

# MICROCLIMA

## Valutazione del rischio

MICROCLIMA - Paolo Musi - M2 Engineering srl via Borsellino 2 Reggio Emilia tel 0522271574 fax 0522230997 e.mail engi@m2servizi.it  
www.m2servizi.it

## D.Lgs. n°81 del 09 Aprile 2008

Nel Titolo VIII del D.Lgs. n°81 del 09 Aprile 2008 viene richiamata l'attenzione sul rischio per la salute dei lavoratori esposti agli agenti fisici.

Fra gli agenti in questione c'è appunto il microclima.

## Il metodo

La normativa nazionale, attualmente, non prevede una specifica metodologia di valutazione.

La valutazione viene eseguita in riferimento a quanto disposto dalle Linee Guida del Coordinamento Tecnico per la Sicurezza nei Luoghi di Lavoro delle Regioni delle Province autonome realizzate in collaborazione con l'ISPESL.

## Cos' è il microclima

Viene definito "microclima" l'insieme delle caratteristiche fisiche dell'aria dell'ambiente in cui viviamo.

Normalmente, dato che la nostra attività avviene prevalentemente in ambienti chiusi, il microclima descrive le proprietà qualitative dell'aria di tale ambiente confinato.

## Quale esigenza

La necessità delle misure microclimatiche deriva dall'intento di confrontare le condizioni dell'ambiente in cui operiamo con la nostra situazione di comfort.

L'organismo umano deve sempre mantenere una certa costanza termica, in contrasto con l'azione dell'ambiente esterno.

Temperatura, umidità, ventilazione possono modificare anche fortemente il nostro equilibrio termico.

## Ambienti termici e luoghi di lavoro

Nel percorso di valutazione del rischio microclimatico negli ambienti di lavoro è fondamentale distinguere tra gli ambienti nei quali esistono precise esigenze termoigrometriche ai fini della produzione e quelli nei quali queste esigenze non esistono.

## Ambienti moderati

Definiamo **moderati** tutti i luoghi di lavoro nei quali **non esistono** specifiche esigenze produttive che vincolando uno o più degli altri principali parametri microclimatici (principalmente  $t_a$ , ma anche  $U_R$ ,  $v_a$ ,  $t_{rm}$  e  $I_{cl}$ ), impediscano il raggiungimento del confort.

- *Temperatura dell'aria*
- *Umidità dell'aria*
- *Velocità dell'aria*
- *Temperatura radiante*
- *Attività svolta*
- *Abbigliamento*

26/10/2011

MICROCLIMA - Paolo Musi - M2  
Engineering srl via Borsellino 2 Reggio  
Emilia tel 0522271574 fax 0522230997  
e-mail [engi@m2servizi.it](mailto:engi@m2servizi.it) [www.m2servizi.it](http://www.m2servizi.it)

7

## Ambienti Severi

Definiamo **severi** quegli ambienti termici che caratterizzano luoghi di lavoro nei quali le esigenze produttive (lavori a ridosso di forni, accesso a celle frigo o in ambienti legati al ciclo alimentare del freddo, ma anche camere bianche, sale operatorie ...), vincolando uno o più dei principali parametri microclimatici, impediscono il raggiungimento del confort pena lo scadimento della funzione produttiva o del servizio oggetto dell'attività.

*Nella classe degli ambienti termici severi rientrano, data l'impossibilità di controllarne il microclima, tutti i lavori esercitati all'aperto (quali ad esempio quelli svolti da: contadini, muratori, taglialegna, ...).*

26/10/2011

MICROCLIMA - Paolo Musi - M2  
Engineering srl via Borsellino 2 Reggio  
Emilia tel 0522271574 fax 0522230997  
e-mail [engi@m2servizi.it](mailto:engi@m2servizi.it) [www.m2servizi.it](http://www.m2servizi.it)

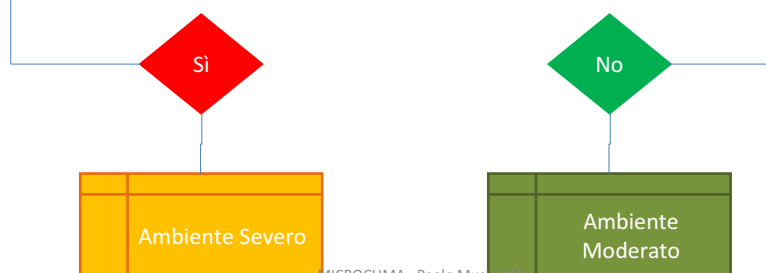
8



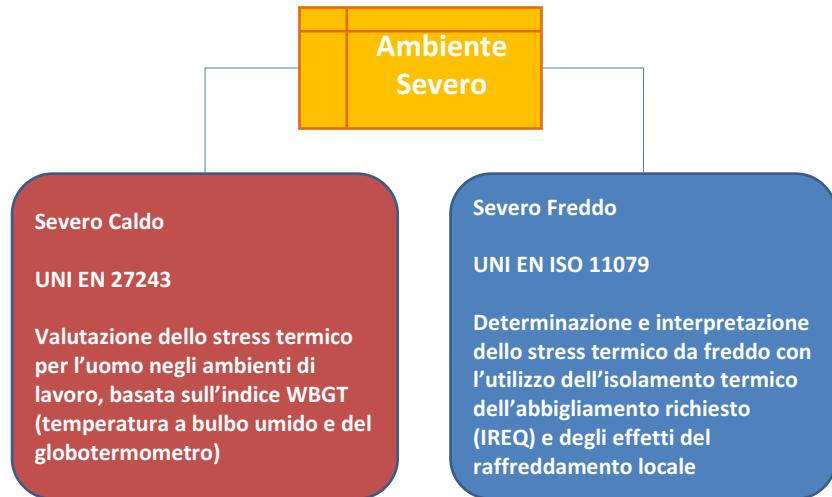
MICROCLIMA - Paolo Musi - M2 Engineering srl via Borsellino 2 Reggio Emilia tel 0522271574 fax 0522230997  
engi@m2servizi.it www.m2servizi.it

## La scelta del metodo di valutazione

L'ambiente oggetto di analisi è caratterizzato da esigenze produttive (lavori a ridosso di forni, accesso a celle frigo ,camere bianche, sale operatorie, lavori in esterno) che non consentono il raggiungimento del confort climatico dei lavoratori che vedrebbe in alternativa lo scadimento produttivo.



## Ambienti severi

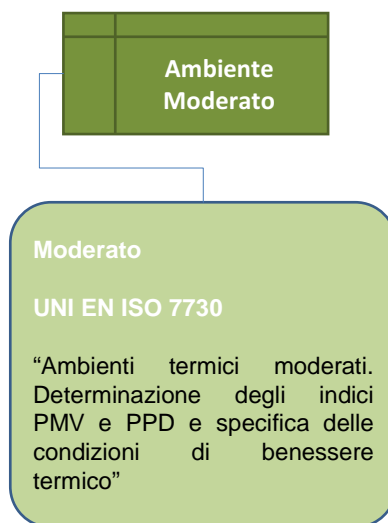


26/10/2011

MICROCLIMA - Paolo Musi - M2  
Engineering srl via Borsellino 2 Reggio  
Emilia tel 0522271574 fax 0522230997  
e-mail: [eng@m2servizi.it](mailto:eng@m2servizi.it) - [www.m2servizi.it](http://www.m2servizi.it)

11

## Ambienti moderati



26/10/2011

MICROCLIMA - Paolo Musi - M2  
Engineering srl via Borsellino 2 Reggio  
Emilia tel 0522271574 fax 0522230997  
e-mail: [eng@m2servizi.it](mailto:eng@m2servizi.it) - [www.m2servizi.it](http://www.m2servizi.it)

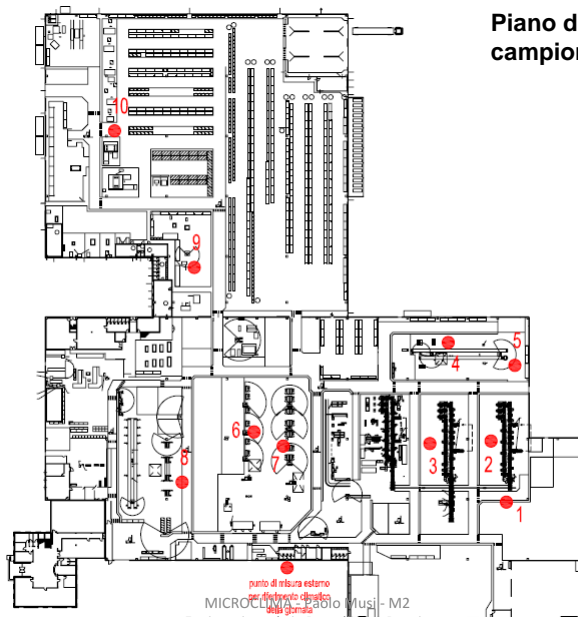
12

## Approccio criteri

- Individuazione degli aspetti che si ritiene possano essere critici
- Scelta di un n. adeguato di postazioni da rilevare rispetto alle mansioni da valutare
- Scelta della durata del campionamento e delle ore del giorno
- Scelta del periodo dell'anno che si intende campionare

MICROCLIMA - Paolo Musi - M2 Engineering srl via Borsellino 2 Reggio Emilia tel 0522271574 fax 0522230997 e.mail engi@m2servizi.it www.m2servizi.it

### Piano di campionamento



26/10/2011

punto di misura esterno  
 per riferimento climatico  
 della giornata  
 MICROCLIMA - Paolo Musi - M2  
 Engineering srl via Borsellino 2 Reggio  
 Emilia tel 0522271574 fax 0522230997  
 e.mail engi@m2servizi.it www.m2servizi.it

14

## Esempio: Piano di campionamento

Le postazioni di misurazione sono identificative delle aree in cui gli addetti svolgono la loro attività.

Nella tabella sono indicate tali postazioni, distribuite secondo l'ordine di rilevazione strumentale:


Postazione	Reparto / Linea	Addetto
Postazione 1	Linea automatica UGS	Assemblaggio GM
Postazione 2	Linea automatica FTG	Assemblaggio impianto frigorifero
Postazione 3	Linea LAD	Assemblaggio impianto frigorifero
Postazione 4	Stazione pompe a vuoto	Assemblaggio pompe a vuoto
Postazione 5	Imballaggio	Addetto imballaggio
Postazione 6	Reparto industriale	Frigorista 1
Postazione 7	Reparto industriale	Frigorista 2
Postazione 8	Area nuovi diesel	Addetto imballaggio
Postazione 9	Reparto tubisti	Piegatura tubi 1
Postazione 10	Carpenteria	Addetto punzonatrice

MICROCLIMA - Paolo Musi - M2 Engineering srl via Borsellino 2 Reggio Emilia tel 0522271574 fax 0522230997 e.mail engi@m2servizi.it www.m2servizi.it

## punti di campionamento



## La strumentazione per le misure

Marca	Modello	Parametri rilevati
	HD 32.1	Temperatura globo termometrica Temperatura di bulbo umido a ventilazione naturale Temperatura ambiente Pressione atmosferica Umidità relativa Velocità dell'aria

26/10/2011

MICROCLIMA - Paolo Musi - M2  
 Engineering srl via Borsellino 2 Reggio  
 Emilia tel 0522271574 fax 0522230997  
 e.mail engi@m2servizi.it www.m2servizi.it

17

26/10/2011

18

## Sonda globotermometro



Impiegata per il calcolo della temperatura media radiante e dell'indice WBGT

MICROCLIMA - Paolo Musi - M2 Engineering srl via Borsellino 2 Reggio Emilia tel 0522271574 fax 0522230997 e.mail  
 engi@m2servizi.it www.m2servizi.it

## Sonda a filo caldo omnidirezionale



Impiegata per il calcolo della velocità dell'aria

## Sonda per la misura della temperatura radiante



Impiegata per il calcolo dell'indice WBGT

## Sonda a bulbo umido a ventilazione naturale



Impiegata per il calcolo dell'indice WBGT

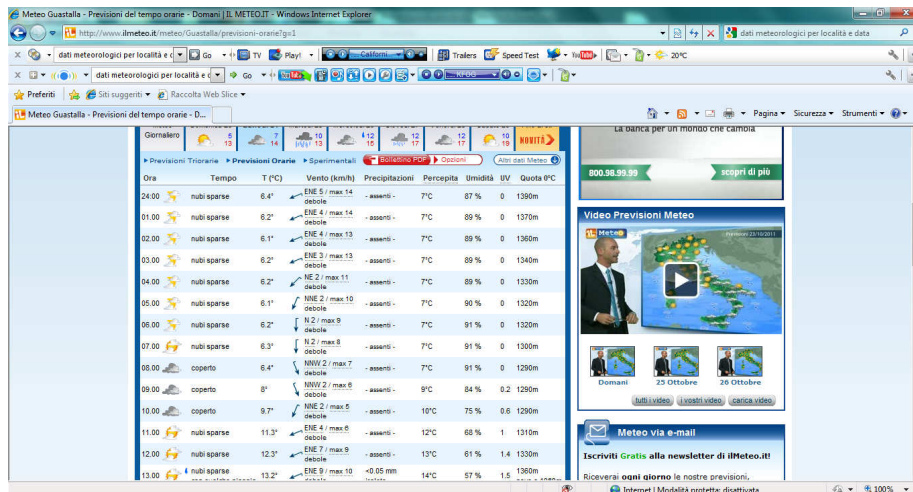
## Alcune considerazioni circa i campioni

La durata campionamento probabilmente evidenzierà un diverso livello dei parametri campionati nel corso della giornata

Per essere significativo è possibile che io debba devo definire il n. di campioni per ciascuna postazione analizzata

Può esser necessario associare parametri climatici della zona in esterno ai dati del rilievo

I dati meteo ad esempio  
<http://www.ilmeteo.it/meteo/Guastalla/previsioni-orarie?g=1>



26/10/2011

MICROCLIMA - Paolo Musi - M2  
 Engineering srl via Borsellino 2 Reggio  
 Emilia tel 0522271574 fax 0522230997  
 e mail [engi@m2servizi.it](mailto:engi@m2servizi.it) [www.m2servizi.it](http://www.m2servizi.it)

23

## Case History

### Azienda settore metalmeccanico

Attività leggere relative a:

- Uffici
- Lavorazione di lamiere (leggere) taglio, piegatura, stampaggio
- Saldatura circuiti
- Realizzazione di quadri e cablaggi elettrici
- Assemblaggi su isole di semilavorati
- assemblaggio componenti in linea
- magazzinaggio

26/10/2011

MICROCLIMA - Paolo Musi - M2  
 Engineering srl via Borsellino 2 Reggio  
 Emilia tel 0522271574 fax 0522230997  
 e mail [engi@m2servizi.it](mailto:engi@m2servizi.it) [www.m2servizi.it](http://www.m2servizi.it)

24

## Scelta del tipo di ambiente

.....  
.....

26/10/2011

MICROCLIMA - Paolo Musi - M2  
Engineering srl via Borsellino 2 Reggio  
Emilia tel 0522271574 fax 0522230997  
e.mail engi@m2servizi.it www.m2servizi.it

25

26/10/2011

26

## Valutazione del rischio in ambiente moderato

**UNI EN ISO 7730**  
**Ergonomia degli ambienti termici**  
**Determinazione analitica e interpretazione del benessere**  
**termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri**  
**di benessere termico locale**

MICROCLIMA - Paolo Musi - M2 Engineering srl via Borsellino 2 Reggio Emilia tel 0522271574 fax 0522230997 e.mail engi@m2servizi.it  
www.m2servizi.it

# UNI EN ISO 7730

*Ergonomia degli ambienti termici  
Determinazione analitica e interpretazione del benessere  
termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri  
di benessere termico locale*

La norma fornisce metodi per prevedere la sensazione termica globale ed il grado di disagio (insoddisfazione termica) delle persone esposte ad ambienti termici moderati.

La sensazione termica dell'uomo è legata al bilancio di energia termica sull'intero corpo.

## Benessere termico

**“L’uomo è in equilibrio termico quando l’energia termica generata all’interno del corpo è uguale all’energia dispersa nell’ambiente” (EN ISO 7730, 2005)**

## condizioni di applicabilità ISO 7730

Il metodo di valutazione è applicabile ad uomini e donne in salute esposti ad ambienti chiusi.

Condizioni specifiche sono che In questi ambienti:

- 1) non vi devono essere fattori che precludono il potenziale raggiungimento del benessere termico
- 2) le deviazioni rispetto alle condizioni di benessere termico devono essere di piccola entità
- 3) I criteri enunciati dalla norma sono impiegabili nella progettazione di ambienti nuovi e nella valutazione di quelli esistenti.

## COMFORT TERMICO

Il comfort termico è quello stato psico-fisico in cui il soggetto esprime soddisfazione nei riguardi del microclima

OPPURE

la condizione in cui il soggetto non ha né sensazione di caldo né sensazione di freddo, condizione chiamata anche neutralità termica.

Un ambiente è definito ACCETTABILE quando sono contemporaneamente verificate le condizioni di comfort globale e locale:

- 1) Comfort termico globale (corpo intero)
- 2) Comfort termico locale (alcune zone del corpo).

## Iniziare la valutazione

26/10/2011

MICROCLIMA - Paolo Musi - M2  
Engineering srl via Borsellino 2 Reggio  
Emilia tel 0522271574 fax 0522230997  
e.mail.engi@m2servizi.it www.m2servizi.it

31

## Valutare bilancio termico e sensazione termica

Si deve considerare che bilancio termico dei soggetti esposti a fattori microclimatici è influenzato da:

**1)attività fisica**

**2)abbigliamento**

**3)parametri ambientali (temperatura dell'aria, temperatura media radiante, velocità dell'aria e umidità dell'aria).**

*Una volta che questi fattori siano stati stimati o misurati, è possibile prevedere la sensazione termica del corpo nel suo complesso (benessere termico).*

26/10/2011

MICROCLIMA - Paolo Musi - M2  
Engineering srl via Borsellino 2 Reggio  
Emilia tel 0522271574 fax 0522230997  
e.mail.engi@m2servizi.it www.m2servizi.it

32

## Individuazione del benessere termico mediante i calcoli

La determinazione analitica del benessere termico in base alla ISO 7730, avviene mediante il calcolo di due indicatori, fra loro direttamente correlati:

1. PMV (voto medio previsto)
2. PPD (percentuale prevista di insoddisfatti).

## Come determinare il PMV

Parametri di tipo deterministico

## VOTO MEDIO PREVISTO (PMV)

Il **PMV** (voto medio previsto) è un indice che prevede il valore medio dei voti di un gruppo di persone sulla base di una scala di sensazione termica a 7 punti basato sul bilancio di energia termica sul corpo umano.

*In un ambiente moderato, il sistema di termoregolazione del corpo umano provvede automaticamente a modificare la temperatura della pelle e la secrezione di sudore per mantenere l'equilibrio termico*

## Scala di sensazione termica a sette punti

**+3 Molto caldo**

**+2 Caldo**

**+1 Abbastanza caldo**

**0 Né caldo né freddo**

**-1 Abbastanza freddo**

**-2 Freddo**

**-3 Molto freddo**

## Parametri per il calcolo del PMV

Il PMV può essere calcolato per differenti combinazioni di metabolismo energetico, isolamento dell'abbigliamento, temperatura dell'aria, temperatura media radiante, velocità dell'aria ed umidità dell'aria (vedere ISO 7726).

Quantità	Simbolo	Unità di misura
temperatura dell'aria	$t_a$	°C o K
temperatura media radiante	$t_r$	°C o K
pressione parziale del vapore acqueo	$p_a$	Pa (1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup> )
velocità relativa dell'aria	$v_{ar}$	m/s
attività metabolica (o dispendio metabolico o metabolismo energetico)	$M$	W/m <sup>2</sup> o <i>met</i> (1 <i>met</i> = 58,2 W/m <sup>2</sup> pari a 104,8 W per la superficie corporea standard di un individuo adulto pari a 1,8 m <sup>2</sup> )
isolamento termico del vestiario	$I_{cl}$	m <sup>2</sup> K/W o <i>clo</i> (1 <i>clo</i> = 0,155 m <sup>2</sup> K/W)

MICROCLIMA - Paolo Musi - M2 Engineering srl via Borsellino 2 Reggio Emilia tel 0522271574 fax 0522230997 e.mail engi@m2servizi.it www.m2servizi.it

## Intervalli di applicabilità dei parametri del PMV

L'indice dovrebbe essere usato solo per valori di PMV compresi tra -2 e +2 e quando i sei parametri principali sono compresi nei seguenti intervalli:

Grandezza fisica	Simbolo	Intervallo utile	Unità di misura
Temperatura dell'aria	$t_a$	+10 ÷ +30	°C
Temperatura media radiante	$t_{rm}$	+10 ÷ +40	°C
Pressione parziale del vapore acqueo	$p_a$	0 ÷ 2700	Pa
Velocità relativa dell'aria	$v_a$	0 ÷ 1	m/s
Attività o dispendio metabolico	$M$	0,8 ÷ 4	<i>met</i>
Isolamento termico del vestiario	$I_{cl}$	0 ÷ 2	<i>clo</i>

MICROCLIMA - Paolo Musi - M2 Engineering srl via Borsellino 2 Reggio Emilia tel 0522271574 fax 0522230997 e.mail engi@m2servizi.it www.m2servizi.it

## Parametri inerenti l'attività fisica

### attività metabolica

L'energia metabolica, anche detta tasso metabolico o metabolismo, è il motore del corpo ed il suo ammontare dipende dall'attività muscolare.

Rif. **APPENDICE B METABOLISMO ENERGETICO PER DIVERSE ATTIVITÀ**  
ISO 8996

## UNI EN 27243

Classe	Valore da usare per calcolo del tasso metabolico		Esempi
	W/m <sup>2</sup>	W	
0 A riposo	65	117	Riposo
1 Tasso metabolico basso	100	180	<b>Seduto a proprio agio:</b> lavoro manuale leggero (scrittura, battitura a macchina, disegno, taglio, contabilità); lavoro con mani e braccia (piccoli utensili, ispezione, montaggio o cernita di materiale leggero); lavoro con braccia e gambe (guida di un veicolo in condizioni normali, manovra di un pedale o di interruttore con i piedi). <b>In piedi:</b> lavoro con trapano (piccoli pezzi); fresatrice (piccoli pezzi); avvolgimento bobine; avvolgimento piccole armature; lavoro con macchine di piccola potenza; passeggiare (velocità fino a ).
2 Tasso metabolico moderato	165	297	Lavoro sostenuto con mani e braccia: (martellare chiodi, limare); lavoro con braccia e gambe (guida di autocarri fuori strada, trattori o macchine per costruzione); lavoro con braccia e tronco (lavoro con martello pneumatico, montaggio trattori, intonacare, movimentazione intermittente di materiale moderatamente pesante, sarchiare, zappare, raccogliere frutta o verdura); spingere o tirare carri leggeri o carrie; camminare a velocità compresa tra 3,5 e ; fucinare.
3 Tasso metabolico elevato	230	414	Lavoro intenso con braccia e tronco; portare materiale pesante; scavare con pala; lavorare con martello; segare, piallare o scalpellare legno duro; tosare l'erba a mano; scavare; camminare ad una velocità tra 5,5 e . Spingere o tirare carri e carrie con carichi pesanti; sbavare pezzi fusi; disporre blocchi di cemento.
4 Tasso metabolico molto elevato	290	522	Attività molto intensa a ritmo da veloce a massimo; lavorare con la scure; scavare in modo intenso; salire scale o rampe; camminare velocemente a piccoli passi; correre; camminare a velocità superiore a .

## Case History: attribuzione dell'attività metabolica ai soggetti

<i>Tipo di attività M</i>	<i>W/m<sup>2</sup></i>
Tasso metabolico basso	100
<b>Attività metabolica [met ]</b>	<b>1,72</b>

È ragionevole attribuire un tasso metabolico moderato (100 w/m2) a tutte le mansioni che prevedono lavoro in piedi in postazioni fisse senza movimentazione di carichi e con manipolazioni leggere.

MICROCLIMA - Paolo Musi - M2 Engineering srl via Borsellino 2 Reggio Emilia tel 0522271574 fax 0522230997 e.mail engi@m2servizi.it www.m2servizi.it

Impostazione dell'attività e della resistenza termica dell'abbigliamento

**Abbigliamento** **Attività**

**Attività**

☒ Selezione per attività tipiche  
☐ Selezione per occupazione

**Parametro aggiuntivo - Attività**

[Descrizione]

En.met. 100 W/m2 Rend. Valore] %

**Attività base**

- Camminare in piano lungo il sentiero
- Camminare in salita, 3 km/h
- Camminare in discesa, 5 km/h
- Salire una scala (0,172 m/scalino)
- Scendere una scala (0,172 m/scalino)
- Trasportare un carico in piano, 4 km/h
- Professioni - Industria delle costruzioni
- Professioni - Industria siderurgica
- Altoforno
- Formatura (a mano)
- Formatura a macchina
- Rifinitura
- Professioni - Industria forestale
- Professioni - Agricoltura
- Lavori Vari
- Concimare un campo
- Professioni - Sport
- Professioni - Lavori domestici

**Valori limite di en. termica metabolica da**  
**Valori limite di rendimento meccanico da**

**Ambiente**

☒ Ambiente moderato  
☐ Ambiente severo caldo  
☐ Ambiente severo freddo

**Tabella riepilogativa**

**Resistenza termica**

0 clo

0 ≤ clo ≤ 2

0 m2C/W

0 ≤ m2C/W ≤ 0,31

Azzera

**Energia termica metabolica**

1,72 met

0,8 ≤ met ≤ 4

100 W/m2

46,52 ≤ m2C/W ≤ 232,6

**Rendimento meccanico**

0 %

0 ≤ % ≤ 25

Azzera

Applica Esci

MICROCLIMA - Paolo Musi - M2 Engineering srl via Borsellino 2 Reggio Emilia tel 0522271574 fax 0522230997 e.mail engi@m2servizi.it www.m2servizi.it

## Parametri inerenti l'abbigliamento

### *resistenza termica*

26/10/2011

MICROCLIMA - Paolo Musi - M2  
Engineering srl via Borsellino 2 Reggio  
Emilia tel 0522271574 fax 0522230997  
e-mail: engi@m2servizi.it - www.m2servizi.it

43

## Il vestiario

Capo di abbigliamento		I <sub>cl</sub> (clo)
Da lavoro	Mutande, tuta da lavoro, calzini, scarpe	0,70
	Mutande, camicia, pantaloni, calzini, scarpe	0,75
	Mutande, camicia, pantaloni, giacca, calzini, scarpe	0,90
	Biancheria intima a maniche e gambe corte, camicia, pantaloni, giacca, calzini, scarpe	1,00
	Biancheria intima a maniche e gambe corte, camicia, pantaloni, giacca con imbottitura pesante, tuta, calzini, scarpe	1,85
	Biancheria intima a maniche e gambe lunghe, maglione pesante, pantaloni pesanti, giacca termica con imbottitura pesante, calzini, scarpe	2,20
Giornaliero	Slip, maglietta, pantaloncini, calzini leggeri, sandali	0,30
	Slip, camicia a maniche corte, gonna, calze, sandali	0,55
	Mutande, camicia, pantaloni leggeri, calzini, scarpe	0,60
	Slip, sottoveste, calze, abito, scarpe	0,70
	Slip, camicia, gonna, maglione a girocollo, calzettoni spessi al ginocchio, scarpe	0,90
	Slip, camicia, pantaloni, giacca, calzini, scarpe	1,00
	Biancheria intima a maniche e gambe lunghe, camicia, pantaloni, maglione, giacca, calzini, scarpe	1,30
	Biancheria intima a maniche e gambe corte, camicia, pantaloni, gilet, giacca, cappotto, calzini, scarpe	1,50

26/10/2011

MICROCLIMA - Paolo Musi - M2  
Engineering srl via Borsellino 2 Reggio  
Emilia tel 0522271574 fax 0522230997  
e-mail: engi@m2servizi.it - www.m2servizi.it

44

## Case History: attribuzione della resistenza termica del vestiario

Tipo di vestiario	$I_{clu}$ [clo]
Slip	0,03
Calzini leggeri	0,02
Maglia a maniche corte	0,09
Pantaloni - Leggeri	0,20
Scarpe a suola spessa	0,04
<b>Resistenza Termica Totale - <math>I_{cl}</math> [clo]</b>	<b>0,48</b>

MICROCLIMA - Paolo Musi - M2 Engineering srl via Borsellino 2 Reggio Emilia tel 0522271574 fax 0522230997 e.mail engi@m2servizi.it www.m2servizi.it

Impostazione dell'attività e della resistenza termica dell'abbigliamento

**Abbigliamento** **Attività**

**Composizione abbigliamento**

☒ Capi dettagliati ☐ Abbigliamento da lavoro  
☐ Capi singoli tipici ☐ Abbigliamento giornaliero

**Parametro aggiuntivo - Abbigliamento**

[Descrizione]

Resistenza termica [Valore] clo

**Intimo**

Intimo maglie  
 reggiseno  
 sotto gonna 1/2  
 sotto gonna lunga  
 camicia senza maniche  
 camicia senza maniche  
 maglietta  
 maglietta  
 camicia manica lunga  
 maglietta  
 camicia, manica lunga  
 camicia, manica lunga  
 camicia, manica lunga  
 camicia, manica lunga  
 camicia, manica lunga

**Camicie**

Tipo: Maglietta/trama  
 Copertura: 40 %  
 Composizione: 100% cotone  
 Resistenza termica: 0,08 CLO

**Tabella riepilogativa**

Resistenza termica  
 0,43 clo  
 0 ≤ clo ≤ 2  
 0,06665 m<sup>2</sup>C/W  
 0 ≤ m<sup>2</sup>C/W ≤ 0,31

Energia termica metabolica  
 1,72 met  
 0,8 ≤ met ≤ 4  
 100 W/m<sup>2</sup>  
 46,52 ≤ m<sup>2</sup>C/W ≤ 232,6

Rendimento meccanico  
 0 %  
 0 ≤ % ≤ 25

Resistenza termica: 0,43 CLO  
 0 ≤ clo ≤ 2  
 0,06665 m<sup>2</sup>C/W  
 0 ≤ m<sup>2</sup>C/W ≤ 0,31

Applica Esci

MICROCLIMA - Paolo Musi - M2 Engineering srl via Borsellino 2 Reggio Emilia tel 0522271574 fax 0522230997 e.mail engi@m2servizi.it www.m2servizi.it

## Case History misura parametri ambientali (temperatura dell'aria, temperatura media radiante, velocità dell'aria e umidità dell'aria).

MICROCLIMA - Paolo Musi - M2 Engineering srl via Borsellino 2 Reggio Emilia tel 0522271574 fax 0522230997 e.mail  
engi@m2servizi.it www.m2servizi.it

## Esempio: scarico rilievi

n.	Acquisizione	Tw ( °C )	Tg ( °C )	Ta ( °C )	Pr ( hPa )	RH ( % )	Va ( m/s )	Tr ( °C )	WBGT-i ( °C )	WBGT-o ( °C )
1	Date=2011/07/11 09:26:33	22,2	28	27,2	1011,6	61,7	0,11	28,5	23,9	23,9
2	Date=2011/07/11 09:31:33	22,2	28,2	27,5	1011,7	60,7	0,14	28,7	24	23,9
3	Date=2011/07/11 09:36:33	22,3	28,2	27,6	1011,7	60,4	0,25	28,9	24	24
4	Date=2011/07/11 09:41:33	22,1	28,2	27,5	1011,7	60,2	0,38	29,1	23,9	23,9
5	Date=2011/07/11 09:46:33	22,2	28,2	27,5	1011,8	60,5	0,21	28,9	24	24
6	Date=2011/07/11 09:51:33	22,3	28,4	27,7	1011,8	60,1	0,25	29	24,1	24,1
7	Date=2011/07/11 09:56:33	22,2	28,3	27,6	1011,8	60,4	0,22	29	24	24
8	Date=2011/07/11 10:01:33	22,1	28	27,3	1011,8	61,7	0,45	29	23,8	23,8
9	Date=2011/07/11 10:06:33	22,1	27,8	27,4	1011,8	60,8	0,29	28,4	23,8	23,8
10	Date=2011/07/11 10:11:33	22,2	27,8	27,3	1011,8	61,6	0,29	28,3	23,9	23,8
11	Date=2011/07/11 10:16:33	22	27,8	27,3	1011,8	61	0,26	28,3	23,7	23,7
12	Date=2011/07/11 10:21:33	22,1	27,7	27,3	1011,9	61,5	0,31	28,2	23,8	23,8
13	Date=2011/07/11 10:26:33	22,4	28,1	27,6	1011,9	61	0,1	28,3	24,1	24
14	Date=2011/07/11 10:31:33	22,3	28,5	27,8	1011,9	59,8	0,42	29,4	24,2	24,1
15	Date=2011/07/11 10:36:33	22,4	28,6	28	1011,9	59,8	0,32	29,4	24,2	24,2
16	Date=2011/07/11 10:41:33	22,2	28,7	28	1011,9	58,7	0,26	29,5	24,2	24,1
17	Date=2011/07/11 10:46:33	22,4	28,8	28,1	1011,9	58,8	0,22	29,5	24,3	24,3
18	Date=2011/07/11 10:51:33	22,4	28,8	28	1011,9	59,2	0,26	29,6	24,3	24,2
19	Date=2011/07/11 10:56:33	22,5	28,9	28,2	1011,8	58,2	0,22	29,5	24,4	24,3
20	Date=2011/07/11 11:01:33	22,5	28,9	28,2	1011,8	57,8	0,3	29,7	24,4	24,3
21	Date=2011/07/11 11:06:33	22,5	29	28,4	1011,8	58,2	0,34	29,7	24,5	24,4
22	Date=2011/07/11 11:11:33	22,5	29,1	28,5	1011,8	57,5	0,51	30	24,5	24,4
23	Date=2011/07/11 11:16:33	22,5	29,2	28,6	1011,8	57,8	0,17	29,6	24,5	24,5
24	Date=2011/07/11 11:21:33	22,6	29,3	28,6	1011,8	57,1	0,22	29,8	24,6	24,6
Statistiche										
Valore Massimo	22,2	32,4	32,2	1011,9	61,7	0,68	32,7	25,7	25,7	ERR
Valore Minimo	21,7	27,7	27,2	1009,4	36,1	0	28,2	23,7	23,7	ERR
Valore Medio	22,3	28,4	28,1	1011,8	60,4	0,32	29,1	24,3	24,3	ERR
Deviazione Standard	0,3081	1,4537	1,5586	0,2139	0,2259	0,2224	1,3224	0,5767	0,5799	ERR

## Case History: estratto postazioni di misura parametri ambientali

Misura n°	Postazione	Valori	Tw [°C]	Tg [°C]	Ta [°C]	Pr [hPa]	RH [%]	Va [m/s]	Tr [°C]
1	Postazione 1	Valore Massimo	23,5	32,7	32,3	1010,3	43,1	0,4	33,3
		Valore Minimo	23,2	32,6	32,3	1010,3	42,0	0,0	32,8
		Valore Medio	23,4	32,7	32,3	1010,3	42,6	0,2	33,0
		Deviazione Standard	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1	0,1
2	Postazione 2	Valore Massimo	23,1	32,6	32,4	1010,4	43,7	0,9	33,5
		Valore Minimo	22,3	32,3	31,8	1010,4	41,9	0,0	32,6
		Valore Medio	22,7	32,5	32,0	1010,4	42,7	0,4	33,1
		Deviazione Standard	0,2	0,1	0,2	0,0	0,4	0,3	0,3
3	Postazione 3	Valore Massimo	23,7	32,6	32,1	1010,4	45,9	1,0	33,6
		Valore Minimo	23,1	32,1	31,8	1010,4	44,7	0,1	32,3
		Valore Medio	23,3	32,3	31,9	1010,4	45,3	0,3	32,7
		Deviazione Standard	0,2	0,2	0,1	0,0	0,4	0,2	0,3

26/10/2011

MICROCLIMA - Paolo Musi - M2  
Engineering srl via Borsellino 2 Reggio  
Emilia tel 0522271574 fax 0522230997  
e-mail: engi@m2servizi.it www.m2servizi.it

49

## La sintesi dei risultati

26/10/2011

MICROCLIMA - Paolo Musi - M2  
Engineering srl via Borsellino 2 Reggio  
Emilia tel 0522271574 fax 0522230997  
e-mail: engi@m2servizi.it www.m2servizi.it

50

# Step 1 - Calcolo dell'indice PMV

## (voto medio previsto)

$$PMV = [0,303 \times \exp(-0,036 \times M) + 0,028] \times$$

$$\left\{ \begin{aligned} &(M - W) - 3,05 \times 10^{-3} \times [5.733 - 6,99 \times (M - W) - p_a] - 0,42 \times [(M - W) - 58,15] \\ &- 1,7 \times 10^{-5} \times M \times (5.867 - p_a) - 0,0014 \times M \times (34 - t_a) \\ &- 3,96 \times 10^{-8} \times f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} \times h_c \times (t_{cl} - t_a) \end{aligned} \right\}$$

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 \times (M - W) -$$

$$-f_{cl} \times \{3,96 \times 10^{-8} \times f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] \times f_{cl} \times h_c \times (t_{cl} - t_a)\}$$

$$h_c = \begin{cases} 2,38 \times |t_{cl} - t_a|^{0,25} & \text{per } 2,38 \times |t_{cl} - t_a|^{0,25} > 12,1 \times \sqrt{v_{ar}} \\ 12,1 \times \sqrt{v_{ar}} & \text{per } 2,38 \times |t_{cl} - t_a|^{0,25} < 12,1 \times \sqrt{v_{ar}} \end{cases}$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 I_{cl} & \text{per } I_{cl} \leq 0,078 \text{ m}^2 \times \text{K/W} \\ 1,05 + 0,645 I_{cl} & \text{per } I_{cl} > 0,078 \text{ m}^2 \times \text{K/W} \end{cases}$$

dove:

$M$  è il metabolismo energetico, in watt per metro quadrato ( $\text{W/m}^2$ );

$W$  è la potenza meccanica efficace, in watt per metro quadrato ( $\text{W/m}^2$ );

$I_{cl}$  è l'isolamento termico dell'abbigliamento, in metro quadrato kelvin per watt ( $\text{m}^2 \times \text{K/W}$ );

$f_{cl}$  è il coefficiente di area dell'abbigliamento;

$t_a$  è la temperatura dell'aria, in gradi Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ );

$\bar{t}_r$  è la temperatura media radiante, in gradi Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ );

$v_{ar}$  è la velocità relativa dell'aria, in metri al secondo, ( $\text{m/s}$ );

$p_a$  è la pressione parziale del vapor d'acqua, in pascal, ( $\text{Pa}$ );

$h_c$  è il coefficiente di scambio termico convettivo, in watt per metro quadrato kelvin

( $\text{W/m}^2 \times \text{K}$ )

$t_{cl}$  è la temperatura superficiale dell'abbigliamento, in gradi Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ );

MICROCLIMA - Paolo Musi - M2 Engineering srl via Borsellino 2 Reggio Emilia tel 0522271574 fax 0522230997 e.mail engi@m2servizi.it www.m2servizi.it

# Step 2 - Determinazione del PPD

## (percentuale prevista di insoddisfatti)

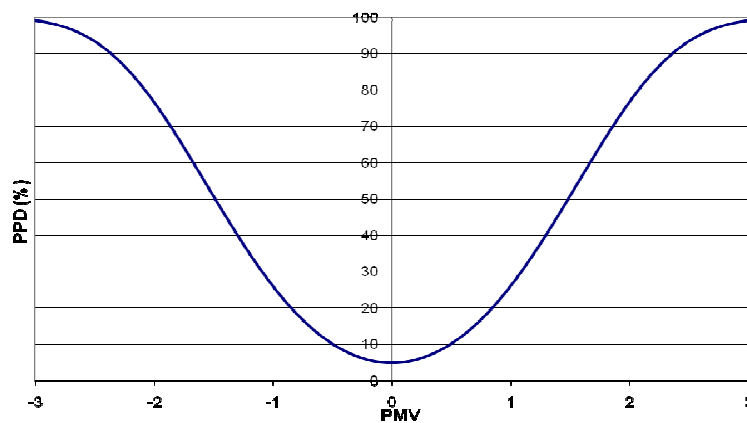
## Percentuale Prevista di Insoddisfatti (PPD)

La soluzione dell'equazione ci consente di individuare il valore medio attribuito dai soggetti alla sensazione termica nei confronti dell'ambiente di lavoro (PMV).

Questo valore numerico di indice PMV compreso tra +3 e -3 è poi correlato al grado di insoddisfazione dei soggetti stessi, individuando la percentuale di soggetti insoddisfatti.

Viene definito "soggetto insoddisfatto" quello che, nell'ambiente in esame si dichiarerebbe decisamente insoddisfatto, ossia voterebbe -3, -2 oppure +2, +3.

MICROCLIMA - Paolo Musi - M2 Engineering srl via Borsellino 2 Reggio Emilia tel 0522271574 fax 0522230997 e.mail engi@m2servizi.it www.m2servizi.it



Percentuale prevista di insoddisfatti (PPD) in relazione al voto medio previsto (PMV)

MICROCLIMA - Paolo Musi - M2 Engineering srl via Borsellino 2 Reggio Emilia tel 0522271574 fax 0522230997 e.mail engi@m2servizi.it www.m2servizi.it

## Esempio: valutazione degli indici PMV e PPD

Misura n°	Descrizione	PMV	PPD	Sensazione percepita
1	Postazione 1	2,1	82,6	CALDO
2	Postazione 2	2,1	79,5	CALDO
3	Postazione 3	2,0	78,7	CALDO
4	Postazione 4	1,6	58,8	CALDO
5	Postazione 5	1,9	70,9	CALDO
6	Postazione 6	1,9	73,3	CALDO
7	Postazione 7	1,9	72,2	CALDO
8	Postazione 8	2,1	79,2	CALDO
9	Postazione 9	2,0	77,3	CALDO
10	Postazione 10	2,0	75,3	CALDO

MICROCLIMA - Paolo Musi - M2 Engineering srl via Borsellino 2 Reggio Emilia tel 0522271574 fax 0522230997 e.mail engi@m2servizi.it www.m2servizi.it

## Per proseguire

## PMV oltre la soglia

*Quando l'indice PMV è superiore o uguale alla soglia di +2,0 / - 2,0 l'ambiente termico (che inizialmente abbiamo definito moderato) presenta gravi anomalie.*

*E' importante ricordare che la valutazione è prevista dal Dlgs 81/08.*

## Indice WBGT

*In tale condizione vi è anche un possibile rischio per la salute dei lavoratori. Anche se ciò risulta improprio poiché per definizione l'ambiente è di tipo moderato si può effettuare anche la verifica dell'indice WBGT .*

Questo parametro, è un indicatore di stress termico, la sua valutazione determina la possibile presenza di rischi immediati per la salute del lavoratore.

## Calcolo WBGT

L'indice WBGT, **parametro di riferimento per gli ambienti severi caldi**, viene definito dalla relazione:

Dove

$$WBGT = 0,7 \cdot t_w + 0,3 \cdot t_g$$

- Temperatura di bulbo bagnato a ventilazione naturale ( $t_w$ ) in °C
- Temperatura del globotermometro ( $t_g$ ) in °C

## Esempio: verifica WBGT

Il limite considerato per i lavoratori esaminati, acclimatati ed aventi classe metabolica 1 è 30°C.  
(norma UNI EN ISO 27243 – Appendice “A” – prospetto A.1)

Misura n°	Descrizione	WBGT (°C)	Limite (°C)	Valutazione
1	Postazione 1	26,2	30	ACCETTABILE
2	Postazione 2	25,7	30	ACCETTABILE
3	Postazione 3	26,0	30	ACCETTABILE
4	Postazione 4	25,3	30	ACCETTABILE
5	Postazione 5	25,9	30	ACCETTABILE
6	Postazione 6	26,1	30	ACCETTABILE
7	Postazione 7	26,0	30	ACCETTABILE
8	Postazione 8	26,0	30	ACCETTABILE
9	Postazione 9	25,9	30	ACCETTABILE
10	Postazione 10	25,7	30	ACCETTABILE

## norma UNI EN ISO 27243 – Appendice “A” – prospetto A.1

Classe di tasso metabolica	Tasso metabolico, $M$		Valore limite di WBGT			
	Relativa ad un'area unitaria di superficie della pelle $W/m^2$	Totale (per un'area media della superfi- cie della pelle di $1,8 m^2$ ) $W$	Persona acclimatata al calore  $^{\circ}C$		Persona non acclimatata al calore  $^{\circ}C$	
0 (a riposo)	$M \leq 65$	$M \leq 117$	33		32	
1	$65 < M \leq 130$	$117 < M \leq 234$	30		29	
2	$130 < M \leq 200$	$234 < M \leq 360$	28		26	
3	$200 < M \leq 260$	$360 < M \leq 468$	Aria stagnante 25	Aria non stagnante 26	Aria stagnante 22	Aria non stagnante 23
4	$M > 260$	$M > 468$	23	25	18	20

*Nota - I valori dati sono stati stabiliti prendendo come riferimento una temperatura rettale massima di  $38^{\circ}C$  per le persone in esame.*

26/10/2011

MICROCLIMA - Paolo Musi - M2  
Engineering srl via Borsellino 2 Reggio  
Emilia tel 0522271574 fax 0522230997  
e.mail engi@m2servizi.it www.m2servizi.it

61

26/10/2011

62

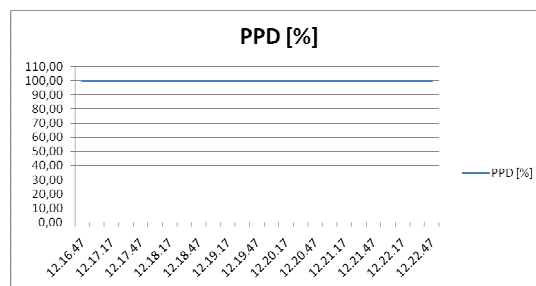
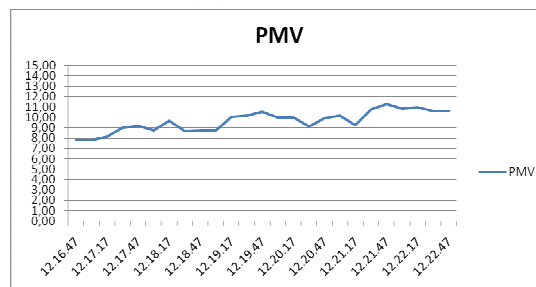
## Case History n. 2: AMBIENTE SEVERO CALDO

Postazione	Descrizione	Valore	PMV	PPD [%]	WBGT [ $^{\circ}C$ ]
P6	Linea 41 Spingitore	Medio	9,6	100	41,1
		Minimo	7,8	100	40,3
		Massimo	11,3	100	41,8

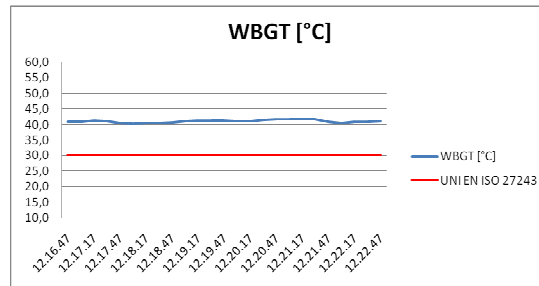
MICROCLIMA - Paolo Musi - M2 Engineering srl via Borsellino 2 Reggio Emilia tel 0522271574 fax 0522230997 e.mail  
engi@m2servizi.it www.m2servizi.it



MICROCLIMA - Paolo Musi - M2 Engineering srl via Borsellino 2 Reggio Emilia tel 0522271574 fax 0522230997 e.mail engi@m2servizi.it www.m2servizi.it



MICROCLIMA - Paolo Musi - M2 Engineering srl via Borsellino 2 Reggio Emilia tel 0522271574 fax 0522230997 e.mail engi@m2servizi.it www.m2servizi.it



L'andamento del WBGT indica un superamento del limite TLV pertanto si ritiene opportuno verificare gli indici di stress termico al fine di determinare i tempi massimi di esposizione del soggetto che opera nella postazione analizzata.

## PHS

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*

Con il metodo PHS si determinano i tempi di esposizione per i quali la sollecitazione fisiologica è accettabile (non sono prevedibili danni fisici). Questi tempi di esposizione sono detti *“tempi massimi ammissibili di esposizione”*.

## PHS

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*

Attraverso il metodo PHS sono state ottenute due stime indipendenti del tempo di esposizione massimo quotidiano all'ambiente in esame:

- tempo dopo il quale la temperatura raggiunge il valore limite (Dtre,max.)
- tempo dopo il quale la quantità di acqua complessivamente perduta supera il valore limite (Dmax95).

La durata del tempo di esposizione Idovrà quindi essere limitata ad un tempo massimo dato da:

$$D_{lim} = \min(D_{lim-tre} ; D_{lim-loss95})$$

### Esempio: determinazione dei tempi massimi di esposizione

Valori di stress termico	Valore	Unità
Temperatura rettale	44,6	°C
Perdita di acqua	7241	g
<b>Max tempo di esposizione ammesso per l'accumulo termico (Dlim)</b>	<b>31</b>	<b>Minuti</b>
<i>Max tempo di esposizione ammesso dopo il quale la temperatura rettale tre raggiunge il valore limite (Dlimtre)</i>	31	Minuti
<i>Max tempo di esposizione ammesso per la perdita di acqua, 95% della popolazione lavorativa (Dlimloss95)</i>	254	Minuti