeri	2.4	0 ÷ 10
assemblaggio macchine	2.8	0 ÷ 10
meccanica pesante	4.0 ÷ 7.0	0 ÷ 10
CONDUZIONE VEICOLI		
auto in traffico leggero	1.2	0
auto in traffico intenso	2.0	0
autocarro pesante	3.2	0 ÷ 10
aereo	1.2	0
LAVORI PESANTI		
spingere carrelli (57 kg a 4.5 km/h)	2.5	20
movimentare bagagli di 50 kg	4.0	20
scavare, picconare	4.0 ÷ 4.8	10 - 20
LAVORI DOMESTICI		
pulire la casa	2.0 ÷ 3.4	0 ÷ 10
cucinare	1.5 ÷ 2.0	0
lavare i piatti	1.8	0
lavare a mano, stirare	2.0 ÷ 3.6	0 ÷ 10
fare la spesa	1.4 ÷ 1.8	0
LAVORI DI UFFICIO		
scrivere a macchina dattilica	1.2	0
scrivere a macchina meccanica	1.4	0
classificare, archiviare, ecc.	1.4	0
disegnatori	1.1 ÷ 1.3	0
OCCUPAZIONI VARIE		
lavoro di laboratorio	1.4 ÷ 2.2	0
fabbro	2.2	0 ÷ 10
calzolaio	2.0	0 ÷ 10
negoziente	2.0	0 ÷ 10
insegnante	1.6	0
orologiaio	1.1	0
ATTIVITÀ SPORTIVE		
ginnastica	3.0 ÷ 4.0	0 ÷ 10
danza	2.4 ÷ 4.4	0
tennis	3.6 ÷ 4.6	0 ÷ 10
scherma	7.0	0
basket	5.0 ÷ 7.6	0 ÷ 10
lotta libera	7.0 ÷ 8.7	0 ÷ 10

UNI EN ISO 8996
Ergonomia degli ambienti termici
Determinazione del metabolismo energetico


18

	ABBIGLIAMENTO	RESISTENZA TERMICA (clo) ⁽¹⁾
 <p>Isolamento termico dell'abbigliamento</p> <p>E' una misura della resistenza offerta dall'abbigliamento indossato al fluire dell'energia ed alla evaporazione.</p> <p>Unità di misura – Clo (1 Clo = 0,155 m²K/W)</p>	- Nudo	0
	- Abbigliamento leggero	0.10
	- Abbigliamento tropicale: slip, pantaloncini corti, camicia, calze leggere e sandali	0.30
	- Abbigliamento leggero estivo	
	1) pantaloni lunghi leggeri, camicia a maniche corte, slip, calze leggere e scarpe	0.50
	2) vestito di cotone, biancheria, collant, scarpe	0.50
	- Abbigliamento intermedio	
	1) pantaloni lunghi da lavoro, camicia di cotone a maniche lunghe, biancheria di cotone, scarpe, calze corte di lana	0.70
	2) camicetta o maglione, gonna in lana leggera, biancheria, collant, scarpe	0.60
	- Abbigliamento invernale	
	1) pantaloni di lana, camicia a maniche lunghe, maglione a maniche lunghe (o giacca), biancheria di cotone, calze di lana e scarpe	1.0
	2) Giacca imbottita, camicia e maglione di lana, gonna di lana, collant, biancheria, scarpe	0.94
	- Abbigliamento pesante	
	1) abito pesante con maglione, maglieria di lana, camicia con maniche lunghe, calze di lana, scarpe	1.5
	2) Giacca imbottita, gonna e maglione in lana, camicia maniche lunghe, maglieria intima di lana lunga, scarpe	1.35
	- Idem + cappotto pesante o pelliccia	1.8
	- Abito polare	4.0

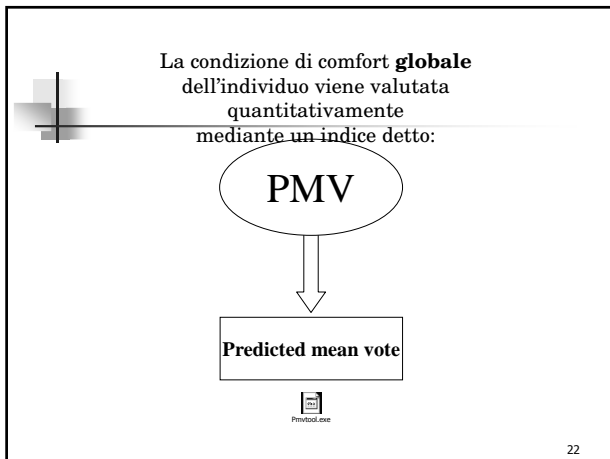
UOMO	clo ⁽¹⁾	DONNA	clo ⁽¹⁾
BIANCHERIA INTIMA		BIANCHERIA INTIMA	
Canottiera	0.06	Reggino e mutandine	0.05
Maglietta a maniche corte	0.09	Sottogonna	0.13
Mutande	0.05	Sottoveste	0.19
Maglia di lana a man. lung.	0.20	Maglia di lana a man. lung.	0.20
Mutande di lana lunghe	0.15	Mutande di lana lunghe	0.15
CAMICIE		BLUSE	
Leggera	0.14	Blusa leggera	0.20
Leggera, maniche lunghe	0.22	Blusa pesante	0.29
Pesante, maniche lunghe	0.29		
Aggiungere il 5% per cravatta o collo a dolce vita		ABITI	
ABITI		Intero leggero	0.20
Panciotto leggero	0.15	Intero pesante	0.70
Panciotto pesante	0.29	Gonna leggera	0.10
Pantaloni leggeri	0.26	Gonna pesante	0.22
Pantaloni pesanti	0.32	Pantaloni leggeri	0.26
Golf leggero	0.20	Pantaloni pesanti	0.44
Golf pesante	0.37	Golf leggero	0.17
Giacca leggera	0.22	Golf pesante	0.37
Giacca pesante	0.49	Giacca leggera	0.17
		Giacca pesante	0.37
ACCESSORI		ACCESSORI	
Calze corte	0.04	Calze, lung. qualsiasi	0.01
Calze lunghe	0.10	Collant	0.01
SCARPE		SCARPE	
Sandali	0.02	Sandali	0.02
Tipo tradizionale, chiuse	0.04	Tipo tradizionale	0.04
Sivali	0.08	Sivali	0.08

Valutazione dell'isolamento termico e della resistenza evaporativa dell'abbigliamento
UNI EN ISO 9820
(& UNI EN ISO 7730)

20

 <p>L'indice di comfort sintetizza le informazioni relative all'equilibrio energetico fra l'uomo e l'ambiente in cui opera.</p>	
---	--

21



PMV - (Predicted Mean Vote)

E' una quantità che in una scala termica a 7 punti, estesa da

**-3 (molto freddo) a
+3 (molto caldo)
(0 = neutro)**

fornisce il giudizio medio che verrebbe espresso da un campione di soggetti esposti ad un determinato ambiente termico.

23

PMV

Il valore ottimale è $PMV = 0$, che corrisponde ad uno stato di neutralità termica.

Il PMV esprime un giudizio **MEDIO**
Per ogni valore del PMV (anche il valore ottimale 0) esiste una frazione di individui insoddisfatta dalle condizioni climatiche esistenti

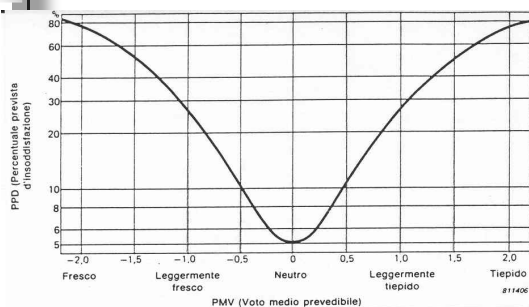
24

PMV: intervalli di applicabilità

Quantità	Simbolo	Intervallo utile	Unità di misura
temperatura dell'aria	t_a	+10 ÷ +30	°C
temperatura media radiante	t_r	+10 ÷ +40	°C
press. parziale del vapore acqueo	p_a	0 ÷ 2700	Pa
velocità relativa dell'aria	v_{ar}	0 ÷ 1	m/s
attività o dispendio metabolico	M	0,8 ÷ 4	met
isolamento termico del vestiario	I_{cl}	0 ÷ 2	clo

25

PPD (Predicted percentage of dissatisfied)



26

PMV	PPD		
	FREDDO	CALDO	TOTALE
-2.0	76.4	—	76.4
-1.5	52.0	—	52.0
-1.0	26.8	—	26.8
-0.9	22.5	—	22.5
-0.8	18.7	0.1	18.8
-0.7	15.3	0.2	15.5
-0.6	12.4	0.3	12.7
-0.5	9.9	0.4	10.3
-0.4	7.7	0.6	8.3
-0.3	6.0	0.9	6.9
-0.2	4.5	1.3	5.8
-0.1	3.4	1.8	5.2
0	2.5	2.5	5.0
+0.1	1.8	3.4	5.2
+0.2	1.3	4.5	5.8
+0.3	0.9	5.9	6.8
+0.4	0.6	7.7	8.3
+0.5	0.4	9.8	10.2
+0.6	0.3	12.2	12.5
+0.7	0.2	15.2	15.4
+0.8	0.1	18.5	18.6
+0.9	—	22.2	22.2
+1.0	—	26.4	26.4
+1.5	—	51.4	51.4
+2.0	—	75.7	75.7

27

Classificazione degli ambienti

A

Forti requisiti di qualità

B

Medi requisiti di qualità

C

Deboli requisiti di qualità

28

Valori limite

UNI EN ISO 7730:2006

$-0,2 < PMV < 0,2$

A

$-0,5 < PMV < 0,5$

B

$-0,7 < PMV < 0,7$

C

PPD < 6 %

PPD < 10 %

PPD < 15 %

29

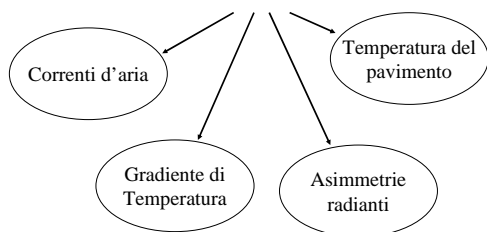
Valutazione quantitativa del comfort

Indici di comfort
globale

Indici di comfort
locale

30

Il giudizio complessivo su un ambiente deve tener conto non soltanto del comfort GLOBALE ma anche dei fattori di discomfort LOCALE



31

Ambiente classe A
Discomfort locale - Limiti

Correnti d'aria	$V_a \neq f(T_a, T_u) \text{ ms}^{-1}$	DR < 10 %
Gradiente di Temperatura	$\Delta T < 2^\circ\text{C}$	PD < 3 %
Temperatura del pavimento	$19^\circ\text{C} < T < 29^\circ\text{C}$	PD < 10 %
Asimmetrie radianti	$\Delta T < 5^\circ\text{C}$ (soffitto caldo) $\Delta T < 14^\circ\text{C}$ (soffitto freddo) $\Delta T < 10^\circ\text{C}$ (parete fredda) $\Delta T < 23^\circ\text{C}$ (parete calda)	PD < 5 %

32

Ambiente classe B
Discomfort locale - Limiti

Correnti d'aria	$V_a \neq f(T_a, T_u) \text{ ms}^{-1}$	DR < 20 %
Gradiente di Temperatura	$\Delta T < 3^\circ\text{C}$	PD < 5 %
Temperatura del pavimento	$19^\circ\text{C} < T < 29^\circ\text{C}$	PD < 10 %
Asimmetrie radianti	$\Delta T < 5^\circ\text{C}$ (soffitto caldo) $\Delta T < 14^\circ\text{C}$ (soffitto freddo) $\Delta T < 10^\circ\text{C}$ (parete fredda) $\Delta T < 23^\circ\text{C}$ (parete calda)	PD < 5 %

33

Ambiente classe C

Discomfort locale - Limiti

Correnti d'aria

$V_a \neq f(T_a, T_u) \text{ ms}^{-1}$

DR < 30 %

Gradiente di Temperatura

$\Delta T < 4^\circ\text{C}$

PD < 10 %

Temperatura del pavimento

$17^\circ\text{C} < T < 31^\circ\text{C}$

PD < 15 %

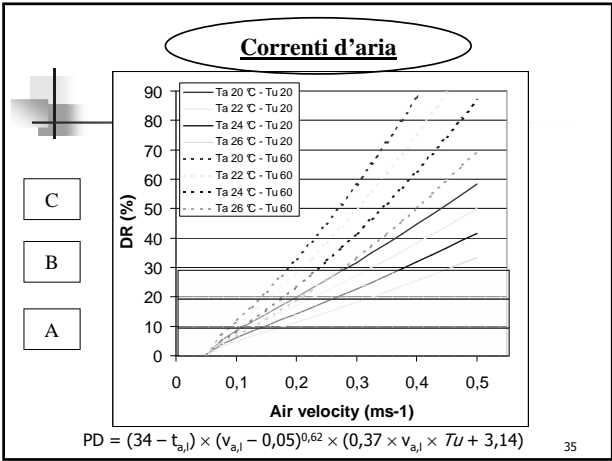
Asimmetrie radianti

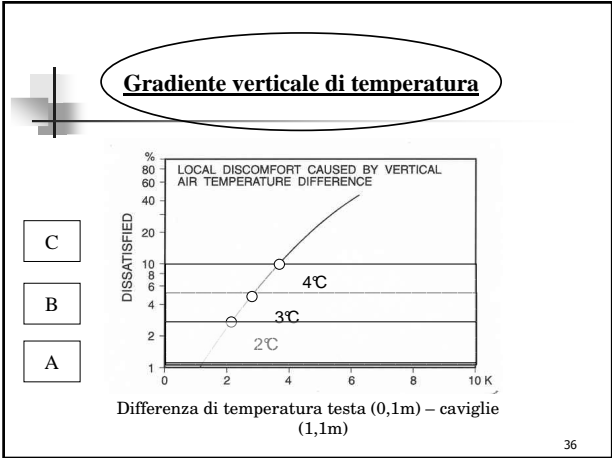
$\Delta T < 7^\circ\text{C}$ (soffitto caldo)
 $\Delta T < 18^\circ\text{C}$ (soffitto freddo)

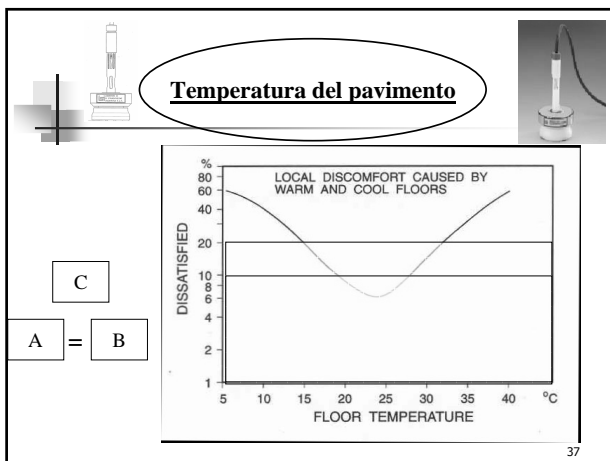
$\Delta T < 13^\circ\text{C}$ (parete fredda)
 $\Delta T < 35^\circ\text{C}$ (parete calda)

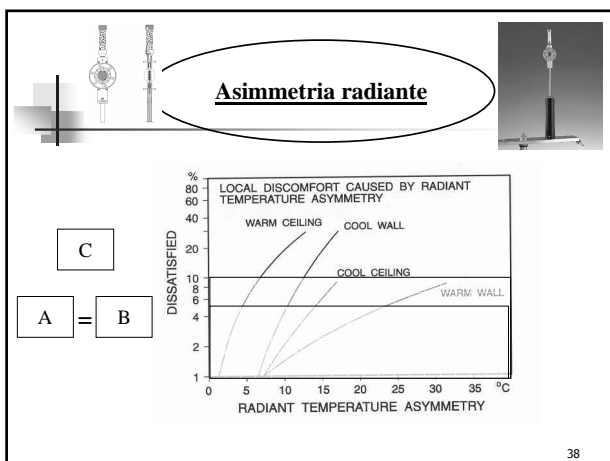
PD < 10 %

34



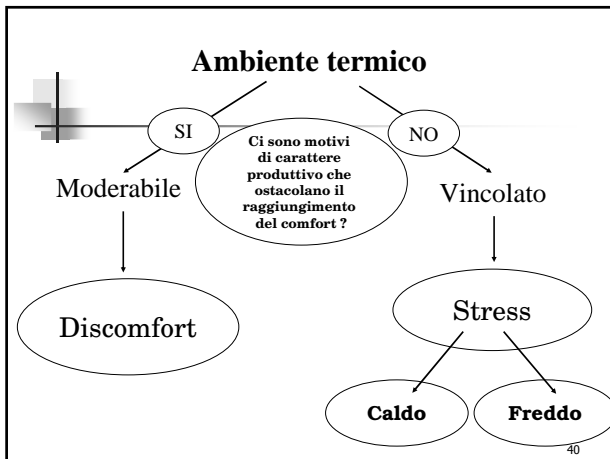






Per l'appartenenza di un ambiente termico
 ad una determinata classe di qualità
 (A B C)
 tutti i requisiti
 (GLOBALI e LOCALI)
 devono risultare simultaneamente soddisfatti

39



Ambienti termici severi

L'ambiente termico è distante dalle condizioni ideali per l'organismo umano.

Il sistema di termoregolazione non è in grado di operare i necessari aggiustamenti per assicurare condizioni di omeotermia

41

Ambienti termici severi

- ✓ Intense sensazioni di caldo e di freddo
- ✓ Forte interferenza con l'attività lavorativa, fino alla inabilità
- ✓ Possibili rischi per la salute

42

Ambienti termici severi caldi

Metodo quantitativo
empirico



International
Organization for
Standardization

UNI EN 27243:1996
Valutazione dello stress termico
negli ambienti di lavoro
basata sull'indice WBGT

43

Ambienti termici severi caldi

Il criterio quantitativo
più semplice, più grossolano
ma anche il più conosciuto
è quello che utilizza l'indice

WBGT

44

WBGT è l'acronimo di Wet Bulb Globe Temperature

Il WBGT si calcola mediante due semplicissime espressioni
matematiche

$$\text{WBGT} = 0,7 T_{\text{NW}} + 0,3 T_{\text{G}}$$

Ambienti non soleggiati

$$\text{WBGT} = 0,7 T_{\text{NW}} + 0,2 T_{\text{G}} + 0,1 T_{\text{A}}$$

Ambienti soleggiati

45

Temperatura del bulbo umido ventilazione naturale

E' una misura composta che risente della temperatura, della umidità e della velocità dell'aria

Unità di misura – Grado centigrado (°C)

Strumentazione richiesta: Termometro con bulbo umido ventilato naturalmente



ISO 7726
Strumenti e metodi per la
misura delle quantità fisiche

46

WBGT

Ipotesi e assunzioni

$$t_{NW} = 5 - 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

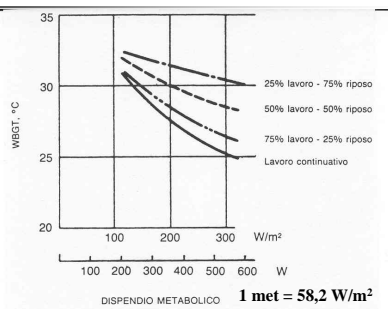
$$t_G = 20 - 120 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Abbigliamento leggero (0,6 clo)
e permeabile al vapore acqueo

Esposizione di durata non troppo breve (> 30 min)

47

Valori limite



48

Valori limite

Classe di metabolismo	Tasso metabolico, M		Valori di riferimento di WBGT [°C]			
	Relativo ad area della superficie della pelle unitaria [W/m²]	Totale (per area della superficie della pelle di 1,8 m²) [W]	Soggetto acclimatato	Soggetto non acclimatato		
0 (a riposo)	M < 65	M < 117	33	32		
1	65 < M < 130	117 < M < 234	30	29		
2	130 < M < 200	234 < M < 360	28	26		
			Aria stagnante	Aria non stagnante	Aria stagnante	Aria non stagnante
3	200 < M < 260	360 < M < 468	25	26	22	23
4	M > 260	M > 468	23	25	18	20

NOTA - I valori forniti sono stati stabiliti sulla base di un valore massimo della temperatura rettale di 38 °C

49

Ambienti termici severi caldi

Metodo quantitativo analitico



International Organization for Standardization

UNI EN ISO 7933 (2005)

Ergonomia dell'ambiente termico –
Determinazione analitica ed interpretazione
dello stress termico da calore mediante il calcolo
della sollecitazione termica prevedibile

50

Ambienti termici severi caldi

Il criterio quantitativo più rigoroso
è quello che utilizza il metodo

PHS

acronimo di
Predicted Heat Strain (Strain da calore previsto)

51

PHS

Valuta se la sudorazione riesce a dissipare una potenza tale da garantire condizioni termiche accettabili al soggetto esposto

Stress termico



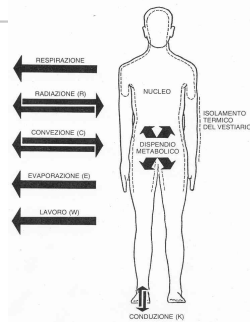
Equilibrio energetico
del corpo umano

52

$$E_{\text{req}} = M - W - C_{\text{RES}} - E_{\text{RES}} - C - R$$

E_{req} = Potenza da dissipare (mediante sudorazione) per ottenere l'equilibrio termico

M – Metabolismo energetico
W – Potenza meccanica
 C_{RES} – Perdite nella respirazione per via convettiva
 E_{RES} – Perdite nella respirazione per via evaporativa
C – Potenza scambiata per convezione
R – Potenza scambiata per irraggiamento



53

PHS

www.hytr.ucl.ac.be/new/Download/downloadEn1.htm

oppure il programma:
Malchaire_Analysis_PMV_PPD_WBGT_PHS

54

Valori limite

t_{CORE} (Temperatura interna) = 38°C

Perdita di liquidi = 5% della massa corporea

55

Contenimento della esposizione

Se almeno uno di questi valori limite
viene superato,
l'esposizione deve essere limitata
ad una durata massima
DLE < 480 minuti

56

Ambienti termici severi freddi

Metodo quantitativo
analitico



International
Organization for
Standardization

UNI ENV ISO 11079 (2008)
Valutazione degli ambienti termici freddi:
Determinazione dell'isolamento richiesto

57

Ambienti termici severi freddi

Il criterio quantitativo di valutazione risulta basato sull'indice

IREQ

acronimo di
Insulation Required (isolamento richiesto)

58

Valuta se l'isolamento fornito dal vestiario indossato nelle reali condizioni ambientali è sufficiente a garantire condizioni termiche accettabili al soggetto esposto

Stress termico



Equilibrio energetico
del corpo umano

IREQ si calcola risolvendo l'equazione del bilancio energetico

IREQ risulta tanto più basso quanto più intensa è l'attività lavorativa svolta

59

Software x IREQ (e WCI)

http://www.eat.lth.se/fileadmin/eat/Termisk_miljoe/IREQ2009ver4_2.html

60

Si calcolano due valori di IREQ

$IREQ_{min} \Rightarrow$ isolamento richiesto per mantenere il bilancio termico al livello minimo compatibile con lo svolgimento della attività.

$IREQ_{neutral} \Rightarrow$ isolamento richiesto per mantenere l'equilibrio energetico dell'organismo.

$$IREQ_{neutral} > IREQ_{min}$$

61

Valutazione del rischio

1

$$I_{clr} > IREQ_{neutral}$$

2

$$IREQ_{min} < I_{clr} < IREQ_{neutral}$$

3

$$I_{clr} < IREQ_{min}$$

62

Valutazione del rischio

1

$$I_{clr} > IREQ_{neutral} \Rightarrow \text{Protezione eccessiva}$$

Rischi di sudorazione eccessiva, ed assorbimento di umidità da parte dell'abbigliamento

Ridurre l'isolamento termico fornito dall'abbigliamento

63

Valutazione del rischio

2

$$IREQ_{\min} \leq I_{\text{clr}} \leq IREQ_{\text{neutral}} \Rightarrow \text{Protezione adeguata}$$

Una modesta sollecitazione del sistema di termoregolazione implica sensazioni che variano da "leggermente freddo" a "neutro"

Mantenere l'isolamento termico fornito dall'abbigliamento

64

Valutazione del rischio

3

$$I_{\text{clr}} < IREQ_{\min} \Rightarrow \text{Protezione insufficiente}$$

Rischi di ipotermia

Aumentare l'isolamento termico fornito dall'abbigliamento o diminuire la durata dell'esposizione

65

Microclima severo freddo Indice di rischio locale

La combinazione di basse temperature e di presenza di vento accelera la dissipazione di calore per via convettiva, con conseguenze soprattutto sulle parti come volto e mani

t_{WC}

**Wind Chill Temperature
(Temperatura del raffreddamento dovuto al vento)**

$$t_{\text{WC}} = 13,12 + (0,6215 \times t_a - 11,37 \times v_{10}^{0,16} + 0,3965 \times t_a \times v_{10}^{0,16})$$

Microclima severo freddo

Table D.1 — Cooling power of wind on exposed flesh expressed as a comparative wind chill temperature (t_{wc}) at a defined wind speed of 4.2 km h⁻¹

t_{10}		t_a °C										
km h ⁻¹	m s ⁻¹	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
5	1.4	-2	-7	-13	-19	-24	-30	-36	-41	-47	-53	-58
10	2.8	-3	-9	-15	-21	-27	-33	-39	-45	-51	-57	-63
15	4.2	-4	-11	-17	-23	-29	-35	-41	-48	-54	-60	-66
20	5.6	-5	-12	-18	-24	-31	-37	-43	-49	-56	-62	-68
25	6.9	-6	-12	-19	-25	-32	-38	-45	-51	-57	-64	-70
30	8.3	-7	-13	-20	-26	-33	-39	-46	-52	-59	-65	-72
35	9.7	-7	-14	-20	-27	-33	-40	-47	-53	-60	-66	-73
40	11.1	-7	-14	-21	-27	-34	-41	-48	-54	-61	-68	-74
45	12.5	-8	-15	-21	-28	-35	-42	-48	-55	-62	-69	-75
50	13.9	-8	-15	-22	-29	-36	-42	-49	-56	-63	-70	-76
55	15.3	-9	-15	-22	-29	-36	-43	-50	-57	-63	-70	-77
60	16.7	-9	-16	-23	-30	-37	-43	-50	-57	-64	-71	-78
65	18.1	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72	-79
70	19.4	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-66	-73	-80
75	20.8	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-59	-66	-73	-80
80	22.2	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-60	-67	-74	-81

The shaded areas refer to the different classes of risk according to Table D.2.

67

Microclima severo freddo

Table D.2 — Wind chill temperature (t_{wc}) and freezing time of exposed skin

Classification of risk	t_{wc} °C	Effect
1	-10 to -24	Uncomfortably cold
2	-25 to -34	Very cold, risk of skin freezing
3	-35 to -59	Bitterly cold, exposed skin may freeze in 10 min
4	-60 and colder	Extremely cold, exposed skin may freeze within 2 min

68



International
Organization for
Standardization



Ente Nazionale Italiano di Unificazione

7730 Ambienti moderati – (metodo PMV-PPD)
7243 Ambienti severi caldi – (metodo WBGT)
7933 Ambienti severi caldi – (metodo PHS)
11079 Ambienti severi freddi – (metodo IREQ)

69



International
 Organization for
 Standardization



Ente Nazionale Italiano di Unificazione

7726 Caratteristiche della strumentazione


8996 Determinazione dell'attività metabolica

9920 Determinazione dell'isolamento termico del vestiario

9886 Determinazione dello stress termico mediante misure fisiologiche

12894 Supervisione medica ...

70




Commento alla normativa

A differenza di quanto avviene per la valutazione di altri rischi fisici o chimici (es. il rischio rumore), non sono le condizioni ambientali in sè ad essere oggetto dell'analisi, bensì

l'ambiente in relazione all'individuo che vi opera.

71



Conclusioni

La vigente legislazione italiana sulla valutazione del rischio di esposizione ad ambienti termici consiste di una enunciazione dei principi di prevenzione e tutela del lavoratore, rinviando ogni aspetto di tipo quantitativo ai vigenti standard tecnici nazionali ed internazionali.

72

Conclusioni

In ambienti MODERATI la quantificazione del discomfort avviene principalmente mediante un indice OGGETTIVO chiamato **PMV** che consente di prevedere (in media) il grado di accettabilità di un ambiente.

Il calcolo del **PMV** si basa sulla misura di quattro parametri ambientali (t_a , t_r , v_a , p_a) e sulla stima di due parametri soggettivi (isolamento fornito dall'abbigliamento I_{cl} e metabolismo M).

73

Conclusioni

Al descrittore GLOBALE **PMV** vengono associati degli indici LOCALI relativi a
**flussi d'aria localizzati (correnti d'aria),
gradienti termici,
temperatura del pavimento e
asimmetrie radianti.**

La valutazione di un ambiente viene effettuata verificando l'appartenenza dell'insieme degli indici globale + locali alla appropriata classe di qualità

74

Conclusioni

In ambienti SEVERI CALDI la quantificazione del rischio può avvenire sia mediante un metodo EMPIRICO (indice **WBGT**) che mediante un metodo ANALITICO (metodo **PHS**).

In ambienti SEVERI FREDDI la quantificazione del rischio avviene esclusivamente mediante un metodo ANALITICO (indice globale **IREG** + indice locale t_{wcl}).

75
