

**PAF-SEZIONE MICROCLIMA
VALUTAZIONE DEL RISCHIO**

AMBIENTI FREDDI

rev. 1 28/03/2019

L'esposizione ad ambienti freddi può comportare sia il raffreddamento del corpo nella sua interezza sia il raffreddamento di singole parti (soprattutto le estremità quali mani, piedi e testa), che può comportare il deterioramento delle capacità manuali o fisiche.

La norma di riferimento per la valutazione degli ambienti freddi è la UNI EN ISO 11079: "Ergonomia degli ambienti termici – Determinazione e interpretazione dello stress termico da freddo con l'utilizzo dell'isolamento termico dell'abbigliamento richiesto (IREQ) e degli effetti del raffreddamento locale".

La norma si applica ad esposizioni continue, intermittenti o occasionali; a lavori al chiuso o all'aperto. NON si applica per valutare effetti specifici associati a fenomeni meteorologici (es. precipitazioni) che sono valutati con altri metodi.

La norma valuta il:

- raffreddamento globale: relativo al corpo nella sua totalità, attraverso la quantificazione dell'indice IREQ;
- raffreddamento locale: è il raffreddamento di singole parti del corpo

La norma individua diversi tipi di raffreddamento locale:

Raffreddamento locale	Effetto	Valutazione
Convective cooling	Raffreddamento dovuto all'effetto del vento in presenza di bassa temperatura. Il vento accelera le perdite di calore. Rischio di raffreddamento per le parti non protette (viso e a volte mani).	Viene valutato attraverso la wind chill temperature
Conductive cooling	Raffreddamento da contatto con superfici fredde.	Far riferimento alla norma UNI EN ISO 13732 – 3 "Ergonomia degli ambienti termici. Metodi per la valutazione della risposta dell'uomo al contatto con le superfici. Parte 3: Superfici fredde"
Extremity cooling	Raffreddamento delle estremità (soprattutto dita delle mani e dei piedi) dovuto alla vasocostrizione.	Il raffreddamento delle estremità può essere prevenuto o ridotto utilizzando i guanti. Per i guanti di protezione far riferimento alla UNI EN 511 "Guanti di protezione contro il freddo".
Airway cooling	Raffreddamento delle prime vie respiratorie dovuto all'inalazione di aria a bassa temperatura, che può essere dannoso per i tessuti. Alti livelli di attività fisica rendono questo tipo di raffreddamento evidente perché coinvolgono grandi volumi di aria inspirata.	

2.1.1 RAFFREDDAMENTO GLOBALE

Valutazione dell'IREQ

La valutazione del raffreddamento globale è basata sulla quantificazione dell'indice IREQ e dell'eventuale tempo massimo di esposizione D_{lim} .

IREQ - Insulation Required è l'isolamento termico risultante richiesto nelle condizioni termiche in esame per mantenere il corpo in equilibrio termico per livelli accettabili di temperatura interna del corpo e di temperatura della pelle.

L'equilibrio termico può essere raggiunto a diversi livelli di attivazione del sistema di termoregolazione.

L'indice IREQ viene ricavato risolvendo l'equazione di bilancio termico rispetto a questo parametro, in due particolari condizioni di attivazione del sistema di termoregolazione, ottenendo due valori distinti $IREQ_{min}$ e $IREQ_{neutral}$ così definiti:

Valore di IREQ	Definizione	Condizione del sistema di termoregolazione	Condizioni analitiche impostate
$IREQ_{min}$	Isolamento termico minimo richiesto per mantenere il corpo in equilibrio termico per livelli subnormali di temperatura media interna corporea.	Condizione I – high strain condition condizione limite di inizio di attivazione del sistema di termoregolazione in cui l'equilibrio viene mantenuto attraverso il meccanismo della vasocostrizione in assenza di sudore. In questa condizione una persona percepirebbe la sensazione di "freddo".	- temperatura sup. della pelle $t_{sk} = 33,34 - 0.0354M$ - Frazione di pelle bagnata $w = 0.06$
$IREQ_{neutral}$	Isolamento termico richiesto per garantire l'equilibrio termico	Condizione I – low strain condition Condizione di neutralità termica con livelli normali di temperatura media interna.	- temperatura sup. della pelle $t_{sk} = (35.7 - 0.0285M)$ - Frazione di pelle bagnata $w = 0.001M$
Con $IREQ_{min} < IREQ_{neutral}$			

La valutazione mediante l'indice IREQ risulta affidabile quando si verificano le seguenti condizioni:

Parametri
$t_a \leq 10^\circ C$
$0,4m/s \leq v_a \leq 18m/s$
$I_{cl} > 0,078m^2K/W$ (0,5 clo)

La procedura è articolata nelle seguenti fasi:

- Valutazione dell'isolamento termico risultante $I_{cl,r}$ (UNI EN ISO 9920);
- Calcolo di $IREQ_{min}$ e $IREQ_{neutral}$;
- Confronto tra $I_{cl,r}$ e $IREQ_{min}$, $IREQ_{neutral}$

Si possono verificare 3 casi:

N°	Condizione	interpretazione	Azione	Necessario calcolare D_{lim} ?
1	$I_{cl,r} < IREQ_{min}$	Isolamento termico insufficiente	<ul style="list-style-type: none"> - Aumentare l'isolamento termico: l'abbigliamento non fornisce adeguato isolamento per prevenire il raffreddamento; - Dopo l'esposizione al freddo prevedere un periodo di ricovero per riportare il corpo in condizioni di equilibrio 	Si. Bisogna calcolare anche la durata del periodo di ricovero D_{rec}
2	$IREQ_{min} < I_{cl,r} < IREQ_{neutral}$	Isolamento termico sufficiente	<ul style="list-style-type: none"> - Nessuna azione ai fini del raffreddamento globale; - Valutazioni degli effetti dei raffreddamenti locali 	No
3	$I_{cl,r} > IREQ_{neutral}$	Isolamento termico eccessivo, rischio di sudorazione	Ridurre abbigliamento	No

- Nel caso di $I_{cl,r} < IREQ_{min}$ è necessario calcolare la durata limite di esposizione (D_{lim}) per prevenire il progressivo raffreddamento del corpo e del periodo di recupero (D_{rec}) necessario per ristabilire il normale equilibrio termico del corpo.

Calcolo della durata limite di esposizione D_{lim}

La durata limite di esposizione al freddo è definita come il massimo tempo di esposizione raccomandato all'ambiente in esame con l'abbigliamento selezionato.

Si calcola attraverso la relazione

$$D_{lim} = \frac{Q_{lim}}{S}$$

dove $Q_{lim} = 144KJ/m^2$

$S = M - W - E_{res} - C_{res} - E - R - C$ calcolata nelle condizioni ambientali in esame.

Calcolo del tempo di recupero D_{rec}

Il tempo necessario per il recupero dell'equilibrio termico in seguito all'esposizione ad ambiente freddo (D_{rec}) viene calcolato nello stesso modo di D_{lim} , sostituendo le condizioni ambientali che non sono più quelle dell'ambiente freddo in esame ma quelle del luogo dove avviene il recupero

$$D_{rec} = \frac{Q_{lim}}{S}$$

dove $Q_{lim} = 144KJ/m^2$

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

calcolata nelle condizioni ambientali del luogo dove avviene il recupero

2.1.2 RAFFREDDAMENTO LOCALE

• Raffreddamento locale dovuto al vento (convective cooling)

Tale tipo di raffreddamento viene valutato attraverso il calcolo della Wind Chill Temperature, definita come la temperatura dell'ambiente che, in presenza di una velocità del vento pari a 4,2 Km/h, produce lo stesso potere di raffreddamento (sensazione) dell'ambiente in esame.

La procedura è articolata nelle seguenti fasi:

- Calcolo della Wind Chill Temperature t_{wc} (attraverso la relazione 1 o la Tabella D.1)
- Noto il valore di t_{wc} si individua attraverso la Tabella D.2 la classificazione del rischio e si valutano i possibili effetti dovuti a questo tipo di raffreddamento locale.

Valutazione della Wind Chill Temperature (allegato D)

La Wind Chill Temperature può essere calcolata direttamente attraverso la seguente formula:

$$t_{wc} = 13,12 + 0,6215 \cdot t_a - 11,37 \cdot v_{10}^{0,16} + 0,3965 \cdot t_a \cdot v_{10}^{0,16}$$

dove v_{10} è la velocità del vento definita come il valore meteorologico standard misurato alla quota di 10 m dal livello del terreno.

Tale valore può essere ottenuto dalle stazioni meteo

Se si misura la velocità del vento v_a a livello del terreno, questa deve essere poi moltiplicata per 1,5 prima di inserire il dato nell'espressione;

oppure dalla tabella D.1 della UNI EN ISO 11079

Commentato [DFS1]: Non so se formalmente può essere riportata la Tabella

Tabella D.1

v_{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	-35	-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	-59	-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

Tabella d.2 della UNI EN ISO 11079

Classificazione del rischio	t_{wc} in °C	Effetti
1	da -10° a -24	Freddo non confortevole
2	da -25 a -34	Molto freddo, rischio di congelamento della pelle
3	da -35 a -59	Freddo pungente, la pelle esposta può congelare in 10 minuti
4	Da -60 in poi	Estremamente freddo, la pelle esposta può congelare in 2 minuti

• **Raffreddamento locale dovuto al contatto di superfici fredde (conductive cooling)**

Si fa riferimento alla norma UNI EN ISO 13732 - 3

• **Raffreddamento locale dovuto al raffreddamento delle estremità (extremity cooling)**

Questo tipo di raffreddamento è dovuto all'attivazione del meccanismo di vasocostrizione che richiama il sangue dalla periferia per riscaldare il "core" provocando il progressivo abbassamento delle temperature delle estremità del corpo (soprattutto delle dita delle mani e dei piedi).

Il raffreddamento delle estremità può essere prevenuto o ridotto utilizzando i guanti.

Per i guanti di protezione si può far riferimento alla UNI EN 511 "Guanti di protezione contro il freddo".

La Tabella B.1 dell'allegato B della norma UNI EN ISO 11079 riporta i seguenti valori di temperatura delle dita per le due condizioni fisiologiche considerate per la valutazione di IREQ.

	Condizione I – high strain condition	Condizione II – low strain condition
Temperatura delle dita	15	24

• **Raffreddamento locale dovuto al raffreddamento delle vie respiratorie (airway cooling)**

Questo tipo di raffreddamento locale viene valutato attraverso l'indicazione della temperatura dell'aria raccomandata per l'inhalazione.

Per temperature al di sotto dei -15°C, le protezioni alle vie respiratorie sono raccomandate per livelli di attività elevati (con crescenti volumi di ventilazione).

Per temperature al di sotto dei -30°C, le protezioni alle vie respiratorie sono fortemente raccomandate.

La Tabella B.1 dell'allegato B della norma UNI EN ISO 11079 riporta i seguenti valori di temperatura dell'aria per il tratto respiratorio per le due condizioni fisiologiche considerate per la valutazione di IREQ.

Tratto respiratorio	Condizione I – high strain condition	Condizione II – low strain condition
Attività leggera ($M \leq 115 W/m^2$)	$t_a = -40$	$t_a = -20$
Attività intensa ($M \leq 115 W/m^2$)	$t_a = -30$	$t_a = -15$