



## Sommario

1. Introduzione .....	3
2. Potenziali indicatori biometeorologici da utilizzare in ambito occupazionale per la valutazione del rischio associato al freddo .....	9
2.1 Wind Chill Temperature Index.....	10
2.1.1 Limiti e vantaggi di utilizzo dell'indicatore Wind Chill in ambito occupazionale .....	11
2.2 IREQ.....	11
2.2.1 Limiti e vantaggi di utilizzo dell'indicatore IREQ in ambito occupazionale .....	12
2.3 UTCI (descritto nel precedente report, ma in questo caso il riferimento è al freddo) .....	15
2.1.1 Limiti e vantaggi di utilizzo dell'indicatore UTCI in ambito occupazionale.....	17
3. Servizi previsionali rischio freddo esistenti.....	19
3.1 CLIMAPP .....	27
3.2 Il sistema prototipale del CNR-LaMMA di previsione dell'UTCI .....	28
4. Bibliografia .....	31

## 1. Introduzione

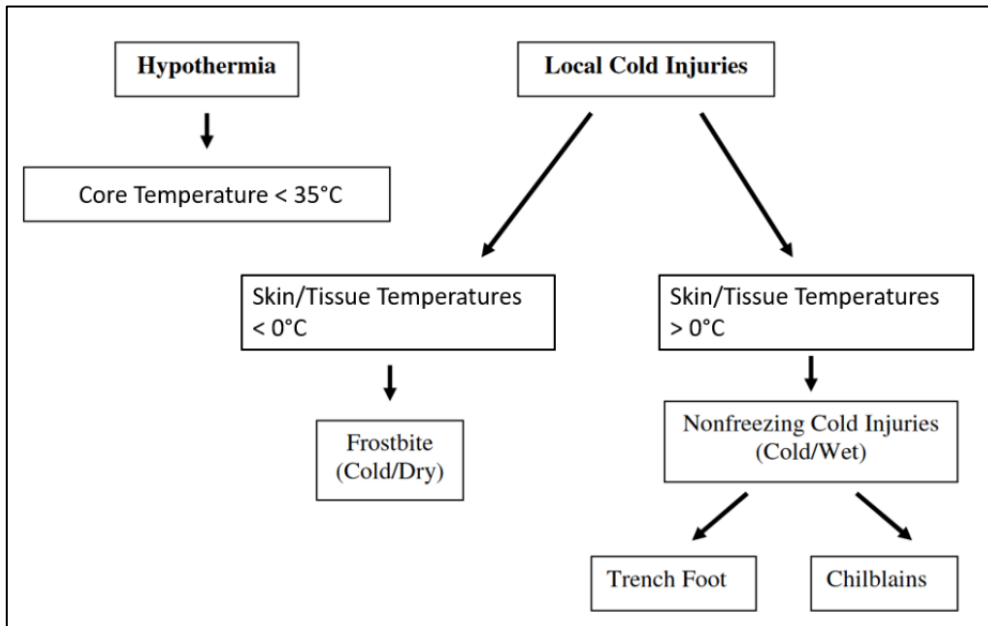


Workplace Safety:  
Definition of Cold  
Stress

## What is cold stress?

L'associazione epidemiologica tra alte temperature ed effetti sulla salute della popolazione lavorativa è stata ampiamente analizzata evidenziando che il caldo contribuisce in modo significativo all'aumento di infortuni sul lavoro (Marinaccio et al., 2019). Ciò è evidente, soprattutto, in settori occupazionali che vedono i lavoratori impegnati a svolgere le loro attività in ambienti outdoor o indoor non condizionati, a diretto contatto con macchinari che producono calore, oppure ancora in soggetti che svolgono mansioni per le quali è necessario un notevole dispendio metabolico, magari indossando indumenti o dispositivi di protezione individuale che non consentono una buona dispersione del calore metabolico prodotto. I problemi legati allo stress da caldo in ambito occupazionale sono inoltre in crescente aumento, soprattutto nelle nazioni che si affacciano sul Bacino del Mediterraneo che rappresenta una sorta di "hotspot" del cambiamento climatico, con un aumento delle temperature più marcato rispetto ad altre aree a parità di latitudine. Tuttavia, nonostante l'incremento delle temperature, e nonostante gli effetti del freddo siano molto meno indagati in ambito occupazionale, le basse temperature rappresentano ancora un serio rischio per i lavoratori, soprattutto in funzione della durata dell'esposizione, della tipologia dell'ambiente di lavoro, della mansione svolta e del tipo di abbigliamento indossato. Inoltre, fattori individuali come per esempio il numero di pause durante l'attività, l'età, il sesso e le condizioni di salute generali possono ulteriormente influire. In considerazione del cambiamento climatico, eventi di freddo intenso sono sempre più rari ma spesso molto intensi ed improvvisi con repentini abbassamenti termici che possono intervenire anche nell'arco di poche ore con importanti problemi di acclimatazione alle nuove condizioni termiche. Per quanto riguarda l'ambito occupazionale, il rischio freddo può riguardare sia i lavoratori outdoor e quindi direttamente esposti alle condizioni meteorologiche esterne (es. temperature basse, elevati tassi di umidità dell'aria, vento, pioggia, neve) come per esempio gli operatori aeroportuali, ecologici, forestali, le guardie giurate, i militari, sia

lavoratori indoor che svolgono la propria mansione in ambienti refrigerati (es. frigoriferi, congelatori, ecc..) come per esempio i dipendenti di supermercati. Secondo il “The National Institute for Occupational Safety” lo stress da freddo è una condizione che si verifica quando il corpo non può più mantenere la sua normale temperatura con effetti che possono portare da gravi lesioni fino a danni permanenti ai tessuti o addirittura alla morte (**Figura 1**).



**Figura 1.** Effetti del freddo (adattato da ACGIH TLV e BEI, fonte originale: Dipartimento dell'esercito degli Stati Uniti: prevenzione e gestione degli infortuni da freddo).

In particolare, merita distinguere tra il lavoro svolto in ambienti esterni, nei quali le condizioni ambientali possono variare anche in tempi brevi, ed ambienti interni dove le condizioni ambientali rimangono generalmente costanti e possono essere più facilmente controllate. Queste diverse condizioni, e quindi cause di stress, possono determinare differenti tipologie di disagio termico (**Figura 2**).

Tipologia di stress		Causa di stress
Raffreddamento globale	➔	Temperatura dell'aria Temperatura media radiante Velocità dell'aria
Raffreddamento delle estremità	➔	Grado igrometrico Metabolismo
Raffreddamento connettivo	➔	Temperatura dell'aria Velocità dell'aria
Raffreddamento per contatto	➔	Temperatura superficiale Abbigliamento
Raffreddamento respirato	➔	Temperatura dell'aria Metabolismo

**Figura 2.** Cause di stress e relativi effetti. Modificata da <https://www.certifico.com/sicurezza-lavoro/documenti-sicurezza/67-documenti-riservati-sicurezza/5371-valutazione-del-rischio-ambienti-freddi>

Utilizzando una combinazione di risposte comportamentali e fisiologiche, gli esseri umani sono in grado di mantenere una temperatura corporea (T<sub>core</sub>) di circa 37 °C (± 1 °C) e, in caso di basse temperature ambientali, il corpo è costretto a lavorare molto per mantenere tale intervallo, cercando di ridurre le perdite di calore ed aumentarne la produzione. In ambienti freddi, i vasi sanguigni della pelle e delle estremità si restringono per ridurre al minimo il raffreddamento del sangue e per mantenere caldi gli organi interni (core). L'esposizione continuata 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), con conseguente deterioramento delle capacità manuali o fisiche e la comparsa di sintomatologia più o meno pronunciata, fino al raggiungimento di gravi forme di ipotermia (**Tabella 1**).

Sintomi/lesioni	
<p><b>Ipotermia:</b> si ha quando il corpo umano è esposto a basse temperature che determinano una perdita di calore dal corpo più rapida di quanto esso sia in grado di produrlo, portando a un progressivo esaurimento del corpo. In questo caso la temperatura corporea troppo bassa colpisce il cervello, e può determinare la morte. L'ipotermia è definita come un corpo con una temperatura interna inferiore a 35 °C.</p>	<p>Fase iniziale</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tremore</li> <li>• Confusione/disorientamento</li> <li>• Fatica</li> <li>• Perdita di coordinamento</li> <li>• Fase avanzata</li> <li>• Brividi</li> <li>• Respiro e polso rallentati</li> <li>• Pupille dilatate</li> <li>• Pelle blu</li> <li>• • Perdita di conoscenza</li> </ul>
<p><b>Congelamento:</b> corrisponde al congelamento dei tessuti (la temperatura scende al di sotto di 0 °C) e provoca una perdita di sensibilità e colore. Le aree più colpite sono il naso, guance, mento, dita delle mani e dei piedi. Può causare danno tissutale permanente e in casi estremi può richiedere l'amputazione del tessuto interessato.</p>	<p>Flusso sanguigno ridotto a estremità (tessuti delle dita di mani e piedi potrebbero congelarsi)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Intorpidimento</li> <li>• Sensazione di formicolio o bruciore</li> <li>• Dolore</li> <li>• • Pelle cerata o bluastra</li> </ul>
<p><b>Piedi da trincea o da immersione:</b> condizione che si verifica quando i piedi sono esposti all'acqua ed a condizioni di freddo per un lungo periodo. Se il piede permane bagnato a lungo, tale condizione può verificarsi anche a temperature più elevate e fino a 16 °C poiché i piedi bagnati perdono calore 25 volte più velocemente di quelli asciutti. Il corpo riduce la circolazione sanguigna nei piedi per prevenire la perdita di calore con conseguente morte dei tessuti per mancanza di ossigeno e nutrienti/accumulo di prodotti tossici.</p>	<p>Pelle arrossata</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Intorpidimento</li> <li>• Crampi alle gambe</li> <li>• Rigonfiamenti</li> <li>• Formicolio</li> <li>• Vesciche e/o ulcere cutanee</li> <li>• Sanguinamento o lividi sottopelle</li> <li>• Cancro (il piede potrebbe eventualmente diventare di colore viola scuro/blu/grigio)</li> </ul>
<p><b>Geloni:</b> esposizione ripetuta della pelle a temperature che sono sopra lo zero (da 0 a 16 °C) può causare geloni. L'esposizione ripetuta al freddo può causare danni permanenti ai piccoli vasi sanguigni (capillari) della pelle causando arrossamento e prurito che si ripresenteranno con esposizioni successive. Questo si verifica in genere su guance, orecchie, dita delle mani e dei piedi.</p>	<p>Arrossamento</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prurito</li> <li>• Infiammazione</li> <li>• Vesciche</li> <li>• • Ulcerazione (casi gravi)</li> </ul>

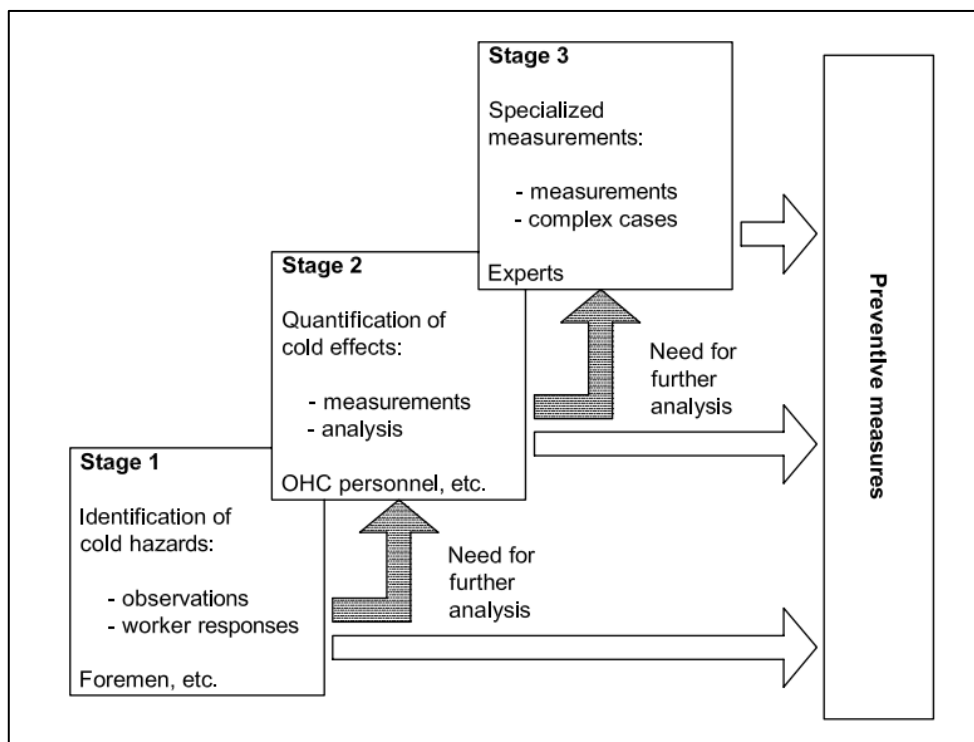
**Tabella 1.** Adattato da NIOSH: Cold Stress – malattie legate al freddo.

In particolare, l'ipotermia è definita come una temperatura corporea interna inferiore a 35°C con importanti cambiamenti fisiologici che si verificano quando la temperatura scende sotto questa soglia (**Tabella 2**).

Livello di ipotermia	Temperatura corporea (°C)	Cambiamenti fisiologici
Normotermia	37	
Blanda ipotermia	35	Forte tremore; aumento della pressione sanguigna
	34	Amnesia; disartria; Scarse capacità cognitive e di giudizio; modifica del comportamento
	33	Apatia; atassia (mancanza di controllo muscolare o coordinamento dei movimenti volontari)
Moderata ipotermia	32	Alterazione dello stato di coscienza
	31	I brividi si bloccano, le pupille si dilatano
	30	Aritmia cardiaca; diminuzione della gittata cardiaca
	29	Perdita di coscienza
Severa ipotermia	28	Ipoventilazione; possibile fibrillazione ventricolare (aritmia)
	27	Perdita di riflessi e movimento volontario
	26	Disturbi acido-base; nessuna risposta al dolore
	25	Ridotto flusso sanguigno cerebrale
	24	Ipotensione; bradicardia; edema polmonare
	23	Nessun riflesso corneale; areflessia
	19	Silenzio elettroencefalografico
	18	Asistolia (arresto cardiaco)
	15.2	Sopravvivenza infantile più bassa da accidentale
13.7	Sopravvivenza adulta più bassa per ipotermia accidentale	

**Tabella 2.** Livelli di ipotermia e cambiamenti fisiologici associati

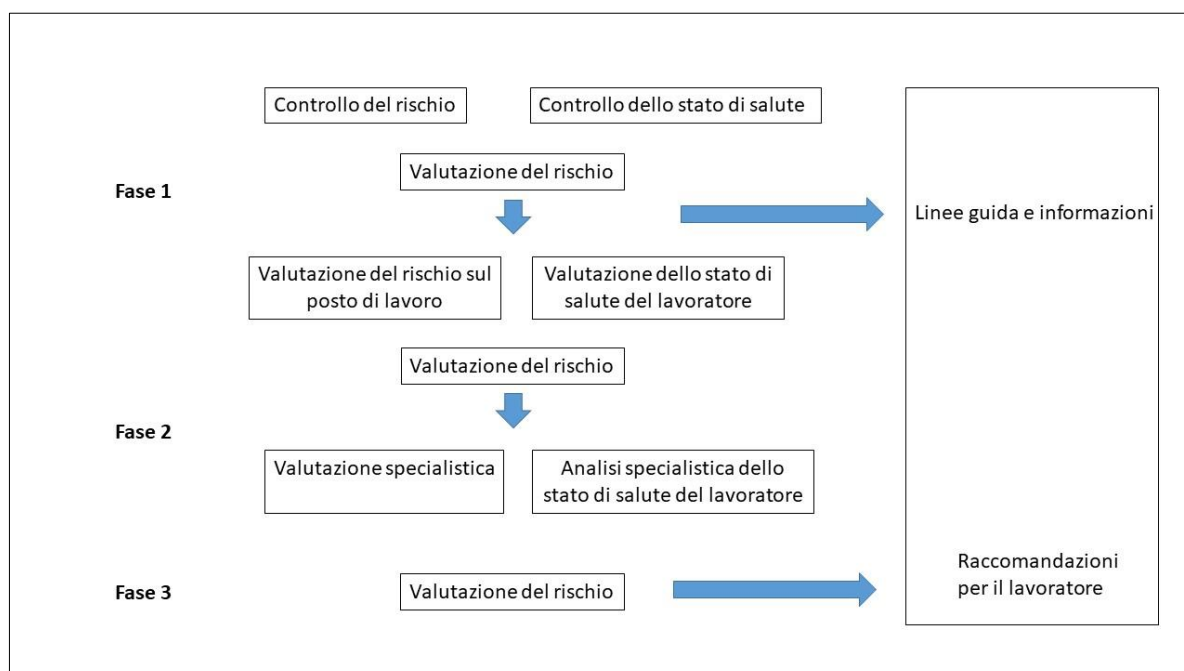
La norma UNI EN ISO 15743:2008 (“Ergonomia dell'ambiente termico - Posti di lavoro al freddo - Valutazione e gestione del rischio”) fornisce uno strumento pratico per valutare e gestire il rischio nei posti di lavoro al freddo e comprende: modelli e metodi per la valutazione e la gestione del rischio, un elenco di controlli per identificare i problemi legati al lavoro al freddo, un metodo ed un questionario utilizzabili dai medici per identificare i lavoratori che presentano sintomi tali da aumentare la sensibilità al freddo e migliorare la protezione individuale (**Figura 3**).



**Figura 3.** Fasi di valutazione del rischio occupazionale in ambienti freddi (UNI EN ISO 15743)

Tale norma si occupa quindi anche della gestione del rischio che deve essere integrata nel sistema di gestione della sicurezza sui luoghi di lavoro. In particolare, la norma prevede corsi di formazione sui rischi freddo correlati per tutti i lavoratori coinvolti nei processi produttivi, per i responsabili della sicurezza e per i medici competenti.

In **Figura 4** si riporta il modello per la gestione del rischio previsto dalla norma UNI EN ISO 15743.



**Figura 4** Modello per la gestione del rischio previsto dalla norma UNI EN ISO 15743.

La norma è applicabile alle situazioni di lavoro sia all'interno sia all'esterno, compreso quello svolto all'interno dei veicoli e il lavoro esterno sotto la superficie terrestre e in mare, sia per ambienti di lavoro caratterizzati da freddo moderato o severo, ma non è applicabile alle immersioni o ad altri tipi di lavoro svolti in acqua (Fonte INAIL).

Inoltre, la norma UNI EN ISO 15265:2005 (“Ergonomia dell’ambiente termico Strategia di valutazione del rischio per la prevenzione dello stress o del disagio termico in condizioni di lavoro”) costituisce un importante riferimento nella valutazione del rischio freddo in ambito occupazionale, andando a descrivere una strategia di valutazione ed interpretazione del rischio di costrizione fisiologica o di disagio che può verificarsi. È applicabile in tutte le situazioni di lavoro, a prescindere da eventuale variazione di clima, metabolismo energetico o abbigliamento. La norma non descrive una singola procedura, ma una strategia, articolata su tre livelli, che può essere utilizzata per approfondire i problemi connessi alle condizioni di lavoro ogniqualvolta sia necessario definire il rischio a questo connesso e identificare le misure ottimali per il controllo e la prevenzione. Essa è orientata esclusivamente alla prevenzione e/o al controllo dei problemi legati al lavoro al caldo o al freddo, per cui il rischio di disturbi e/o disagio da caldo o da freddo è valutato solo nei termini richiesti per raggiungere questo scopo.

La norma UNI EN ISO 12894:2002 (“Ergonomia degli ambienti termici-Supervisione medica per persone esposte ad ambienti molto caldi o molto freddi”), insieme alla norma UNI EN ISO 15743, prevede una fase di valutazione dello stato di salute dei lavoratori, che è affidata al medico del lavoro e che ha lo scopo di definirne l’attitudine del singolo soggetto al lavoro al freddo, fornendo consigli riguardanti la sicurezza degli individui esposti ad ambienti termici estremi, caldi o freddi.

Un’ottima descrizione delle problematiche legate al freddo in ambito occupazionale è presente sul Portale degli agenti Fisici (PAF), dove viene mostrata anche la norma di riferimento per la valutazione degli ambienti freddi, 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, mentre non si applica per valutare effetti specifici associati a fenomeni meteorologici (es. precipitazioni) che sono valutati con altri metodi.



## 2. Potenziali indicatori biometeorologici da utilizzare in ambito occupazionale per la valutazione del rischio associato al freddo

Numerosi sono gli indicatori di stress termico ambientale da freddo disponibili nella letteratura internazionale, ma pochi di essi si prestano ad essere applicati in un contesto particolare come quello occupazionale dove entrano in gioco molteplici fattori legati all'esposizione del lavoratore (durata, tempo e tipologia di esposizione), alla tipologia di mansione, all'abbigliamento indossato, alle caratteristiche del soggetto ed al suo livello di acclimatazione al freddo. In generale, la norma 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") individua due categorie di raffreddamento:

- raffreddamento globale, relativo al corpo nella sua totalità e viene quantificato attraverso l'indice IREQ;
- raffreddamento locale, rappresentato dal raffreddamento di singole parti del corpo

La norma individua a sua volta differenti tipo di raffreddamento locale che sono riportati in **Tabella 3**.

<b>Raffreddamento locale</b>	<b>Effetto</b>	<b>Valutazione</b>
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 " <i>Ergonomia degli ambienti termici. Metodi per la valutazione della risposta dell'uomo al contatto con le superfici. Parte 3: Superfici fredde</i> "
Extremity cooling	Raffreddamento delle estremità (soprattutto delle 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 " <i>Guanti di protezione contro il freddo</i> ".
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.	

**Tabella 3** Effetti di raffreddamento locale ([https://www.portaleagentifisici.it/fo\\_microclima.it](https://www.portaleagentifisici.it/fo_microclima.it))

Ne consegue che ad oggi, i principali indicatori di stress da freddo in ambito occupazionale sono l'Insulation required (IREQ) ed il Wind Chill Temperature Index dal quale più recentemente è stato ricavato il wind chill temperature. Anche l'Universal Thermal Climate Index (UTCI), che rappresenta ad oggi lo stato dell'arte nella valutazione delle condizioni di benessere/disagio termico sia in ambienti caldi che in ambienti freddi, può potenzialmente trovare applicazione nella valutazione delle condizioni di stress da freddo in ambito occupazionale.

## 2.1 Wind Chill Temperature Index

Il Wind Chill Temperature Index (WCT) è un indice di stress da freddo che permette di valutare l'effetto del vento sulle parti esposte dell'organismo e quindi sul raffreddamento locale (Harvey et al., 2021). Tale indice nasce nel 1941 quando due ricercatori, Paul Siple e Charles Passel, si trovavano in Antartide e misurarono il tempo che un panno umido impiegava per congelare e si accorsero che dipendeva dalla velocità del vento (Siple et al., 1945). Il Wind Chill Temperature Index (WCT) è quindi un'indice che misura la temperatura che percepiamo sulla pelle per effetto del vento, esprimendo la sua capacità di allontanare il calore al corpo umano. Esso perciò è una misura del tasso di calore perso dal corpo (Harvey et al., 2021), in virtù anche della più rapida evaporazione che è un processo che assorbe calore (al contrario della condensazione). Per il calcolo è ancora spesso impiegata un'equazione empirica che tiene conto della temperatura dell'aria e della velocità del vento (Steadman 1971):

$$WCT = 0.045 (7.1766 * v^{1/2} + 10.45 - 0.5145 * v) (T_a - 33) + 3$$

dove

$T_a$  = temperatura dell'aria (°C)

$v$  = velocità del vento (nodi).

L'indice è applicabile quando la velocità del vento è compresa tra 1.78 m/s e 25 m/s (cioè tra circa 3 nodi e 48 nodi) e quando la temperatura è inferiore o uguale a 10°C. Sapendo che 1 m/s corrisponde a 1,943 nodi è possibile avere una formulazione utilizzando i m/s per la velocità del vento:

$$WCT = (0.45 * v^{1/2} + 0.47 - v) (T_a - 33) + 33$$

In ambito occupazionale, nei lavoratori impiegati soprattutto in attività outdoor e quindi esposti all'effetto diretto del vento e degli agenti atmosferici, il calcolo del WCT può svolgere un ruolo fondamentale nella valutazione del raffreddamento locale delle parti esposte. Tale tipo di raffreddamento viene valutato attraverso il calcolo della Wind Chill Temperature, definito 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. Sulla piattaforma PAF ([https://www.portaleagentifisici.it/fo\\_microclima\\_metodiche.php?lg=IT](https://www.portaleagentifisici.it/fo_microclima_metodiche.php?lg=IT)) è mostrata la procedura di valutazione del freddo in ambito occupazionale per le parti esposte mediante l'utilizzo del WCT che consiste di 2 fasi: la prima prevede il calcolo del WCT, la seconda invece prevede la classificazione del rischio (**Tabella 4**) in base alla norma 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

**Tabella 4** Classificazione del rischio di raffreddamento locale secondo l'indicatore Wind Chill Temperature (WCT) in base alla norma UNI EN ISO 11079  
([https://www.portaleagentifisici.it/fo\\_microclima\\_metodiche.php?lq=IT](https://www.portaleagentifisici.it/fo_microclima_metodiche.php?lq=IT))

### 2.1.1 Limiti e vantaggi di utilizzo dell'indicatore Wind Chill in ambito occupazionale

Il Wind Chill Temperature è un indice che prende in considerazione soltanto i parametri ambientali e pertanto non prende in considerazione le caratteristiche personali del soggetto (ad es. il tasso metabolico, lo stato di salute, l'età), della tipologia di attività svolta, dell'abbigliamento indossato e del livello di acclimatazione. Inoltre, tra i parametri ambientali, esso prende in considerazione soltanto la temperatura dell'aria e la velocità del vento, mostrando quindi dei limiti in ambienti caratterizzati da tassi di umidità dell'aria molto elevati anche se in presenza di forte vento, tale parametro tende a perdere importanza nell'ambito della valutazione della percezione termica.

I vantaggi nell'utilizzo di tale indicatore, magari associati ad altri indicatori come l'IREQ, è quello di fornire una informazione aggiuntiva sul raffreddamento di diverse parti del corpo, in particolare le aree più periferiche dell'organismo (es mani e piedi) che sono molto esposte nello svolgimento di mansioni lavorative all'aperto e che in caso di freddo più o meno intenso possono influenzare lo svolgimento dell'attività e quindi esporre il lavoratore sia a danni diretti alle aree interessate (ad es. lesioni, congelamento) sia alterare il livello di attenzione nello svolgimento dell'attività e quindi esporlo a rischio infortunio.

## 2.2 IREQ

L'indicatore IREQ (Insulation Required), regolato dalla norma 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", è un indice che si basa su equazioni del bilancio termico dell'organismo, analizzando tutti gli scambi di energia fra soggetto ed ambiente, e fornendo l'isolamento termico del vestiario richiesto allo scopo di mantenere condizioni organiche accettabili durante l'esposizione. Pertanto, tale indice prende in considerazione non solo i parametri ambientali, ma anche parametri individuali del soggetto esposto alle condizioni termiche (**Tabella 5**).

L'IREQ utilizza un unico descrittore del rischio detto IREQ, ma prevede il calcolo di due diversi valori di quest'indice:

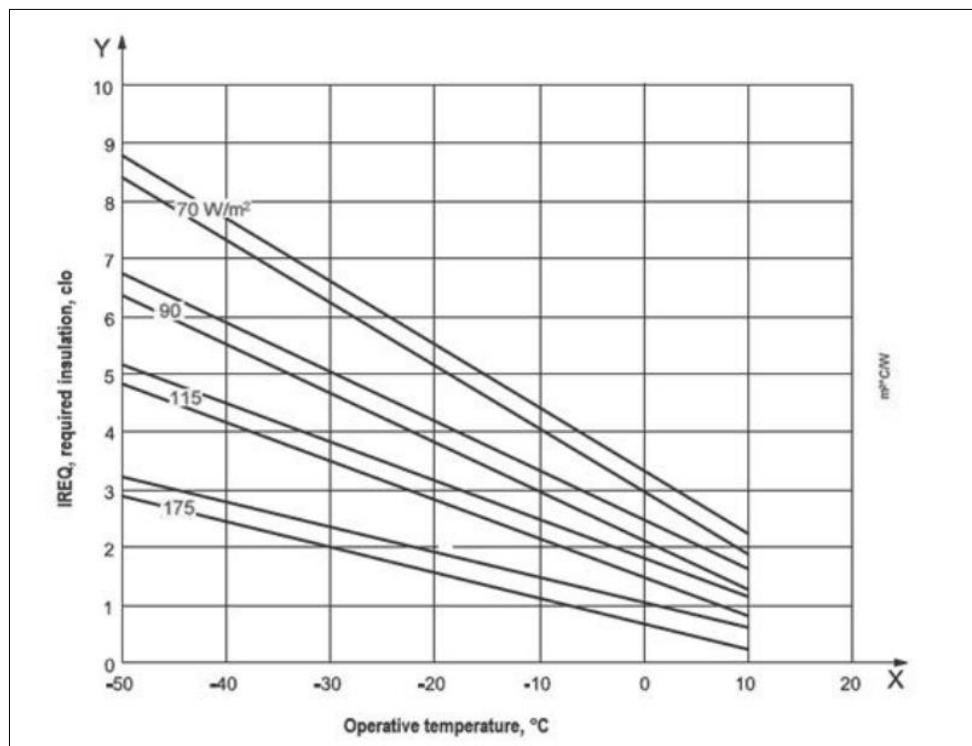
- IREQ<sub>min</sub> è il valore di isolamento termico in grado di assicurare condizioni minime accettabili, ovvero con presenza di una sensibile, ma tollerabile, sensazione di freddo

- IREQneutral è il valore di isolamento termico in grado di garantire condizioni di neutralità termica.

Parametro	Tipologia di parametro	Unità di misura
Temperatura dell'aria (ta)	Ambientale	°C
Temperatura media radiante (tr)		°C
Pressione parziale di vapore acqueo (pa)		Pa
Velocità relativa dell'aria (Va)		m/s
Attività metabolica (dispendio metabolico) (M)	Individuale	W/m <sup>2</sup>
Isolamento termico del vestiario (Icl)		clo = 0,155 m <sup>2</sup> K/W

**Tabella 5.** Parametri ambientali ed individuali che caratterizzano il rapporto individuo-ambiente in ambienti freddi (modificato da INAIL-Valutazione del Microclima. 2018)

La **Figura 5** mostra l'andamento dei valori IREQmin (linea inferiore di ciascuna coppia) e IREQneutral (linea superiore di ciascuna coppia) in funzione della temperatura operativa (in pratica equivalente alla temperatura dell'aria) per diverse assunzioni sulla attività metabolica. Il calcolo degli indici di rischio (IREQmin, IREQneutral), può essere effettuato mediante il software IREQ2009 (attualmente nella versione 4.2), accessibile on-line all'indirizzo [http://www.eat.lth.se/fileadmin/eat/Termisk\\_miljoe/IREQ2009ver4\\_2.html](http://www.eat.lth.se/fileadmin/eat/Termisk_miljoe/IREQ2009ver4_2.html), il cui link è presente anche sul portale PAF ([https://www.portaleagentifisici.it/fo\\_microclima\\_metodiche.php?lg=IT](https://www.portaleagentifisici.it/fo_microclima_metodiche.php?lg=IT)).



**Figura 5.** IREQ min e IREQneutral in funzione della temperatura operativa (UNI EN ISO 11079)

### 2.2.1 Limiti e vantaggi di utilizzo dell'indicatore IREQ in ambito occupazionale

Uno dei principali limiti dell'IREQ è che la sua affidabilità risulta verificata soltanto all'interno di determinati intervalli stabiliti sia per i parametri ambientali che per i parametri individuali (**Tabella 6**). Inoltre, anche se la **Tabella 6** non contiene limiti per la resistenza termica del vestiario, sono comunque presenti vincoli di natura pratica che restringono l'impiego solo fino a 4.5 clo (unica eccezione: sacchi a pelo).

Parametro	Intervallo di applicabilità
Temperatura dell'aria	> 10°C
Velocità relativa dell'aria	0.4-18 m/s
Attività metabolica	1-5met

**Tabella 6.** Intervalli di applicabilità dei parametri ambientali ed individuali. (modificato da INAIL-Valutazione del Microclima. 2018)

La norma UNI EN ISO 11079 stabilisce anche importanti indicazioni utili ai fini della gestione del rischio in ambito occupazionale e che risultano senza dubbio dei punti di forza del metodo IREQ:

- limiti di accettabilità
- tempi massimi di esposizione
- pause
- misure dei parametri fisici
- stima dei parametri soggettivi.

I limiti di accettabilità, vengono definiti confrontando le due grandezze (IREQ<sub>min</sub> e IREQ<sub>neutral</sub>) di isolamento termico I<sub>cl,r</sub> associato all'abbigliamento realmente utilizzato:

- I<sub>cl,r</sub> < IREQ<sub>min</sub> implica protezione insufficiente e conseguente rischio di ipotermia;
- I<sub>cl,r</sub> > IREQ<sub>neutral</sub> implica iper-protezione e conseguente rischio di sudorazione, che, in presenza di un ambiente esterno rigido, può produrre effetti nocivi;
- IREQ<sub>neutral</sub> > I<sub>cl,r</sub> > IREQ<sub>min</sub> definisce l'intervallo di accettabilità, garantendo condizioni organiche caratterizzate da una sensazione soggettiva di freddo che varia da minima a significativa, senza tuttavia mai indurre derive termiche e conseguenti possibili ipotermie.

I limiti di accettabilità sono riassunti in **Tabella 7** che riporta anche le azioni da intraprendere per ostacolare il raffreddamento.

N°	Condizione	interpretazione	Azione	Necessario calcolare D <sub>lim</sub> ?
1	$I_{cl,r} < IREQ_{min}$	Isolamento termico insufficiente	- 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 <sub>rec</sub>
2	$IREQ_{min} < I_{cl,r} < IREQ_{neutral}$	Isolamento termico sufficiente	- 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

**Tabella 7** Limiti di accettabilità ed azioni da intraprendere (da [https://www.portaleagentifisici.it/fo\\_microclima\\_metodiche.php?lq=IT](https://www.portaleagentifisici.it/fo_microclima_metodiche.php?lq=IT))

Per quanto riguarda l'esposizione ad ambienti severi freddi, essa deve essere limitata ad un tempo limite ( $D_{lim}$ ) pari a:

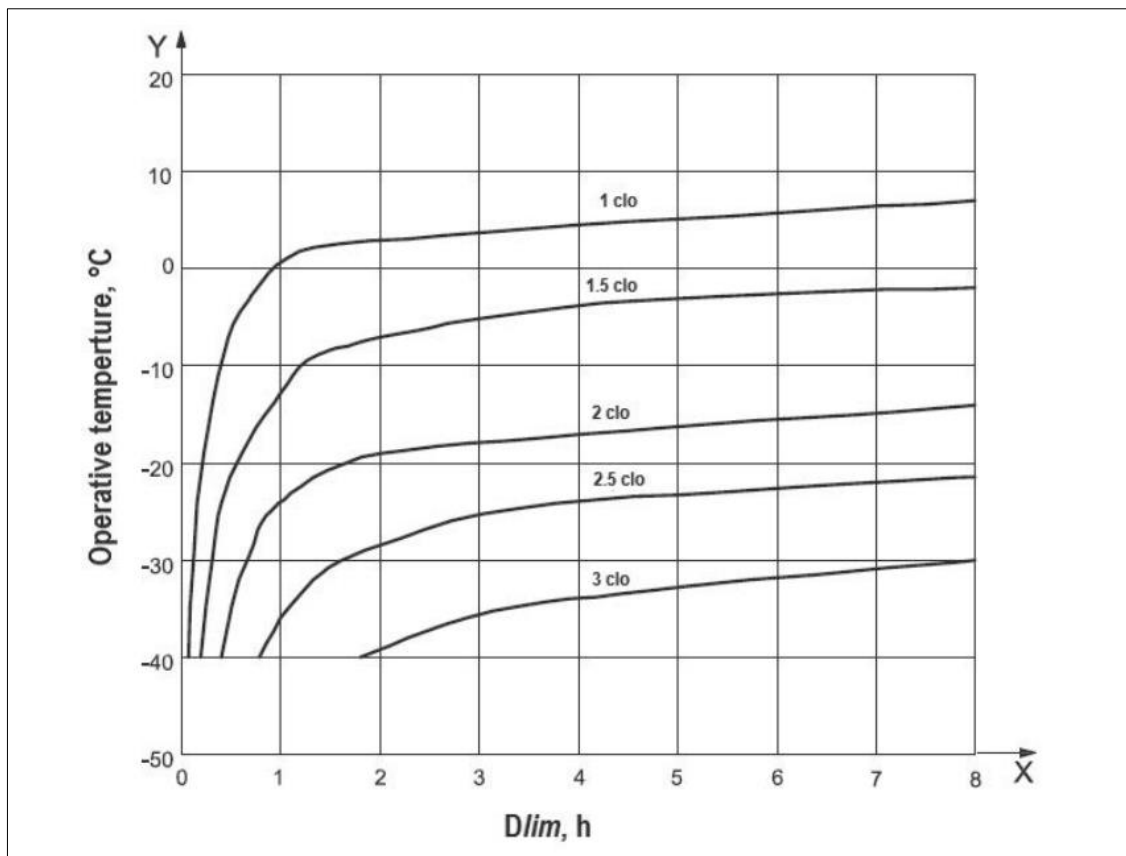
$$D_{lim} = Q_{lim} / S$$

dove

$Q_{lim}$  è la perdita di energia massima tollerabile dall'organismo ( $40 \text{ Wh/m}^2$ );

$S$  è il raffreddamento subito dall'organismo e che rappresenta lo squilibrio energetico.

In **Figura 6** sono riportati i tempi massimi di esposizione (in ore) in funzione della temperatura operativa e del valore di  $IREQ_{neutral}$  per una specifica attività dal dispendio di  $145 \text{ Wm}^{-2}$  (2,5 met).



**Figura 6** Tempi massimi di esposizione secondo diversi clo (UNI EN ISO 11079)

Altro punto di forza del metodo IREQ è che permette di stimare le pause con le quali interrompere le attività negli ambienti severi freddi, utilizzando la stessa formula utilizzata per il calcolo del tempo limite di esposizione:

$$D_{req} = Q_{lim} / S^i$$

dove

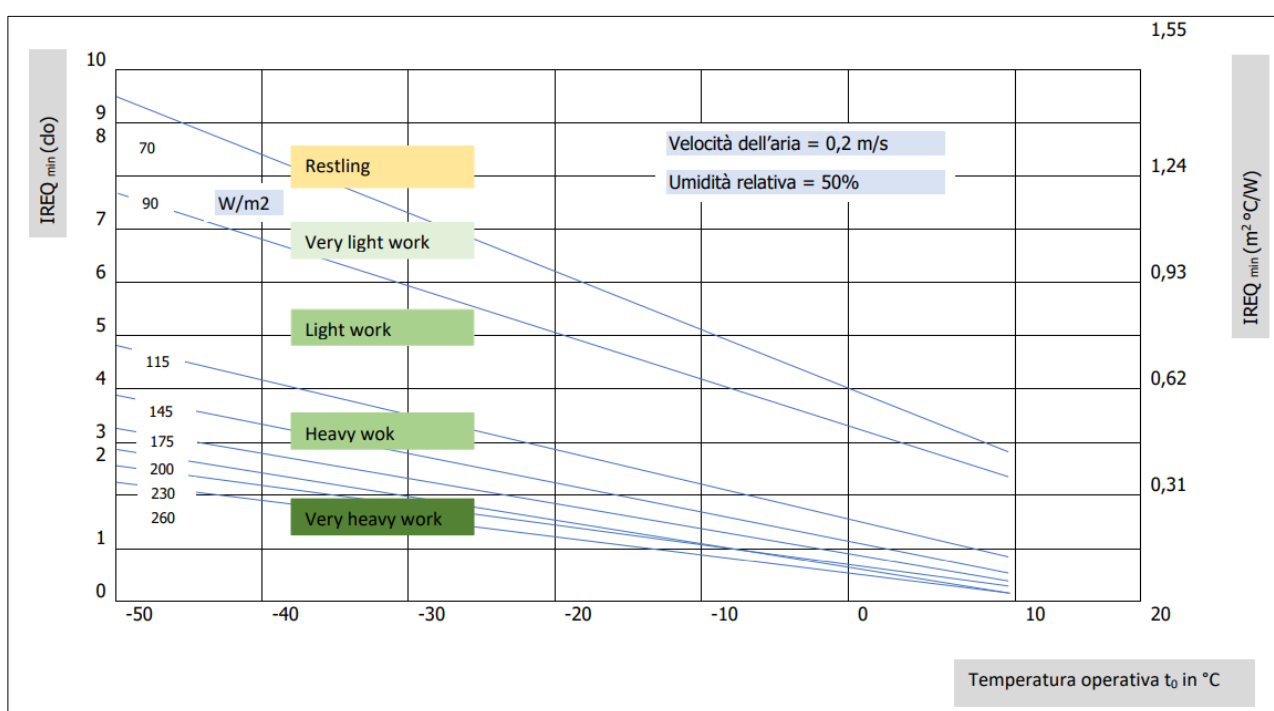
$S^i$  è lo squilibrio termico positivo ottenuto dal soggetto per la frequentazione dell'ambiente adibito alla pausa.

Il software IREQ2009 consente, accanto al calcolo di  $IREQ_{min}$  e  $IREQ_{neutral}$ , il calcolo sia della durata massima consentita per l'esposizione ( $D_{lim}$ ) corrispondenti sia a condizioni di isolamento minimo che a condizioni di isolamento neutro, sia del tempo di recupero ( $D_{rec}$ ).

Altro aspetto positivo dell'IREQ è che la sua applicazione prende in considerazione i parametri fisici ambientali presenti nel luogo dell'esposizione, mediante l'installazione di idonea strumentazione microclimatica. In particolare, per una sua corretta applicazione, devono essere misurati, ad 1,1 m di altezza (corrispondente a quella media del tronco), i parametri di temperatura dell'aria, temperatura media radiante, umidità dell'aria e velocità del vento.

Infine, l'altro aspetto rilevante dell'IREQ, e che lo rende un indice impiegabile nel settore occupazionale, è la presa in considerazione dei parametri soggettivi, con particolare riferimento al tasso metabolico impiegato nello svolgimento della mansione lavorativa e l'isolamento termico del vestiario, parametro chiave in ambienti freddi. In particolare, il metodo IREQ richiede come dato di input per il calcolo della durata massima dell'esposizione, l'isolamento termico dell'abbigliamento (Clo).

In **Figura 7** si riportano i valori di Clo (IREQ<sub>min</sub>) in funzione della temperatura operativa dell'ambiente per 8 livelli del metabolismo energetico.



**Figura 7** Valori di Clo (IREQ<sub>min</sub>) in funzione della temperatura operativa dell'ambiente per 8 livelli del metabolismo energetico

### 2.3 UTCI (descritto nel precedente report, ma in questo caso il riferimento è al freddo)

Come già descritto nel primo report di attività (4.1) del progetto Workclimate "Revisione dei sistemi di allerta da caldo e selezione degli indicatori da utilizzare per valutare l'impatto sui lavoratori", l'Universal Thermal Climate Index (UTCI) rappresenta lo stato dell'arte degli indici biometeorologici per gli ambienti outdoor, sia per quanto riguarda il caldo che per quanto concerne il freddo, e questo rappresenta senza dubbio uno dei grandi vantaggi di questo indicatore, cioè la possibilità di impiegare un solo indice per tutto il range termico relativo alla possibile esposizione di un soggetto in ambiente outdoor.

Per la sua descrizione completa si rimanda al Report 4.1, mentre in **Tabella 8** si riportano le classi di disagio termico secondo intervalli di UTCI.

Intervalli di UTCI (°C)	Categorie di disagio termico
oltre +46	Disagio da caldo estremo
da +38 a +46	Disagio da caldo molto forte
da +32 a +38	Disagio da caldo forte
da +26 a +32	Disagio da caldo moderato
da +9 a +26	Nessun disagio termico
da +9 a 0	Disagio da freddo debole
da 0 a -13	Disagio da freddo moderato
da -13 a -27	Disagio da freddo forte
da -27 a -40	Disagio da freddo molto forte
sotto -40	Disagio da freddo estremo

**Tabella 8.** Intervalli di UTCI (°C) e relative categorie di disagio termico

Per quanto riguarda il freddo, l'UTCI prevede quindi 5 categorie di disagio termico che vanno da un debole disagio da freddo ( $9 < \text{UTCI} < 0$ ) fino ad un disagio da freddo estremo  $\text{UTCI} < -40^\circ\text{C}$ . Si ricorda inoltre che l'indice UTCI è stato implementato recentemente per fini operativi previsionali dall'IBE-CNR a livello italiano ed è attualmente disponibile sul sito del LaMMA (**Figura 8**) (<http://www.lamma.rete.toscana.it/meteo/comfort-termico>).



**Comfort termico - Metodologia**

La condizione di benessere o disagio termo-fisiologico, sia da caldo come da freddo, non è determinata solo dalla temperatura dell'aria, ma da una combinazione di questa con altri parametri ambientali. Sono stati sviluppati numerosi indici, definiti anche "indici biometeorologici", che, mediante l'applicazione di determinati algoritmi, forniscono un risultato sintetico a cui è associata una specifica condizione di "potenziale" disagio da caldo e da freddo (stress termo-fisiologico). Questa informazione è spesso generalizzabile a livello di popolazione ma va letta come indirizzata a un soggetto "standard", con predifinite caratteristiche e in salute. Si parla quindi di potenziale di disagio ambientale perché la risposta di ciascun individuo è strettamente personale e dipende da alcuni fattori come l'età, le caratteristiche psicofisiche, il tipo di attività svolta, la tipologia di abbigliamento indossato, la durata dell'esposizione e il grado di acclimatazione, per citarne alcuni.

Quando l'informazione è comunicata sulla base di una scala di temperatura allora si parla anche di "temperatura percepita", termine tradotto in italiano dal nome di un indice di stress termico razionale, la "Perceived Temperature", ma si potrebbe parlare anche di temperatura apparente (dall'indice Apparent Temperature) o ancora di temperatura equivalente come nel caso dell'Universal Thermal Climate Index (UTCI).

L'interpretazione di questo tipo di informazione è tuttavia problematica dal momento che a livello nazionale vengono utilizzati diversi indicatori di stress termico da caldo e il confronto tra essi non è spesso praticabile. Una soluzione per ovviare a questo problema di comparazione è sicuramente quella di utilizzare la descrizione testuale della classe di disagio termico associata al risultato dell'indice biometeorologico, ad esempio **disagio debole, moderato, intenso** da caldo, ecc.. Tale informazione, comunque specifica per un soggetto con determinate caratteristiche e impegnato in una specifica attività fisica, è meno suscettibile a interpretazioni e soprattutto incomprensioni numeriche.

**Il disagio termo-fisiologico**

Le previsioni numeriche dell'atmosfera permettono, grazie all'indice biometeorologico, la stima del disagio termo-fisiologico per un soggetto di riferimento con caratteristiche "standard". Poiché la stima è basata sul modello meteorologico, può essere generalizzata a livello di popolazione con un dettaglio temporale e spaziale che segue le caratteristiche del modello locale (BOLAM 7km 120h). Le mappe di previsione dell'UTCI esprimono la stima di dettaglio territoriale del livello di comfort termico raggruppato in 10 categorie di disagio termico. L'informazione in esse contenute è di estrema utilità sugli eventuali rischi per la salute, specialmente per persone fragili e vulnerabili.

L'informazione fornita dall'UTCI è una temperatura equivalente, espressa in °C raggruppabile in varie classi di disagio termico.

L'UTCI rappresenta lo stato dell'arte degli indici biometeorologici per gli ambienti outdoor e il risultato di questo indicatore si ottiene utilizzando contemporaneamente alcuni dati di input di modelli meteorologici in particolare la temperatura dell'aria, velocità del vento (a 10 m), umidità relativa e radiazione solare. La formulazione empirica proviene da una serie estensiva di simulazioni con un modello termo-fisiologico umano multinode capace di simulare gli scambi di calore nelle varie parti del corpo combinato con un modello legato al vestiario e in grado di fornire stime su un'ampia rosa di condizioni microclimatiche.

Intervallo di UTCI (°C)	Categorie di disagio termico
oltre +46	Disagio da caldo estremo
da +38 a +46	Disagio da caldo molto forte
da +32 a +38	Disagio da caldo forte
da +26 a +32	Disagio da caldo moderato
da +9 a +26	Nessun disagio termico
da +9 a 0	Disagio da freddo debole
da 0 a -13	Disagio da freddo moderato
da -13 a -27	Disagio da freddo forte
da -27 a -40	Disagio da freddo molto forte
sotto -40	Disagio da freddo estremo

Categorie di disagio termico - UTCI

**Riferimenti**

- Blazejczyk K, Epstein Y, Jendritzky G, Staiger H, Tinz B. Comparison of UTCI to selected thermal indices. Int J Biometeorol 2012;56:515-35.
- Epstein Y, Moran DS (2006) Thermal comfort and heat stress indices. Indust Health 44:388-398
- Siple P, Passel CF (1945) Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures. Proc Am Philos Soc 89:177-199.

**Figura 8.** Pagina dedicata all'indicatore UTCI sul sito del LaMMA (<http://www.lamma.rete.toscana.it/meteo/comfort-termico>)

### 2.1.1 Limiti e vantaggi di utilizzo dell'indicatore UTCI in ambito occupazionale

Anche se ad oggi esso rappresenta lo stato dell'arte della valutazione delle condizioni di stress termico in ambiente outdoor, tale indicatore presenta dei limiti nell'applicazione in ambito occupazionale poiché non consente di associare norme comportamentali in base ai livelli di rischio previsti. In aggiunta, non permette di modulare la previsione in funzione delle caratteristiche personali del lavoratore (peso ed altezza), della tipologia di attività lavorativa svolta e dell'abbigliamento indossato. Infatti, al momento, la versione di software disponibile per l'applicazione dell'UTCI (<http://www.utci.org/>) permette l'utilizzo solo per un soggetto in attività fisica standard (soggetto che cammina ad una velocità di 4 km h<sup>-1</sup>). Inoltre, l'UTCI richiede alcuni parametri di non semplice e immediata determinazione, come la misura della temperatura media radiante, per la quale esistono metodi più o meno complessi per una accurata valutazione. Sono presenti comunque lavori scientifici che descrivono come implementare operativamente il calcolo dell'indicatore UTCI in modo da renderlo applicabile ai dati meteorologici tipicamente rilevati da una stazione meteo o previsti da un modello numerico di previsione meteorologica (Bröde et al., 2012b; Pappenberger et al., 2015).

Nonostante i limiti elencati, l'applicazione UTCI ha numerosi vantaggi ed uno dei principali è che il suo calcolo è basato su un modello termofisiologico multi-nodo (UTCI-Fiala Model) e quindi è applicabile per valutare gli effetti termici non solo sull'intero corpo, ma anche sul disagio locale, permettendo di simulare le reazioni termoregolatorie e del sistema nervoso centrale nei vari distretti corporei. Questo aspetto è fondamentale nella prevenzione del rischio freddo in ambito occupazionale, dove il raffreddamento locale di parti del corpo esposte, in particolare le estremità (mani, piedi e volto) ha un ruolo fondamentale, soprattutto in mansioni in ambiente outdoor dove l'utilizzo delle mani e dei piedi ha un ruolo fondamentale anche nella sicurezza dello svolgimento delle proprie mansioni lavorative. Altro vantaggio è che ha un range di applicabilità molto ampio, non solo per il caldo, ma anche per il freddo, permettendo di arrivare fino ad esposizioni di oltre -40°C (-50 °C < Ta < +50 °C) e con velocità del vento fino a 17 m s<sup>-1</sup>. Per questo motivo, recentemente, alcuni

studi scientifici (Vatani et al., 2016; Nassiri et al., 2017; Bröde et al., 2018) hanno valutato la sua applicabilità in ambito occupazionale.

### 3. Servizi previsionali rischio freddo esistenti

Il problema legato all'esposizione al freddo in ambito occupazionale è stato affrontato in alcune nazioni, ma sono ancora molto pochi i sistemi di allerta da freddo esistenti ed operativi dedicati in maniera specifica ai lavoratori, mentre qualche esempio in più è presente per la popolazione generale, dove il sistema di allerta più importante è presente in UK e sviluppato da UK Health Security Agency (UKHSA) e Met Office (<https://www.metoffice.gov.uk/weather/warnings-and-advice/seasonal-advice/cold-weather-alerts>) ed a seguire in Quebec (Bixun et al., 2020).

Relativamente al settore occupazionale, consigli comportamentali da adottare in caso di condizioni lavorative caratterizzate da esposizione ad ambienti freddi sono stati realizzati in regioni caratterizzate da inverni particolarmente freddi e lunghi, con esposizioni quindi prolungate come per esempio in alcuni stati del Canada (ad es. Ontario e Quebec), negli Stati Uniti e in alcuni stati Australiani (ad es. New South Galles) (Tabella 9).

Stato	Ente	Link al servizio
Stati Uniti	OSHA-United States Department of Labour	<a href="https://www.osha.gov/emergency-preparedness/guides/cold-stress">https://www.osha.gov/emergency-preparedness/guides/cold-stress</a>
Oregon (Stati Uniti)	University of Oregon	<a href="https://safety.uoregon.edu/sites/safety1.uoregon.edu/files/safety_sheet_-_cold_stress.pdf">https://safety.uoregon.edu/sites/safety1.uoregon.edu/files/safety_sheet_-_cold_stress.pdf</a>
Iowa (Stati Uniti)	University of Iowa	<a href="https://ehs.research.uiowa.edu/occupational/cold-stress">https://ehs.research.uiowa.edu/occupational/cold-stress</a>
Canada	Canada's Private Sector Union	<a href="https://www.ufcw.ca/index.php?option=com_content&amp;view=article&amp;id=30934&amp;Itemid=2256&amp;lang=en">https://www.ufcw.ca/index.php?option=com_content&amp;view=article&amp;id=30934&amp;Itemid=2256&amp;lang=en</a>
Ontario	Ministry of labour, immigration, training and skills development	<a href="https://www.ontario.ca/document/safety-guidelines-film-and-television-industry/guideline-no-33-working-extreme-temperature">https://www.ontario.ca/document/safety-guidelines-film-and-television-industry/guideline-no-33-working-extreme-temperature</a>
Quebec	Gouvernement du Québec	<a href="https://www.quebec.ca/en/health/advice-and-prevention/health-and-environment/preventing-the-harmful-effects-of-cold-temperatures">https://www.quebec.ca/en/health/advice-and-prevention/health-and-environment/preventing-the-harmful-effects-of-cold-temperatures</a>
New South Galles (NSW)	NSW Government	<a href="https://www.safework.nsw.gov.au/hazards-a-z/cold-environments">https://www.safework.nsw.gov.au/hazards-a-z/cold-environments</a>

**Tabella 9** Stati nei quali è disponibile un servizio che fornisce informazioni sui comportamenti da adottare in ambito lavorativo per contrastare gli effetti del freddo.

I fattori che influiscono sull'esposizione al freddo in ambito occupazionale e che quindi devono essere indagati per fornire un utile sistema di prevenzione, secondo il NSW Government australiano, sono i fattori ambientali (temperatura dell'aria, temperatura del suolo, ventilazione e umidità dell'aria), i fattori personali (età, abilità nella mansione, condizioni di salute, sesso) ed i fattori legati alla tipologia di lavoro che il soggetto svolge (tipo di attività, durata, durata dell'esposizione al freddo, abbigliamento indossato) (Tabella 10).

Inoltre, il NSW Government fornisce una sezione dedicata al rischio freddo in ambito occupazionale, mostrando le varie tipologie di rischio, sia relativamente al raffreddamento locale che globale dell'organismo, gli obblighi per i datori di lavoro secondo le attuali normative e i suggerimenti comportamentali da adottare nello svolgimento delle proprie mansioni al fine di ridurre il rischio infortunio legato a condizioni di freddo intenso.

Environmental	Personal	Task
Air temperature	Age	Type of activity
Ground temperature	Abilities	Duration of the activity
Air movement	Health conditions / medication	Duration of exposure
Humidity	Gender	Clothing required

**Tabella 10.** Parametri ambientali, personali e caratteristiche dell'attività lavorativa che influiscono sull'esposizione al rischio freddo secondo il NSW Government. Da <https://www.safework.nsw.gov.au/hazards-a-z/cold-environments>




Negli Stati Uniti, il United States Department of Labor, in collaborazione con l'Occupational Safety and Health Administration (OSHA), fornisce una sezione dedicata al rischio freddo in ambito occupazionale ed in particolare una Guida allo stress da freddo (**Figura 9**) in cui vengono elencati tutti i possibili rischi legati all'esposizione a basse temperature in ambito occupazionale, sia per brevi esposizioni che per esposizioni prolungate (<https://www.osha.gov/winter-weather/cold-stress>).



The image shows a screenshot of the Occupational Safety and Health Administration (OSHA) website. The header includes the OSHA logo and the text "UNITED STATES DEPARTMENT OF LABOR". Below the header, there are navigation links for "CONTACT US", "FAQ", "A TO Z INDEX", "ENGLISH", and "ESPAÑOL". A search bar is visible with the text "SEARCH OSHA". The main content area is titled "Cold Stress Guide" and includes a "NOTE" section. The note states that the Occupational Safety and Health Act (OSH Act) requires employers to comply with hazard-specific safety and health standards. It also mentions that Emergency Preparedness Guides do not and cannot enlarge or diminish an employer's obligations under the OSH Act. The text further explains that Emergency Preparedness Guides are based on presently available information, as well as current occupational safety and health provisions and standards. The procedures and practices discussed in Emergency Preparedness Guides may need to be modified when additional, relevant information becomes available or when OSH Act standards are promulgated or modified.

**Figura 9.** Guida per fronteggiare lo stress da freddo in ambito occupazionale secondo il United States Department of Labor. Da <https://www.osha.gov/winter-weather/cold-stress>

Vengono inoltre indicati i cicli di lavoro/riposo per turni di lavoro di 4 ore in caso di esposizione al freddo a diverse intensità di vento, in base a classi di Wind Chill Temperature Index secondo l'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) (**Tabella 11**).

Work/Warm-up Schedule for a 4-Hour Shift									
Air Temperature -- Sunny Sky		No Noticeable Wind		5 mph Wind		10 mph Wind		15 mph Wind	
°C (approximate)	°F (approximate)	Maximum Work Period	Number of Breaks	Maximum Work Period	Number of Breaks	Maximum Work Period	Number of Breaks	Maximum Work Period	Number of Breaks
-26 to -28	-15 to -19	(Normal Breaks ) 1		(Normal Breaks ) 1		75 min	2	55 min	3
-29 to -31	-20 to -24	(Normal Breaks ) 1		75 min	2	55 min	3	40 min	4
-32 to -34	-25 to -29	75 min	2	55 min	3	40 min	4	30 min	5
-35 to -37	-30 to -34	55 min	3	40 min	4	30 min	5	Non-emergency work should cease 	
-38 to -39	-35 to -39	40 min	4	30 min	5	Non-emergency work should cease 			
-40 to -42	-40 to -44	30 min	5	Non-emergency work should cease 					
-43 & below	-45 & below	Non-emergency work should cease							

 [Printer Friendly Version](#)

**Tabella 11** Cicli di lavoro/riposo per turni di lavoro superiori a 4 ore in caso di esposizione al freddo a diverse intensità di vento in base a classi di Wind Chill Temperature Index secondo l’American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Da <https://www.osha.gov/winter-weather/cold-stress>

Dalla **Tabella 11** si evince come il vento giochi un ruolo fondamentale nell’acuire la sensazione di freddo, soprattutto nelle parti esposte e, quindi, i tempi di lavoro (e l’esposizione) tendono a diminuire all’aumentare delle classi di Wind Chill e dell’intensità del vento, fino ad interrompere totalmente l’attività lavorativa.

L’Università dell’Oregon fornisce un importante documento riassuntivo sullo stress da freddo in ambito occupazionale, in cui viene descritta la problematica in oggetto con particolare riferimento al rischio infortuni (**Figura 9**).

In particolare, tra i suggerimenti comportamentali, viene indicata la necessità di consultare quotidianamente le previsioni meteorologiche al fine di adottare comportamenti idonei alle condizioni previste, per esempio indossare calzature che consentano di avere una buona presa sul terreno anche in presenza di un fondo innevato, ghiacciato o comunque scivoloso. Inoltre, sempre in merito all’aspetto previsionale, il documento mette in evidenza proprio come non è importante soltanto conoscere la previsione del Wind Chill Temperature Index, ma anche comprendere come associato all’aspetto termico vi è anche la presenza di ulteriori fattori di rischio come per esempio le superfici ghiacciate che possono determinare una minore aderenza dei veicoli, la presenza di neve o ostacoli sulle strade determinati da condizioni meteorologiche particolarmente avverse (ad es. nevicate, caduta di rami o piante per il forte vento).





## COLD STRESS

can be an occupational hazard, especially for those working outside. Cold stress starts when the body can no longer maintain its core temperature and begins shivering. Extended shivering results in fatigue, continued loss of body heat, and loss of coordination. Colder temperatures, wind chill, damp air, and cold water are all risk factors for developing cold stress. In extreme circumstances cold stress that is ignored can lead to frostbite and hypothermia. Wear warm, dry layers to retain body heat. Wear warm shoes that have traction to prevent falling in slippery conditions. Stretch your limbs often to keep blood circulating and increase dexterity. Be aware of your body's limits! Remember that the forecast does not usually account for wind chill. Be aware of additional hazards caused by inclement weather including: loss of vehicle handling, slippery walking surfaces, debris in paths, and falling tree branches.

## SYMPTOMS:

- Shivering
- Fatigue
- Loss of coordination
- Lowered core temperature

## WHAT TO DO!

- Check the forecast and plan ahead. Wear warm layers and shoes with traction!
- Know your body's limits!
- Be aware of inclement weather hazards. Avoid walking under trees in snow, ice, and wind.
- Report downed tree branches to CPM's Work Control (541-346-2319).
- Report any injuries to your supervisor immediately!
- In an emergency, call **911** and **UOPD** (541-346-2919) for immediate assistance!



Check the forecast and plan ahead!



Wear warm layers and shoes with traction!



Avoid walking under trees in snowy, icy, or windy weather!

*Figura 9* Prevenzione del rischio freddo in ambito occupazionale, sintomi e come comportarsi secondo l'Università dell'Oregon. Da [https://safety.uoregon.edu/sites/safety1.uoregon.edu/files/safety\\_sheet\\_-\\_cold\\_stress.pdf](https://safety.uoregon.edu/sites/safety1.uoregon.edu/files/safety_sheet_-_cold_stress.pdf)

Anche l'Università del Iowa, sempre negli Stati Uniti, dedica una sezione apposita alla gestione del rischio freddo in ambito occupazionale, riportando la tabella dei cicli di lavoro/riposo con un a maggiore scala di dettaglio, ed in particolare con una distinzione tra lavori leggeri e moderati (**Tabella 12**) per i quali sono previsti tempi di esposizione differenti secondo le indicazioni dettate dall'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH).

<b>ACGIH Work/Warm Schedule for Light Work Over a 4-Hour Shift</b>												
	No Wind		5 mph Wind		10 mph Wind		15 mph Wind		20 mph Wind			
Air Temperature in °F Sunny Sky	Max Work Period	No. of 10 min Breaks	Max Work Period	No. of 10 min Breaks	Max Work Period	No. of 10 min Breaks	Max Work Period	No. of 10 min Breaks	Max Work Period	No. of 10 min Breaks		
10 to 14	No recommendation		No recommendation		No recommendation		No recommendation		120 min	1		
5 to 9							120 min	1	120 min	1		
0 to 4					120 min	1	75 min	1				
-1 to -5					120 min	1	120 min	1	75 min	2	55 min	2
-10 to -14	120 min	1	120 min	1	75 min	2	55 min	3	40 min	3		
-15 to -19	120 min	1	75 min	2	55 min	3	40 min	4	30 min	4		
-20 to -24	75 min	2	55 min	3	40 min	4	30 min	5	Non-emergency work should stop			
-25 to -29	55 min	3	40 min	4	30 min	5	Non-emergency work should stop					
-30 to -34	40 min	4	30 min	5	Non-emergency work should stop							
-35 to -39	30 min	5	Non-emergency work should stop									
-40 to -44	Non-emergency work should stop.										Non-emergency work should stop	
-45 to below	Non-emergency work should stop.											

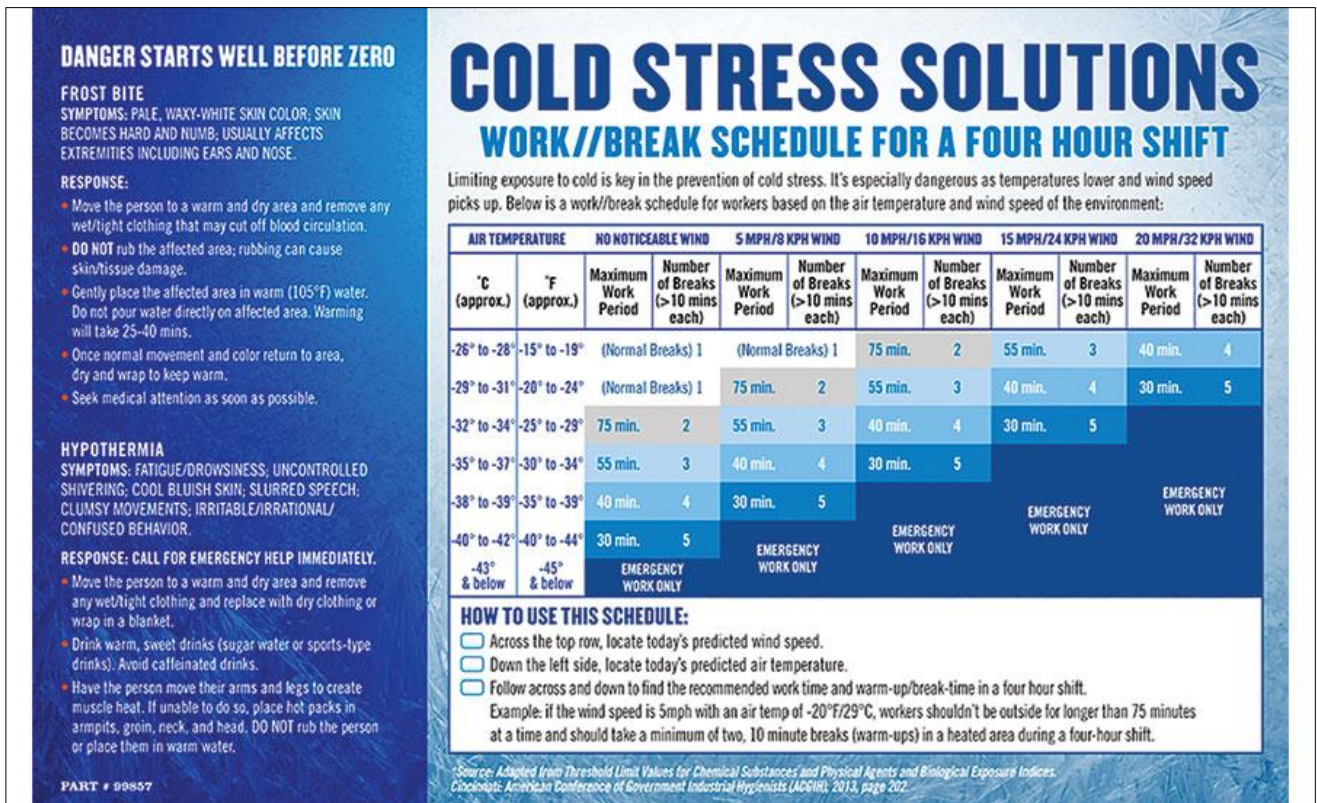
<b>ACHIH Work/Warm Schedule for Moderate and Heavy Work Over a 4-Hour Shift</b>												
	No Wind		5 mph Wind		10 mph Wind		15 mph Wind		20 mph Wind			
Air Temperature in °F Sunny Sky	Max Work Period	No of 10 min Breaks	Max Work Period	No of 10 min Breaks	Max Work Period	No of 10 min Breaks	Max work Period	No of 10 min Breaks	Max work Period	No of 10 min Breaks		
5 to 9	No recommendation		No recommendation		No recommendation		No recommendation		120 min	1		
0 to 4							120 min	1	120 min	1		
-1 to -5					120 min	1	75 min	1	75 min	2		
-10 to -14					120 min	1	120 min	1	75 min	2	55 min	3
-15 to -19	120 min	1	120 min	1	75 min	2	55 min	3	40 min	4		
-20 to -24	120 min	1	75 min	2	55 min	3	40 min	4	30 min	5		
-25 to -29	75 min	2	55 min	3	40 min	4	30 min	5	Non-emergency work should stop			
-30 to -34	55 min	3	40 min	4	30 min	5	Non-emergency work should stop					
-35 to -39	40 min	4	30 min	5	Non-emergency work should stop							
-40 to -44	30 min	5	Non-emergency work should stop									
-45 to below	Non-emergency work should stop.										Non-emergency work should stop	

**Tabella 12.** Cicli di lavoro/riposo secondo le differenti classi di Wind Chill Temperature Index secondo ACGIH per cicli di lavoro superiori a 4 ore. La prima tabella mostra i cicli di lavoro riposo per lavori leggeri, la seconda tabella per lavori moderati. Da <https://ehs.research.uiowa.edu/occupational/cold-stress>

Sempre negli Stati Uniti, durante il periodo invernale, in caso di condizioni di rischio freddo particolarmente intenso, l'Industrial Safety and Hygiene emette periodicamente news sulla propria pagina al fine di sensibilizzare i lavoratori ed i datori di lavoro sul rischio da freddo, in modo che essi adottino misure preventive atte alla riduzione di tale rischio.

In **Figura 10** è riportato un esempio di immagine tratto dalle news della pagina di Industrial Safety and Hygiene dedicata al rischio freddo.





**Figura 10** Cicli di lavoro/riposo per contrastare il freddo in base ad intervalli di classi di rischio termico secondo ACGIH. Da *Industrial Safety and Hygiene News* (<https://www.ishn.com/articles/107352-develop-a-cold-stress-prevention-plan-before-temperatures-drop>)

In Canada le condizioni di freddo durante il periodo invernale possono divenire anche estreme, sia per durata delle avvezioni fredde che per la loro intensità. In tali condizioni, il rischio di congelamento delle parti più esposte, in particolare mani, piedi e volto, risulta meno elevato, soprattutto per lavori che prevedono esposizioni prolungate in ambiente outdoor.

Il sito dedicato ([https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys\\_agents/cold\\_working.html](https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/cold_working.html)) riporta i limiti di esposizione prima del congelamento della pelle nelle parti esposte secondo il Wind Chill Temperature Index (**Tabella 13**) che individua delle classi di rischio colorimetriche che vanno dalla classe 1 in celeste chiaro (aumento del rischio di congelamento per la maggior parte della popolazione per esposizioni dai 10 ai 30 minuti) fino alla classe 5 in blu scuro (alto rischio di congelamento per la maggior parte della popolazione anche per esposizioni inferiori ai 2 minuti).



<b>WIND CHILL TEMPERATURE INDEX</b> Frostbite Times are for Exposed Facial Skin												
Air Temperature (°C)												
Wind Speed (km/h)	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
5	4	-2	-7	-13	-19	-24	-30	-36	-41	-47	-53	-58
10	3	-3	-9	-15	-21	-27	-33	-39	-45	-51	-57	-63
15	2	-4	-11	-17	-23	-29	-35	-41	-48	-54	-60	-66
20	1	-5	-12	-18	-24	-30	-37	-43	-49	-56	-62	-68
25	1	-6	-12	-19	-25	-32	-38	-44	-51	-57	-64	-70
30	0	-6	-13	-20	-26	-33	-39	-46	-52	-59	-65	-72
35	0	-7	-14	-20	-27	-33	-40	-47	-53	-60	-66	-73
40	-1	-7	-14	-21	-27	-34	-41	-48	-54	-61	-68	-74
45	-1	-8	-15	-21	-28	-35	-42	-48	-55	-62	-69	-75
50	-1	-8	-15	-22	-29	-35	-42	-49	-56	-63	-69	-76
55	-2	-8	-15	-22	-29	-36	-43	-50	-57	-63	-70	-77
60	-2	-9	-16	-23	-30	-36	-43	-50	-57	-64	-71	-78
65	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72	-79
70	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72	-80
75	-3	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-59	-66	-73	-80
80	-3	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-60	-67	-74	-81

<b>FROSTBITE GUIDE</b>
Increasing risk of frostbite for most people in 10 to 30 minutes of exposure
High risk for most people in 5 to 10 minutes of exposure
High risk for most people in 2 to 5 minutes of exposure
High risk for most people in 2 minutes of exposure or less

**Tabella 13** Wind Chill Temperature Index e rischio di congelamento  
([https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys\\_agents/cold\\_working.html](https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/cold_working.html))

Inoltre, vengono riportati gli effetti sulla salute per ciascuna classe di rischio di Wind Chill Temperature Index e viene indicato il comportamento più idoneo da adottare per cercare di limitare gli effetti sulla salute. Le classi di rischio individuate sono 6 e vanno da un rischio basso (low risk) fino a un rischio estremo (extreme risk).

Nella classe di rischio più bassa (low risk) viene suggerito di indossare abiti caldi e di mantenersi asciutti mentre i suggerimenti tendono a divenire di più e più complessi nelle classi di rischio successive (moderate risk and high risk) dove viene indicato di utilizzare anche uno strato di vestiti che non permettano una penetrazione del vento, indossare cappello e guanti, oltre che mantenersi molto attivi durante il periodo di esposizione. A seguire le classi di rischio molto alto e rischio severo aggiungono la necessità di indossare anche indumenti, guanti e cappello waterproof, indossare una maschera per il volto in modo da coprire con uno strato di tessuto tutte le parti del corpo. Infine, le classi di rischio severo e estremo prevedono tra le altre cose una sospensione totale delle attività all'aperto fino al ripristino di condizioni termoigrotriche idonee (Tabella 14).

Wind Chill Hazards and What To Do			
Wind Chill	Exposure Risk	Health Concerns	What to Do
0 to -9	Low risk	<ul style="list-style-type: none"> <li>Slight increase in discomfort</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dress warmly</li> <li>Stay dry</li> </ul>
-10 to -27	Moderate risk	<ul style="list-style-type: none"> <li>Uncomfortable</li> <li>Risk of <u>hypothermia</u> and <u>frostbite</u> if outside for long periods without adequate protection.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dress in layers of warm clothing, with an outer layer that is wind-resistant.</li> <li>Wear a hat, mittens or insulated gloves, a scarf and insulated, waterproof footwear.</li> <li>Stay dry.</li> <li>Keep active</li> </ul>
-28 to -39	<b>High Risk:</b> exposed skin can freeze in 10 to 30 minutes	<ul style="list-style-type: none"> <li>High risk of <u>frostnip</u> <u>frostbite</u>: Check face and extremities for numbness or whiteness.</li> <li>High risk of <u>hypothermia</u> if outside for long periods without adequate clothing or shelter from wind and cold.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dress in layers of warm clothing, with an outer layer that is wind-resistant</li> <li>Cover exposed skin</li> <li>Wear a hat, mittens or insulated gloves, a scarf, neck tube or face mask and insulated, waterproof footwear</li> <li>Stay dry</li> <li>Keep active</li> </ul>
-40 to -47	<b>Very high risk:</b> exposed skin can freeze in 5 to 10 minutes  (In sustained winds over 50 km/h, frostbite can occur faster than indicated.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Very high risk of <u>frostbite</u>: Check face and extremities for numbness or whiteness.</li> <li>Very high risk of <u>hypothermia</u> if outside for long periods without adequate clothing or shelter from wind and cold.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dress in layers of warm clothing, with an outer layer that is wind-resistant.</li> <li>Cover all exposed skin.</li> <li>Wear a hat, mittens or insulated gloves, a scarf, neck tube or face mask and insulated, waterproof footwear.</li> <li>Stay dry</li> <li>Keep active.</li> </ul>
-48 to -54	<b>Severe risk:</b> exposed skin can freeze in 2 to 5 minutes  (In sustained winds over 50 km/h, frostbite can occur faster than indicated.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Severe risk of <u>frostbite</u>: Check face and extremities frequently for numbness or whiteness.</li> <li>Severe risk of <u>hypothermia</u> if outside for long periods without adequate clothing or shelter from wind and cold.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Be careful. Dress very warmly in layers of clothing, with an outer layer that is wind-resistant.</li> <li><b>Cover all exposed skin</b></li> <li>Wear a hat, mittens or insulated gloves, a scarf, neck tube or face mask and insulated, waterproof footwear.</li> <li><b>Be ready to cut short or cancel outdoor activities.</b></li> <li>Stay dry.</li> <li>Keep active.</li> </ul>
-55 and colder	<b>Extreme risk:</b> exposed skin can freeze in less than 2 minutes	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>DANGER!</b> Outdoor conditions are hazardous.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Stay indoors.</b></li> </ul>

**Tabella 14** Valori di Wind Chill, livelli di esposizione e suggerimenti per ridurre il rischio. Da “Wind Chill Index” Environment Canada (2017) ([https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys\\_agents/cold\\_working.html](https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/cold_working.html))

Inoltre, all’interno della piattaforma sono mostrati suggerimenti per l’abbigliamento molto dettagliati in sezioni distinte per guanti, copricapo, calzini, scarpe, volto e protezione degli occhi, oltre che fornire informazioni sulle procedure di emergenza da adottare in caso di infortuni legati all’esposizione a basse temperature. Anche in gran parte degli stati del Canada (es. Quebec ed Ontario), così come negli Stati Uniti, una diffusa campagna informativa viene effettuata sulla popolazione lavorativa durante la stagione fredda al fine di sensibilizzarla ai rischi connessi all’esposizione alle basse temperature e per questo vengono utilizzati anche canali social come per esempio twitter.

In **Figura 11** si riporta un messaggio twitter del governo canadese emesso poco prima dall'arrivo di una intensa ondata di freddo durante la stagione invernale 2020.

**LiUNA! WESTERN CANADA**  
*Feel the Power*

## COLD STRESS

*Experiencing severe cold stress can lead to hypothermia, which can be fatal. Cold stress can affect people working in cold or wet environments. Workers may show symptoms ranging from shivering to loss of consciousness.*

Taking the following steps could help reduce the risk of cold stress or hypothermia:

- WEAR A WARM HEAD COVERING**  
Most body heat is lost through the head.
- WEAR LAYERED CLOTHING**  
Layers allow warm air to stay trapped but do not trap perspiration next to the skin.
- DRINK PLENTY OF FLUIDS (Non-alcoholic)**  
Doing this will help prevent dehydration and exhaustion, which can lead to hypothermia. Heated drinks can be helpful, but limit your intake of coffee and tea.
- PACE YOURSELF DURING RIGOROUS ACTIVITY**  
Take regular breaks to get away from the cold environment.
- WHEN IT IS POSSIBLE HEAT THE WORKING ENVIRONMENT**  
For instance, heated cabs or shelters can help protect workers from cold and damp environments.

Source: worksafebc.com

**Figura 11** Esempio di messaggio Twitter emesso durante la stagione invernale 2020 dal governo canadese

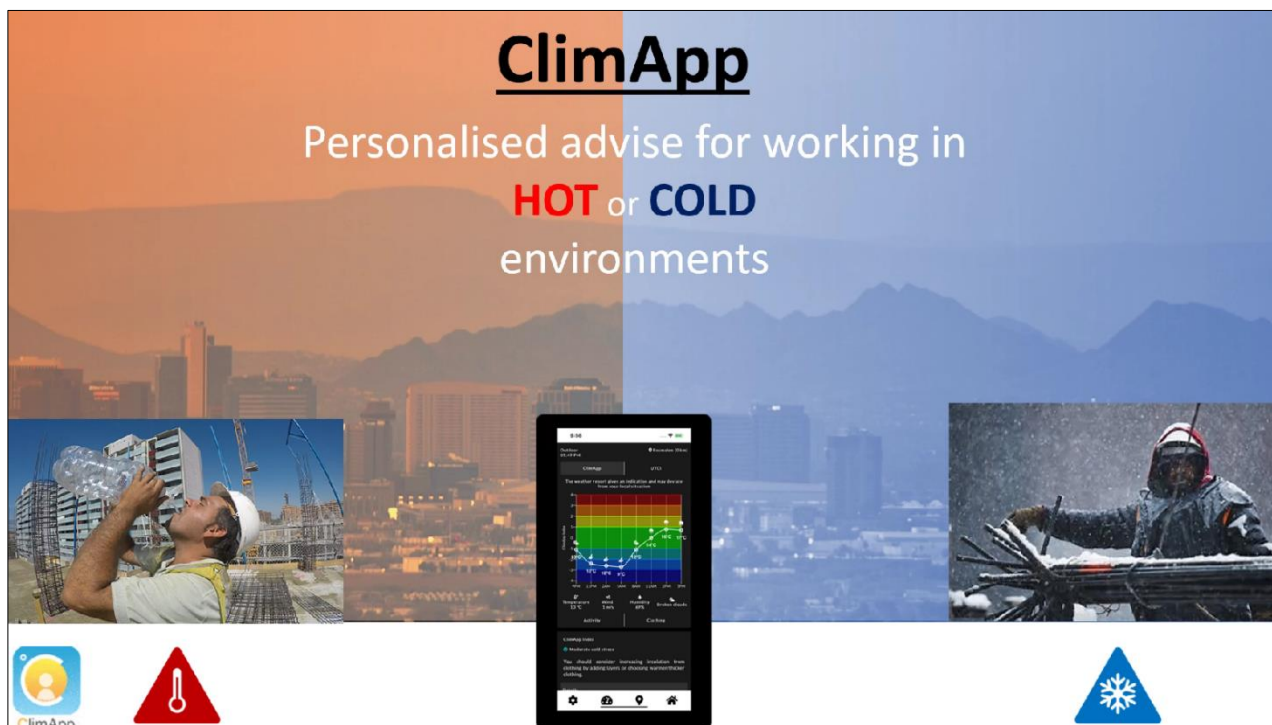
### 3.1 CLIMAPP

Un progetto europeo, chiamato “Translating climate service information into personalized adaptation strategies to cope with thermal climate stress” (<http://www.lth.se/climapp/dissemination/publications/>), finanziato dall’Area di Ricerca Europa per i Servizi Climatici (ERA45S), così come già descritto nel report



relativo alla descrizione dei sistemi operativi di allerta da caldo esistenti a livello internazionale (report attività 4.1), ha messo a punto una piattaforma web-app di previsioni personalizzate al settore occupazionale.

Il progetto è attualmente concluso ed ha sviluppato un'App (**Figura 12**) che integra le informazioni sulle previsioni del tempo in un modello di bilancio termico umano, fornendo quindi uno strumento intuitivo fruibile da dispositivo mobile, interattivo ed in grado di migliorare il processo decisionale per le strategie di adattamento in ambito occupazionale. In particolare, il sistema si basa sull'indicatore UTCI che, come già descritto in precedenza, permette di fornire informazioni di allerta per gli estremi termici in ambiente outdoor, sia per quanto riguarda il caldo che per quanto concerne il freddo.



**Figura 12.** Applicazione *ClimApp* che fornisce informazioni relative sia al rischio caldo che rischio freddo in ambito occupazionale sfruttando le potenzialità dell'indice UTCI.

Accedendo all'applicazione, si apre una dashboard dalla quale è possibile impostare le informazioni principali accedendo alla sezione "personalizzazione". In tale sezione l'utente deve indicare la tipologia di attività che esso svolge (camminata, corsa, lavoro manuale, ecc.), l'intensità dello sforzo (lieve, moderato, intenso, ecc.), l'abbigliamento indossato, le caratteristiche fisiche ed il livello di acclimatazione. Nella parte bassa della dashboard è presente un menù con icone grafiche che permette di accedere a numerose funzionalità che consentono la personalizzazione della applicazione e quindi l'impostazione di un sistema di previsione personalizzato. È inoltre presente anche una simulazione guidata per aiutare l'utente a prendere familiarità con lo strumento. Per quanto riguarda il rischio freddo, la App fornisce informazioni relativamente a diverse classi di rischio secondo l'indice UTCI a cui sono affiancati anche dei suggerimenti comportamentali e norme di pronto soccorso. Per ulteriori informazioni sul funzionamento della App si rimanda al report 4.1.

### 3.2 Il sistema prototipale del CNR-LaMMA di previsione dell'UTCI

Sfruttando le potenzialità dell'indice UTCI, l'Istituto per la Bioeconomia del Consiglio Nazionale delle Ricerche (IBE-CNR) ed il Laboratorio per la Meteorologia e la Modellistica Ambientale (LaMMA) hanno implementato una procedura di calcolo che, partendo da modelli meteorologici ad area limitata (LAM) con risoluzione anche inferiore a 10 Km, produce giornalmente delle mappe orarie di disagio termico al sole ed all'ombra secondo

l'indice UTCI (Figura 13 e 14). La piattaforma previsionale permette di visualizzare previsioni orarie a livello italiano fino a 120 ore (5 giorni). Il disagio termico è espresso mediante una scala colorimetrica con 10 livelli che vanno da un disagio da freddo estremo (colore blu scuro) ad un disagio da caldo estremo (colore fucsia).

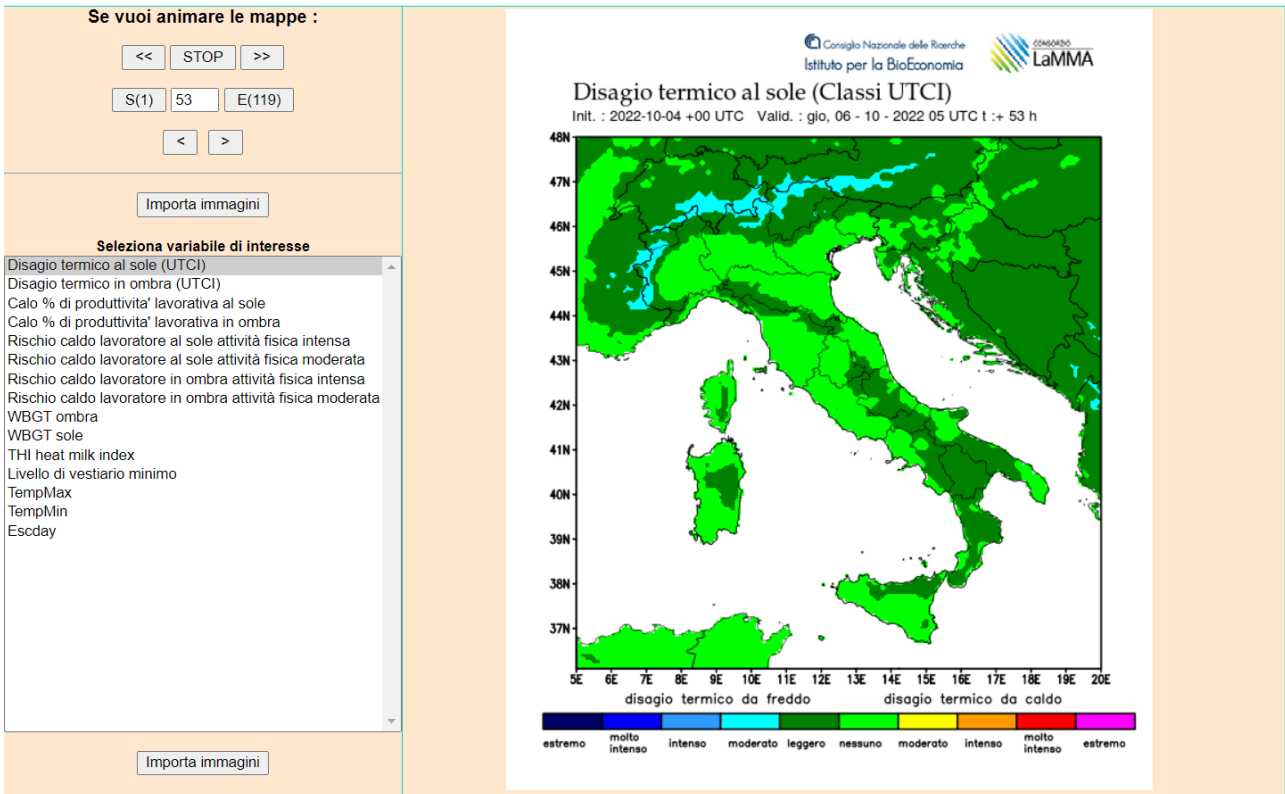


Figura 13. La piattaforma previsionale con un esempio di mappa sperimentale oraria di disagio termico all'ombra secondo l'indice UTCI, sviluppata da IBE-CNR e Consorzio LaMMA.

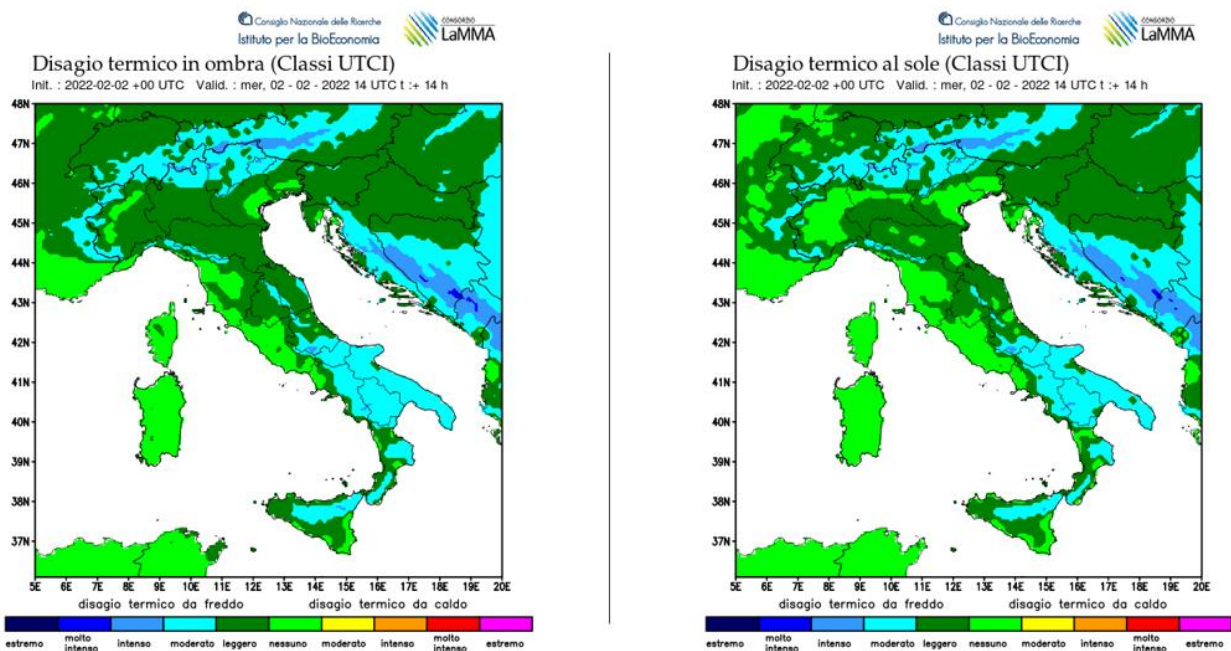


Figura 14. Mappa sperimentale di disagio termico all'ombra (mappa a sinistra) e al sole (mappa a destra) secondo l'indice UTCI, sviluppata da IBE-CNR e Consorzio LaMMA.

La piattaforma inoltre permette anche la previsione del rischio di congelamento per le parti di corpo esposte (soprattutto mani e viso) sulla base dell'indice Wind Chill e la previsione del livello di resistenza termica minima (clo min) necessario per mantenere condizioni di comfort termico all'aperto. Quest'ultima procedura si basa su una procedura previsionale sviluppata e applicata in precedenti studi (Morabito et al., 2008; 2011). La procedura sarà in futuro implementata con la previsione dell'indice IREQmin e dell'IREQneutral con l'obiettivo di prevedere a livello orario il valore di isolamento termico in grado di assicurare condizioni minime accettabili (quindi tollerabili) o in grado di garantire condizioni di neutralità termica.

## 4. Bibliografia

UNI EN ISO 11079 2008. *Ergonomics of the thermal environment -Determination and interpretation of cold stress when using required clothinginsulation (IREQ) and local cooling effects*

UNI EN ISO 15743 2008. *Ergonomics of the thermal environment — Cold workplaces — Risk assessment and management.*

UNI EN ISO 15265:2005 *Ergonomia dell'ambiente termico- Strategia di valutazione del rischio per la prevenzione dello stress o del disagio termico in condizioni di lavoro*

Certifico Srl - IT Rev. 1.0 2018. *Valutazione del rischio ambienti freddi. EN ISO15743 Gestione. EN ISO 11079 IREQ e tWC.*

Siple, Paul A., and Charles F. Passel. "Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures." *Proceedings of the American Philosophical Society* 89.1 (1945): 177-199.

Steadman, R. G. "Indices of Windchill of Clothed Persons." *Journal of Applied Meteorology* (1962-1982), vol. 10, no. 4, 1971, pp. 674–83. JSTOR, <http://www.jstor.org/stable/26175675>. Accessed 16 Sep. 2022.

Harvey V. Lankford, MD; Leslie R. Fox 2021. *The Wind-Chill Index. Wilderness & Environmental Medicine, Volume 32, Issue 3, Pages 392-399, ISSN 1080-6032.* <https://doi.org/10.1016/j.wem.2021.04.005>.

Bröde P., Fiala D., Błażejczyk K., Holmér I., Jendritzky G., Kampmann B., Tinz B., Havenith G., 2012b. *Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI).* *Int J Biometeorol.* 56(3):481-94. doi: <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0454-1>.

Pappenberger F., Jendritzky G., Staiger H., Dutra E., Di Giuseppe F., Richardson D.S., Cloke H.L., 2015. *Global forecasting of thermal health hazards: the skill of probabilistic predictions of the Universal Thermal Climate Index (UTCI).* *Int J Biometeorol.* 59(3):311-23. doi: <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0843-3>.

Vatani J., Golbabaee F., Dehghan S.F., Yousefi A., 2016. *Applicability of Universal Thermal Climate Index (UTCI) in occupational heat stress assessment: a case study in brick industries.* *Ind Health* 54(1):14-9. doi: 10.2486/indhealth.2015-0069. Epub 2015 Aug 28.

Nassiri P., Monazzam M.R., Golbabaee F., Dehghan S.F., Rafieepour A., Morteza pour A.R., Asghari M., 2017. *Application of Universal Thermal Climate Index (UTCI) for assessment of occupational heat stress in open-pit mines.* *Ind Health*, 55(5):437-443. doi: <https://doi.org/10.2486/indhealth.2017-0018>.

Bröde P., Fiala D., Lemke B., Kjellstrom T., 2018. *Estimated work ability in warm outdoor environments depends on the chosen heat stress assessment metric.* *Int J Biometeorol*, 62(3):331-345. doi: <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1346-9>.

Marinaccio A., Scortichini M., Gariazzo C., Leva A., Bonafede M., de' Donato F.K., Stafoggia M., Viegli G., Michelozzi P. 2019. *Nationwide epidemiological study for estimating the effect of extreme outdoor temperature on occupational injuries in Italy.* *Environment International.* (Pt A):105176. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105176>.

Bixun Yan, Fateh Chebana, Pierre Masselot, Céline Campagna, Pierre Gosselin, Taha B.M.J. Ouarda, Éric Lavigne, *A cold-health watch and warning system, applied to the province of Quebec (Canada), Science of The Total Environment, Volume 741, 2020, 140188, ISSN 0048-9697,* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140188>.

Morabito M, Crisci A, Cecchi L, Modesti PA, Maracchi G, Gensini GF, Orlandini S. A biometeorological procedure for weather forecast to assess the optimal outdoor clothing insulation. *Eur J Appl Physiol.* 2008 Sep;104(2):221-8. doi: <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0686-x>.

Morabito M, Pavlinic DZ, Crisci A, Capecchi V, Orlandini S, Mekjavic IB. Determining optimal clothing ensembles based on weather forecasts, with particular reference to outdoor winter military activities. *Int J Biometeorol.* 2011 Jul;55(4):481-90. doi: <https://doi.org/10.1007/s00484-010-0357-6>.