

# Progetto WORKLIMATE

<https://www.workclimate.it/>



## Obiettivo Operativo 4 (O4)

*Sviluppo di un sistema di allerta da caldo, integrato meteo-climatico ed epidemiologico, specifico per il settore occupazionale e studio di fattibilità di un sistema di allerta da freddo.*

### Report attività 4.1 (A 4.1)

*Revisione dei sistemi di allerta da caldo e selezione degli indicatori da utilizzare per valutare l'impatto sui lavoratori.*

**Responsabile Scientifico:** Morabito Marco – Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto per la BioEconomia (IBE)

**Responsabili Unità Operativa Interna del Dipartimento della Ricerca dell'INAIL:** Alessandro Marinaccio e Michela Bonafede - Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro ed Ambientale - Laboratorio di Epidemiologia Occupazionale e Ambientale

**Coordinatore Obiettivo Operativo 4 (O4):** Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto per la BioEconomia (IBE)

**Referente A 4.1:** Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto per la BioEconomia (IBE)

*Calendario dell'attività da Diagramma di Gantt:* Inizio 15 giugno 2020- Termine 15 marzo 2021



Autori: Marco Morabito - Alessandro Messeri - Alfonso Crisci

Con il contributo e revisione di: Miram Levi - Iole Pinto - Paola Michelozzi - Francesca de' Donato - Bernardo Gozzini - Daniele Grifoni - Michela Bonafede - Alessandro Marinaccio

## Sommario

1. Introduzione .....	3
2. Indicatori utilizzati in ambito occupazionale per la valutazione dello stress termico da caldo .....	5
2.1 Apparent Temperature.....	5
2.1.1 Vantaggi e limiti di utilizzo dell'indicatore AT in ambito occupazionale .....	6
2.2 Humidex .....	6
2.2.1 Vantaggi e limiti di utilizzo dell'indicatore H in ambito occupazionale .....	9
2.3 Wet Bulb Globe Temperature.....	9
2.3.1 Vantaggi e limiti di utilizzo dell'indicatore WBGT in ambito occupazionale.....	12
2.4 Heat Index.....	13
2.4.1 Vantaggi e limiti di utilizzo dell'indicatore HI in ambito occupazionale .....	15
2.5 Predicted Heat Strain .....	15
2.5.1 Vantaggi e limiti di utilizzo dell'indicatore PHS in ambito occupazionale .....	16
2.6 Universal Thermal Climate Index.....	17
2.6.1 Vantaggi e limiti di utilizzo dell'indicatore UTCI in ambito occupazionale .....	19
2.7 Thermal Work Limit.....	20
2.7.1 Vantaggi e limiti di utilizzo dell'indicatore TWL in ambito occupazionale.....	21
3. Sistemi di allerta da caldo per i lavoratori esistenti a livello internazionale.....	22
3.1 Servizi WEB .....	22
3.1.1 Heat-Shield.....	22
3.2 Servizi con Applicazione Mobile.....	27
3.2.1 OSHA-NIOSH SAFETY TOOL .....	27
3.2.2 ClimApp.....	29
3.2.3 Work Wyze Heat Safety App .....	32
3.2.4 PHS application.....	34
4. Conclusioni e prospettive per lo sviluppo di un sistema di allerta da caldo .....	38
5. Bibliografia.....	40

## 1. Introduzione

Gli effetti dell'esposizione al caldo sulla salute umana, in particolare sulle categorie maggiormente vulnerabili è oramai confermato dalla comunità scientifica internazionale. L'esposizione quotidiana alle elevate temperature durante la stagione calda rappresenta un grave problema anche in ambito occupazionale, soprattutto per i lavoratori che svolgono la propria mansione in ambienti non condizionati, esposti per lunghi periodi di tempo alla radiazione solare, magari anche a contatto con superfici o macchinari che emettono calore e spesso indossando dispositivi di protezione individuale (DPI) che rendono difficile la dispersione del calore corporeo. L'emergenza sanitaria dovuta alla pandemia ed il crescente aumento dell'età media dei lavoratori, non fanno che accentuare questo rischio (Morabito et al., 2020a). Oltre a questo, dobbiamo considerare che condizioni di caldo intenso sono sempre più frequenti durante la stagione estiva, ma anche nelle stagioni intermedie, in molti paesi europei con particolare riferimento ai quelli che si affacciano sul bacino del mediterraneo (Morabito et al., 2017). Secondo il NOAA (2019), il 2019 è stato il secondo anno più caldo degli ultimi 140 anni e il 2020 è stato uno dei tre anni più caldi mai registrati a livello globale (WMO 2020). Per questo motivo sono sempre più numerosi gli studi che analizzano l'impatto dello stress da caldo sulla salute e produttività dei lavoratori in termini di riduzione delle prestazioni cognitive e fisiche sul posto di lavoro oltre che essere associato a un aumento della frequenza degli infortuni (Bonafede et al., 2016, Krishnamurthy et al., 2017, Binazzi et al., 2019, Marinaccio et al., 2019, Vanos et al., 2019, Knittel et al., 2020, Fatima et al., 2021). Assume quindi sempre maggiore rilevanza l'adozione di misure preventive volte a ridurre l'impatto del caldo sulla salute dei lavoratori. A livello internazionale ed europeo i sistemi di allerta correntemente in uso vengono utilizzati nei piani di prevenzione per modulare specifici interventi rivolti ai sottogruppi a maggior rischio, quali per esempio gli anziani, i bambini, i soggetti che soffrono di patologie croniche, ma sono ancora pochissimi i sistemi operativi di allerta da caldo costruiti esplicitamente per l'ambito occupazionale. Una recente revisione della letteratura scientifica (Casanueva et al., 2019), ha analizzato i principali sistemi di allerta da caldo (Heat Health Warning System, HHWS) presenti a livello europeo ed indirizzati sia alla popolazione generale che a categorie vulnerabili, tra le quali rientra anche il settore occupazionale. In totale sono state raccolte informazioni provenienti da 16 nazioni europee e per ogni HHWS individuato, sono stati indicati l'ente o istituto fornitore del servizio, tipologia di modello meteorologico utilizzato (es. probabilistico o deterministico), la risoluzione spaziale dell'informazione (città, regione, nazione, etc.), la risoluzione temporale (previsione giornaliera, per fasce orarie, etc.), la validità della previsione (a 2 giorni, a 3 giorni, etc.), il canale utilizzato per diffondere il messaggio (sito web, app, tv, etc.), la tipologia di informazione ed infine la categoria a cui è indirizzato il sistema di allerta ed il piano di prevenzione (popolazione generale, gruppi vulnerabili, etc.). In questo report sono anche state raccolte informazioni circa l'indicatore di stress termico e le relative soglie di rischio (climatologiche, biometeorologiche, epidemiologiche) utilizzate nei sistemi di allerta al momento sviluppati o che comunque sono stati utilizzati per applicazioni legate alla valutazione dello stress da caldo in ambito occupazionale, oltre che l'eventuale presenza di linee guida comportamentali o piani di gestione del rischio associati al servizio. La revisione ha messo in luce come la maggior parte delle nazioni europee non presenta un sistema di allerta termico specifico per il settore occupazionale e, nei casi in cui esso è presente, non è personalizzato, cioè calibrato in funzione delle caratteristiche del lavoratore, della sua attività e dell'ambiente di esposizione, ma fornisce informazioni generalizzate per l'ambito occupazionale. Questo report si prefigge l'obiettivo di analizzare i sistemi di allerta da caldo attualmente presenti in ambito internazionale (disponibili in lingua inglese) che sono indirizzati direttamente ai lavoratori, la tipologia di indicatore impiegato ed il canale informativo utilizzato per diffondere il messaggio. Per tutta una serie di motivi, tra cui il fenomeno del cambiamento climatico, l'emergenza sanitaria in atto legata alla diffusione del nuovo coronavirus SARS-CoV-2, il crescente aumento dell'età media dei lavoratori, la tutela dai rischi connessi alle temperature estreme richiede sempre una crescente attenzione. Sistemi di allerta specifici e calibrati per il settore occupazionale integrati con informazioni operative per contrastare gli effetti del caldo in ambito lavorativo rappresentano delle strategie di adattamento fondamentali per proteggere in primis la salute dei lavoratori e che

permettono di contenere gli importanti effetti economici legati alla perdita di produttività caldo correlata dovuta a un aumento dei costi-sociali (ad es. aumento degli infortuni) e a una generalizzata minore efficienza dei lavoratori (Zhao et al., 2016; Takakura et al., 2017; Morabito et al., 2019; Morabito et al., 2020b).

## 2. Indicatori utilizzati in ambito occupazionale per la valutazione dello stress termico da caldo

Gli indicatori utilizzati per la valutazione delle condizioni di stress termico sono numerosissimi a livello internazionale, ma pochi di essi si prestano ad essere impiegati in ambito occupazionale. Generalmente tali indicatori possono essere classificati in 3 categorie: 1) indici razionali, basati sull'equazione del bilancio termico; 2) indici empirici, basati su parametri fisiologici oggettivi e soggettivi; 3) indici diretti, che si fondano sulla misurazione diretta di alcune variabili ambientali. Mentre le prime due categorie appaiono difficilmente applicabili dal punto di vista previsionale nel contesto occupazionale, perché richiedono misurazioni difficilmente reperibili, gli indici diretti sono più semplici da utilizzare soprattutto se innestati in catene operative di previsioni meteorologiche. La loro applicabilità, inoltre, proprio grazie alla loro informazione generalizzata e di screening, è sicuramente più ampia. I parametri generalmente impiegati per il calcolo di tali indicatori, finalizzati a valutare la condizione di benessere/disagio termico, sono rappresentati dalla temperatura dell'aria, l'umidità relativa (o pressione di vapore o temperatura di bulbo umido), la velocità del vento, la pressione atmosferica, la radiazione solare, la temperatura globotermometrica (o la temperatura media radiante). La loro applicazione è in funzione di tutta una serie di parametri che vanno dall'ambiente termico da monitorare alle caratteristiche del soggetto, alla tipologia di attività che esso sta svolgendo, solo per ricordarne alcune ed in ambito occupazionale la situazione è ancora più complessa perché i fattori che entrano in gioco sono ancora maggiori (es. legati all'impiego di dispositivi di protezione individuale, turni di lavoro, ecc.). Negli ultimi 100 anni più di 170 indici di stress da calore sono stati proposti e alcuni di questi sono anche stati adattati e maggiormente impiegati per la tutela della salute in ambito occupazionale (de Freitas e Grigorieva, 2015), tuttavia solo pochissimi di essi sono stati implementati operativamente in sistemi di allerta in ambito occupazionale.

### 2.1 Apparent Temperature

L'Apparent Temperature Index (AT), elaborato nel 1979 (Steadman 1979a, 1979b) e revisionato in successivi lavori (Steadman 1984, 1994), è stato il primo indice di calore a essere stato impiegato operativamente in una forma riadattata (come Heat Index) negli Stati Uniti dal National Weather Service per fornire previsioni del disagio da caldo su una vasta area geografica (Bacci e Morabito 2002). Esso si basa su una serie di funzioni che permettono di stimare le reazioni del corpo umano al variare di alcune variabili ambientali. Steadman ha in questo modo sviluppato varie formule che permettono di stimare la temperatura apparente considerando la combinazione tra vari parametri meteorologici. L'AT può essere calcolata utilizzando tre formule, la prima  $AT_{ind}$  prende in considerazione soltanto la temperatura dell'aria ( $T_a$ , °C) e la pressione di vapore ( $P_a$ , kPa), quindi adatta a descrivere condizioni indoor, senza considerare il contributo derivante da altre variabili come il vento e la radiazione solare (Steadman 1994):

$$AT_{ind} = 0.89 T_a + 3.83 P_a - 2.56$$

La seconda formula  $AT_{sha}$  invece prende in considerazione anche l'effetto del vento ( $V_{10}$ ,  $ms^{-1}$ , misurato a 10 m dal suolo) quando la pressione di vapore è prossima a 1,6 kPa, quindi adatta a descrivere condizioni all'aperto ma in zone d'ombra:

$$AT_{sha} = T_a + 3.30 P_a - 0.70 V_{10} - 4.00$$

La terza formula  $AT_{sun}$  permette anche di tenere in considerazione del contributo derivante dalla radiazione solare ( $Q_g$  è il flusso di calore per unità di superficie corporea dovuta alla radiazione extra netta), riuscendo quindi meglio a caratterizzare le condizioni all'aperto.

$$AT_{sun} = T_a + 0.348 P_a - 0.70 V_{10} + 0.70 (Q_g / (V_{10} + 10)) - 4.25$$

Tale indice in Italia è stato applicato operativamente in passato nell'ambito del servizio di "Sorveglianza attiva dell'anziano fragile in Toscana" (Morabito et al., 2012) e per previsioni biometeorologiche per la popolazione generale ([www.biometeo.it](http://www.biometeo.it)). In ambito Italiano, una versione semplificata di questo indicatore viene utilizzata anche nel "Sistema Nazionale di Sorveglianza, previsione e di allarme per la prevenzione degli effetti delle ondate di calore sulla salute della popolazione del Ministero della Salute" (Michelozzi et al., 2010) disponibili sia tramite web nell'area dedicata al caldo del sito del Ministero della salute [www.salute.gov.it/caldo](http://www.salute.gov.it/caldo) che tramite la APP "Caldo e Salute". Attraverso un'analisi di serie temporale tale indice viene messo in relazione ai dati di mortalità giornaliera per definire livelli di allerta città specifici. Tale indice viene utilizzato anche in ambito occupazionale, con particolare riferimento all' Australian Institute of Occupational Hygienists (AIOH) che lo utilizza in uno specifico sistema di warning dedicato al settore occupazionale e fruibile mediante applicazione mobile (Work Wyze Heat Safety App, descritta nel paragrafo 3.2.3).

### 2.1.1 Vantaggi e limiti di utilizzo dell'indicatore AT in ambito occupazionale

Grazie alle sue caratteristiche, questo indice permette di tenere in considerazione l'effetto di molte variabili meteorologiche (generalmente facilmente reperibili) e può essere applicato in un ampio intervallo di temperatura (tra -40 °C e +50 °C).

Tuttavia, il principale limite nell'applicabilità di tale indicatore in un sistema di allerta indirizzato al settore occupazionale è comunque legato al fatto che l'indice è stato sviluppato con riferimento a un soggetto con caratteristiche standard: altezza 1,7 m e peso 67 kg, quindi con una superficie corporea di 1,78 m<sup>2</sup>; persona che indossa pantaloni lunghi e camicia o maglietta a maniche corte; persona impegnata in una attività all'aperto equivalente a quella di una camminata a 1,4 m s<sup>-1</sup> e che genera un flusso metabolico di circa 180 W m<sup>2</sup>. L'indicatore, quindi, non tiene conto di altri livelli di tasso metabolico che nella realtà lavorativa possono variare sensibilmente in base al compito svolto, o ancora non permette di valutare la situazione ipotizzando di indossare capi di abbigliamento differenti o dispositivi di protezione individuali e che sono spesso impiegati in ambito lavorativo per lo svolgimento di determinate mansioni.

## 2.2 Humidex

L'indice "Humidex" (H) (Masterson and Richardson 1979) è stato sviluppato in Canada, dove ancora oggi è utilizzato durante la stagione estiva in sistemi di warning per la popolazione generale. Tale indice permette di tenere in considerazione l'effetto combinato di temperatura dell'aria (Ta, °C) e pressione di vapore (Pa, hPa). La formula impiegata per il calcolo dell'Humidex è la seguente (Masterson & Richardson 1979):

$$H = Ta + (0.5555 (Pa - 10))$$

Dove:

Ta= Temperatura dell'aria (°C)

Pa= Pressione di vapore (hPa)

L'indice Humidex è utilizzato in sistemi di valutazione dei rischi connessi al caldo in ambito occupazionale, con particolare riferimento all'"Occupational Health and Safety Council" dell'Ontario, in Canada (<https://www.ohcow.on.ca/heat-response-handouts.html>). Il sistema Canadese è basato sui valori soglia (Threshold Limit Value) di stress da caldo individuati da ACGIH secondo l'indice WBGT ma tradotti in valori di Humidex. I valori soglia sono impostati da ACGIH al fine di evitare un innalzamento della temperatura corporea dei lavoratori al di sopra dei 38 °C per i lavoratori non acclimatati e 38.5 °C per i lavoratori acclimatati. È necessario considerare che i lavoratori che svolgono un lavoro moderato sono considerati acclimatati in Ontario solo se lavorano regolarmente in prossimità di fonti di calore (ad esempio nelle

fonderie, intorno a forni, ecc.). Il sistema prevede quindi due classificazioni dei valori soglia di Humidex rispettivamente per un soggetto non acclimatato (Humidex 1) o acclimatato (Humidex 2) che svolge una attività moderata (Tabella 1).

<b>Humidex 1</b>	<b>Response</b>	<b>Humidex 2</b>
<b>25 – 29</b>	supply water to workers on an “as needed” basis	<b>32 – 35</b>
<b>30 – 33</b>	post Heat Stress Alert notice; encourage workers to drink extra water; start recording hourly temperature and relative humidity	<b>36 – 39</b>
<b>34 – 37</b>	post Heat Stress Warning notice; notify workers that they need to drink extra water; ensure workers are trained to recognize symptoms	<b>40 – 42</b>
<b>38 – 39</b>	work with 15 minutes relief per hour can continue; provide adequate cool (10-15°C ) water; at least 1 cup (240 mL) of water every 20 minutes worker with symptoms should seek medical attention	<b>43 – 44</b>
<b>40 – 41</b>	work with 30 minutes relief per hour can continue in addition to the provisions listed previously;	<b>45 – 46*</b>
<b>42 – 44</b>	if feasible, work with 45 minutes relief per hour can continue in addition to the provisions listed above.	<b>47 – 49*</b>
<b>45 or over</b>	only medically supervised work can continue	<b>50* or over</b>

*Tabella 1. Valori soglia di Humidex e consigli comportamentali associati (www.ohcow.on.ca)*

Inoltre, è presente un piano di azione in funzione dei valori osservati di Humidex ed al quale sono associati dei consigli comportamentali, con particolare riferimento alle pause, oltre che una sensibilizzazione del lavoratore nei confronti di eventuali sintomatologie caldo correlate (Tabella 2).

Temp (in °C)	Relative Humidity (in %)																	
	100%	95%	90%	85%	80%	75%	70%	65%	60%	55%	50%	45%	40%	35%	30%	25%	20%	15%
49	<b>NEVER IGNORE ANYONE'S SYMPTOMS DESPITE YOUR MEASUREMENTS!!!</b>																	
48	<b>NEVER IGNORE ANYONE'S SYMPTOMS DESPITE YOUR MEASUREMENTS!!!</b>																	
47	Moderate Unacclimatized & Heavy Acclimatized							Moderate Acclimatized & Light Unacclimatized										
46	Moderate Unacclimatized & Heavy Acclimatized							Moderate Acclimatized & Light Unacclimatized										
45	Moderate Unacclimatized & Heavy Acclimatized							Moderate Acclimatized & Light Unacclimatized										
44	Moderate Unacclimatized & Heavy Acclimatized							Moderate Acclimatized & Light Unacclimatized										
43	Moderate Unacclimatized & Heavy Acclimatized							Moderate Acclimatized & Light Unacclimatized										
42	Moderate Unacclimatized & Heavy Acclimatized							Moderate Acclimatized & Light Unacclimatized										
41	Moderate Unacclimatized & Heavy Acclimatized							Moderate Acclimatized & Light Unacclimatized										
40	Moderate Unacclimatized & Heavy Acclimatized							Moderate Acclimatized & Light Unacclimatized										
39	Moderate Unacclimatized & Heavy Acclimatized							Moderate Acclimatized & Light Unacclimatized										
38	Moderate Unacclimatized & Heavy Acclimatized							Moderate Acclimatized & Light Unacclimatized										
37	Moderate Unacclimatized & Heavy Acclimatized							Moderate Acclimatized & Light Unacclimatized										
36	Moderate Unacclimatized & Heavy Acclimatized							Moderate Acclimatized & Light Unacclimatized										
35	Moderate Unacclimatized & Heavy Acclimatized							Moderate Acclimatized & Light Unacclimatized										
34	Moderate Unacclimatized & Heavy Acclimatized							Moderate Acclimatized & Light Unacclimatized										
33	Moderate Unacclimatized & Heavy Acclimatized							Moderate Acclimatized & Light Unacclimatized										
32	Moderate Unacclimatized & Heavy Acclimatized							Moderate Acclimatized & Light Unacclimatized										
31	Moderate Unacclimatized & Heavy Acclimatized							Moderate Acclimatized & Light Unacclimatized										
30	Moderate Unacclimatized & Heavy Acclimatized							Moderate Acclimatized & Light Unacclimatized										
29	Moderate Unacclimatized & Heavy Acclimatized							Moderate Acclimatized & Light Unacclimatized										
28	Moderate Unacclimatized & Heavy Acclimatized							Moderate Acclimatized & Light Unacclimatized										
27	Moderate Unacclimatized & Heavy Acclimatized							Moderate Acclimatized & Light Unacclimatized										
26	Moderate Unacclimatized & Heavy Acclimatized							Moderate Acclimatized & Light Unacclimatized										
25	Moderate Unacclimatized & Heavy Acclimatized							Moderate Acclimatized & Light Unacclimatized										
24	Moderate Unacclimatized & Heavy Acclimatized							Moderate Acclimatized & Light Unacclimatized										
23	Moderate Unacclimatized & Heavy Acclimatized							Moderate Acclimatized & Light Unacclimatized										
22	Moderate Unacclimatized & Heavy Acclimatized							Moderate Acclimatized & Light Unacclimatized										
21	Moderate Unacclimatized & Heavy Acclimatized							Moderate Acclimatized & Light Unacclimatized										

Humidex 1 general controls	ACTION RECOMMENDED	Humidex 2 specific controls
30 – 37	Warn for symptoms and extra water	36 – 42
38 – 39	Work with 15 minutes/hour relief	43 – 44
40 – 41	Work with 30 minutes/hour relief	45 – 46*
42 – 44	Work with 45 minutes/hour relief	47 – 49*
45+	Hazardous to continue physical activity	50+*

\* For Humidex ranges above 45, heat stress should be managed as per the ACGIH TLV

**Tabella 2** Valori di Humidex in funzione dei valori di temperatura ed umidità e consigli comportamentali ([https://www.ohcow.on.ca/edit/files/heatstressawareness/humidex\\_based\\_heat\\_response\\_plan\\_-\\_june\\_27\\_2017.pdf](https://www.ohcow.on.ca/edit/files/heatstressawareness/humidex_based_heat_response_plan_-_june_27_2017.pdf))

Per valori di Humidex superiori a 45, il sistema indica di seguire le linee guida di gestione del rischio caldo imposte da ACGIH. Il sistema sviluppato è di tipo osservazionale, ma potenzialmente potrebbe essere utilizzato anche in sistemi previsionali di warning specifici per il settore occupazionale, anche se presenta dei limiti difficilmente superabili e relativi alla personalizzazione dell'informazione. In particolare, non permette di discriminare le soglie di rischio in maniera dettagliata in funzione del tasso metabolico ma soprattutto non prende in considerazione l'abbigliamento indossato ed i DPI che in ambito lavorativo rappresentano un rischio aggiuntivo nella percezione dello stress termico caldo correlato. Infatti, nella documentazione disponibile è chiaramente indicato come limite che la tabella riportata sopra (Tabella 2) non considera il contributo radiativo (ad es il contributo derivante dall'esposizione alla radiazione solare) ed è valida per un lavoratore che indossa una "regolare" divisa da lavoro estiva. In situazioni diverse, invece, è necessario seguire altre indicazioni ma che comunque necessitano importanti e complesse interpretazioni oltre a correzioni arbitrarie del valore dell'indice spesso basate sull'indicatore WBGT preso comunque come riferimento per l'identificazione delle soglie di criticità e per effettuare correttivi ai valori calcolati (Tabella 3).

## Humidex Based Heat Response Plan

### Step #1: Training

- the Humidex plan by itself cannot guarantee that workers will not be affected by heat stress. It is absolutely essential that workers learn to recognize the early signs and symptoms of heat stress and know what to do to prevent them!
- if at all possible, workers need to be able to alter their pace of work, rest breaks, and fluid intake in response to early symptoms (240 mL every 20 minutes).
- the ideal heat stress response plan would let workers regulate their own pace by "listening to their body" without need for measurements.

### Step #2: Adjust for Clothing

- evaporating sweat is the primary way the body gets rid of excess heat build-up, therefore, the best clothing is the kind that makes it easiest for sweat to evaporate. The Humidex plan assumes regular summer clothes (light shirt & pants, underwear and socks and shoes).
- for workers who wear cotton overalls on top of summer clothes one should add 5° Humidex (roughly equal to 3°C WBGT) to the workplace Humidex measurement.
- for different clothing configurations, estimate correction factor by comparing them with cotton overalls (e.g. gloves, hard hat, apron, protective sleeves might be equivalent to a little less than half the evaporation resistance as overalls so add 1° or 2° Humidex).
- If clothes do not allow sweat evaporation (encapsulated suits) heat stress should be managed by monitoring vital signs (see ACGIH TLV®)

### Step #3: Select a Measurement Location

- split the workplace into heat stress zones and put a thermal hygrometer in each zone.
- identify a representative location within the zone where measurements can be taken (if you want to base your actions on a single reading, select the highest heat stress zone).

**Note:** the Humidex Heat Stress Response Plan is **based on workplace measurements** not weather station or media reports (temperatures inside buildings **do not** usually correspond with outdoor temperatures)

### Step #4: Measure Workplace Humidex

- a thermal hygrometer (usually \$10-\$50 at hardware or office supply stores) is a simple way to measure the temperature and relative humidity in your workplace
- once you have the temperature and humidity, use the table above to determine the corresponding Humidex value and the appropriate heat stress prevention response (remember to adjust for clothing (step #2) and radiant heat (step #5))
- measurements should be recorded at least hourly if the Humidex is above 30° or temperature above 26°C

**NEVER IGNORE ANYONE'S SYMPTOMS NO MATTER WHAT THE HUMIDEX!**

### Step #5: Adjusting for Radiant Heat

- for outdoor work in direct sunlight between the hours of 10 am and 5 pm, add 2-3° (pro-rate according to percentage cloud cover) to your Humidex measurement
- for indoor radiant heat exposures, use common sense to judge whether the exposure of concern involves more or less radiant heat than direct sunlight and adjust the 2-3° correction factor appropriately

*Tabella 3: Ulteriori step da attuare nel caso ci fossero condizioni che si discostano da quelle "standard" per cui le soglie sono state identificate.*

### 2.2.1 Vantaggi e limiti di utilizzo dell'indicatore H in ambito occupazionale

Il principale vantaggio nell'applicazione dell'indicatore H è legato al fatto che può essere facilmente implementato in un sistema di allerta, richiedendo la conoscenza di pochi parametri, in particolare la temperatura dell'aria e la pressione di vapore, ottenibile conoscendo il valore di umidità relativa e la pressione di vapore saturo. Molte di queste informazioni sono facilmente disponibili perché rilevate da comuni stazioni meteo e rappresentano alcuni dei parametri di output dei modelli di previsione meteorologica.

Il limite principale per l'applicazione dell'indicatore H in un sistema di allerta da caldo specifico per il settore occupazionale, però, ricade proprio nella sua eccessiva semplificazione: non permette di tenere conto dell'effetto di altre variabili meteorologiche note per influenzare sensibilmente il benessere/disagio termico all'aperto, come il vento e la radiazione solare; oltre al fatto che non permettere alcuna personalizzazione in funzione del tipo di vestiario indossato o del tipo di attività fisica svolta, come anche descritto nel paragrafo precedente.

### 2.3 Wet Bulb Globe Temperature

Il Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) è uno degli indici empirici tra i più utilizzati a livello internazionale nella valutazione dello stress termico in ambienti termici severi caldi e fu messo a punto dall'esercito degli Stati Uniti d'America intorno alla metà degli anni cinquanta con l'obiettivo di essere utilizzato in ambito occupazionale ed in particolar modo negli ambienti industriali. Inizialmente, questo metodo permetteva di stimare il rischio connesso all'esposizione alle elevate temperature ma senza considerare l'abbigliamento ed in genere i DPI che sono stati implementati successivamente (UNI EN ISO 7243, 2017). Inoltre, non permette di valutare l'esposizione al caldo per periodi brevi e quindi dovrebbe essere utilizzato per un primo screening

ed una volta appurato il problema, è necessario ed auspicabile ricorrere a standard più avanzati in grado di fornire una misura puntuale per una valutazione più accurata dello stress. Questo indicatore permette tuttavia di ottenere una valutazione delle condizioni di stress termico da caldo sia in caso di esposizione diretta al sole (in presenza di irraggiamento solare) che in zone d'ombra o in ambiente indoor (in assenza di irraggiamento solare) perché prende in considerazione i principali parametri microclimatici, in particolare la temperatura dell'aria a bulbo umido a ventilazione naturale, la temperatura globotermometrica e la temperatura dell'aria a bulbo secco (in caso di irraggiamento solare). Di seguito le formule per il calcolo:

$$WBGT_{\text{ombra}} = 0.7 T_{\text{nw}} + 0.3 T_{\text{g}}$$

$$WBGT_{\text{sole}} = 0.7 T_{\text{nw}} + 0.2 T_{\text{g}} + 0.1 T_{\text{a}}$$

Dove:

$T_{\text{nw}}$  = temperatura di bulbo umido a ventilazione naturale

$T_{\text{g}}$  = temperatura globotermometrica

$T_{\text{a}}$  = temperatura dell'aria

La variabile quindi che condiziona maggiormente l'informazione fornita (che pesa per il 70% del valore dell'indice) è la temperatura di bulbo umido e quindi quella che considera il tasso di umidità presente nell'aria. A partire dal valore della temperatura di bulbo umido si ricava infatti facilmente l'umidità assoluta di un ambiente. Se sono note la temperatura di bulbo secco e la temperatura di bulbo umido, risulta facilmente determinata anche l'umidità relativa: ad esempio con una  $T_{\text{a}} = 27 \text{ °C}$  e  $T_{\text{nw}} = 19 \text{ °C}$  l'umidità relativa è uguale al 46%. Minor peso al valore dell'indice viene dato alle altre due variabili considerate,  $T_{\text{g}}$  e  $T_{\text{a}}$ , che complessivamente pesano per il 30% (20% la  $T_{\text{g}}$  e 10% la  $T_{\text{a}}$  nel  $WBGT_{\text{sole}}$  e il 30% la  $T_{\text{g}}$  nel  $WBGT_{\text{ombra}}$ ).

Un aspetto molto importante legato all'utilizzo del WBGT è la possibilità di prendere in considerazione tutta una serie di parametri che influiscono sulla determinazione del rischio e che sono fondamentali in ambito occupazionale quali: l'abbigliamento indossato (con particolare riferimento ai DPI), il livello di acclimatazione del lavoratore (soggetto acclimatato o non acclimatato) ed il suo tasso metabolico in funzione dell'intensità dello sforzo richiesto dalla mansione lavorativa. In **tabella 4** sono riportate le specifiche soglie di rischio rispettivamente per un soggetto acclimatato e per un soggetto non acclimatato, in funzione di 4 classi di intensità di sforzo lavorativo (leggero, moderato, intenso, molto intenso).

Allocation of Work in a Work/Rest Cycle	Acclimatized Threshold Limit Value (WBGT values in °C)				Unacclimatized Threshold Limit Value (WBGT values in °C)			
	Light	Moderate	Heavy	Very Heavy	Light	Moderate	Heavy	Very Heavy
75-100%	31	28	-	-	28	25	-	-
50-75%	31	29	27.5	-	28.5	26	24	-
25-50%	32	30	29	28	29.5	27	25.5	24.5
0-25%	32.5	31.5	30.5	30	30	29	28	27

**Tabella 4:** Fattori di correzione dei ritmi di lavoro in funzione del WBGT per soggetti acclimatati e non acclimatati al caldo (NIOSH 2016)

I valori medi di energia metabolica per ciascuna attività lavorativa possono essere ricavati dalla UNI EN ISO 8996 (**Tabella 5**).

<b>Valutazione dell'energia Metabolica (livello 1B)</b>			
<b>Classe</b>	<b>Valore medi energia metabolica</b>		<b>Esempi</b>
	<b>W/m<sup>2</sup></b>	<b>W</b>	
<b>Classe 0: A riposo</b>	65 (55 a 70)	115 (100 a 125)	Riposo
<b>Classe 1: Tasso metabolico basso</b>	100 (70 a 130)	180 (125 a 235)	Seduto a proprio agio: 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). In piedi: lavoro con trapano (piccoli pezzi); fresatrice (piccoli pezzi); avvolgimento bobine; avvolgimento piccole armature; lavoro con macchine di piccola potenza; passeggiare (velocità fino a 3.5 km/h).
<b>Classe 2: Tasso metabolico moderato</b>	165 (130 a 200)	295 (235 a 360)	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 carriole; camminare a velocità compresa tra 3,5 e 5,5 km/h; fucinare.
<b>Classe 3: Tasso metabolico elevato</b>	230 (200 a 260)	415 (360 a 465)	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 7 km/h. Spingere o tirare carri e carriole con carichi pesanti; sbavare pezzi fusi; disporre blocchi di cemento.
<b>Classe 4: Tasso metabolico molto elevato</b>	290 (>260)	520 (>465)	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 7 km/h.

**Table 5:** Valutazione dell'energia metabolica ed identificazione delle classi di tasso metabolico secondo UNI EN ISO 8996.

Inoltre, il valore di WBGT misurato può essere corretto in base alla tipologia di abbigliamento indossato utilizzando il Clothing Adjustment Value (CAV) secondo la norma UNI EN ISO 7243, ottenendo quindi un WBGT effettivo (WBGT eff) (**Tabella 6**).

Ensemble	Comment	CAV [°C- WBGT]
Work clothes	Work clothes made from a woven fabric is the reference ensemble.	0
Cloth coveralls	Woven fabric that includes treated cotton.	0
Non-woven SMS coveralls as a single layer	A non—proprietary process to make non-woven fabrics from polypropylene.	0
Non-woven polyolefin Coveralls as single layer	A proprietary fabric made from polyethylene.	2
Vapour-barrier apron with long sleeves and long length over cloth coveralls	The wrap-around apron configuration was designed to protect the front and sides of the body against spills from chemical agents.	4
Double layer of woven clothing	Generally taken to be coveralls over work clothes.	3
Vapour-barrier coveralls as a single layer, without hood	The real effect depends on the level of humidity and in many cases the effect is less.	10
Vapour-barrier coveralls with hood as a single layer	The real effect depends on the level of humidity and in many cases the effect is less.	11
Vapour-barrier over cloth coveralls, without hood	--	12
Hood <sup>a</sup>	Wearing a hood of any fabric with any Clothing ensemble.	+1
The CAVs are added to the measured WBGT to obtain WBGT <sub>eff</sub> NOTE For high vapour resistance clothing there is a dependence on relative humidity. The CAVs represent the likely high value. <sup>a</sup> This value is added to the CAV of the ensemble without hood or respirator.		

**Tabella 6:** Fattori di correzione di WBGT in base alla tipologia di abbigliamento indossato in base (UNI EN ISO 7243:2017)

Questi aspetti rendono l'indice WBGT particolarmente adatto all'applicazione in sistemi di previsione perché potenzialmente consente di poter personalizzare l'informazione sfruttando la possibilità di modificare i valori di WBGT previsti in funzioni di tutta una serie di aspetti legati alle caratteristiche del soggetto e dell'attività lavorativa che esso svolge. Sulla base dei valori WBGT di riferimento, raccomandazioni in termini di cicli lavoro-riposo e assunzione di acqua a seconda delle specifiche attività lavorative sono fornite da diverse organizzazioni internazionali. In particolare, la norma UNI EN ISO 7243 utilizza le soglie di WBGT per raccomandare limiti e cicli di lavoro-riposo per i lavoratori coinvolti in diverse attività fisiche e che indossano indumenti specifici in ambienti caldi, al fine di evitare una temperatura corporea superiore a 38 °C (**Tabelle 4, 5 e 6**). Tale indicatore è stato scelto dal progetto Europeo HEAT-SHIELD (HORIZON 2020, research and innovation programme under the grant agreement 668786, <https://www.heat-shield.eu/>) per l'utilizzo nel prototipo di sistema di allerta da caldo specifico per il settore occupazionale e che fornisce una previsione di rischio da caldo per l'Europa (Morabito et al., 2019).

### 2.3.1 Vantaggi e limiti di utilizzo dell'indicatore WBGT in ambito occupazionale

I vantaggi legati all'utilizzo dell'indicatore WBGT, utilizzato come metodo di screening in un sistema previsionale di allerta degli effetti del caldo per il settore occupazionale sono numerosi. Si tratta infatti di un indicatore riconosciuto e ampiamente applicato in ambito occupazionale per raccomandare i cicli di riposo e lavoro in funzione di diversi tassi metabolici, tenendo conto dell'acclimatazione o meno al caldo e anche della tipologia di abbigliamento indossato (CAV), descritti in vari documenti e norme che trattano la valutazione degli effetti del caldo sui luoghi di lavoro (UNI EN ISO 7243; NIOSH 2016). Questo indicatore, inoltre, permette

di tenere in considerazione anche l'effetto determinato dalla esposizione alla radiazione solare diretta o comunque dell'esposizione a ulteriori fonti di calore. Tutte queste potenzialità consentono una più completa considerazione dell'ambiente a cui un lavoratore può essere esposto permettendo una personalizzazione della previsione del rischio caldo in ambito lavorativo sulla base delle caratteristiche appena descritte (quindi il tipo di attività svolta, vestiario indossato, ecc.).

È importante sottolineare, però, che la metodologia per valutare lo stress da calore a cui una persona è esposta, per stabilire quindi la presenza o meno di condizioni di rischio, descritta come metodo di screening (per una valutazione preliminare ed esplorativa dell'ambiente in esame) nella norma UNI EN ISO 7243, è applicabile su un soggetto nel corso di una giornata lavorativa (fino a 8 ore) e non può essere utilizzata in situazioni in cui l'esposizione al calore è di breve durata. Nel caso in cui venisse individuata una condizione di rischio (cioè nel caso in cui il WBGT misurato/valutato fosse superiore al valore limite soglia di riferimento del WBGT) allora si dovrà procedere a ridurre lo stress termico con metodi appropriati (ad es. controllo dell'ambiente, del livello di attività, del tempo trascorso nell'ambiente in esame) ed eventualmente effettuare una analisi più dettagliata utilizzando un indicatore più accurato per valutare l'impatto dello stress da caldo (il modello "Predicted Heat Strain" descritto nel paragrafo 2.5). La norma UNI EN ISO 7243, inoltre, è indicata per valutare il livello di stress da caldo presente in ambienti lavorativi, interni ed esterni o di altra tipologia, al quale possono essere esposti i lavoratori adulti, in buono stato di salute, di entrambi i sessi. Il WBGT, così come tutti gli indici descritti in questo report, non può invece essere applicato nella valutazione del rischio per soggetti sensibili, che necessitano di una valutazione specifica in relazione alle condizioni individuali ed alla tipologia di attività svolta ([https://www.portaleagentifisici.it/fo\\_microclima\\_metodiche.php?lg=IT#CALDI](https://www.portaleagentifisici.it/fo_microclima_metodiche.php?lg=IT#CALDI)).

L'indice WBGT dipende dalle principali grandezze microclimatiche coinvolte per una corretta valutazione del disagio termico. In particolare, la misura della temperatura globotermometrica è funzione della temperatura media radiante, della temperatura e della velocità dell'aria, mentre la misura della temperatura di bulbo umido è funzione della temperatura media radiante, della temperatura, dell'umidità e della velocità dell'aria. Il limite nell'applicabilità di tale indicatore, però, è dovuto al fatto che alcuni parametri richiesti per il calcolo, in particolare la temperatura di bulbo umido a ventilazione naturale e la temperatura globotermometrica, non sono facilmente monitorati e quindi spesso non disponibili. Esistono però lavori scientifici che descrivono in modo dettagliato le funzioni e i codici da implementare operativamente per ottenere le variabili necessarie al calcolo del WBGT partendo quindi dai parametri comunemente misurati da una stazione meteorologica o previsti da un modello numerico di previsione atmosferica (Bernard and Pourmoghani, 1999; Liljegren et al., 2008; Lemke and Kjellstrom, 2012).

## 2.4 Heat Index

L'Heat Index (HI) costituisce uno degli indicatori più comunemente usato per valutare le condizioni di stress da caldo ed in particolare per individuare criticità per la salute della popolazione generale ma è stato anche recentemente impiegato in sistemi di warning specifici per il settore occupazionale, in particolare da organizzazioni americane come la Occupational Safety and Health Administration (OSHA) (<https://www.dol.gov/general/apps/heatindex>) e dal National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) che lo utilizzano anche nella loro applicazione mobile. Inoltre, è adottato anche dall'Istituto Nazionale Francese per la Ricerca sulla Sicurezza [INRS] per la valutazione del rischio direttamente in campo attraverso la lettura dei valori di temperatura dell'aria ed umidità relativa. Tale indice, attraverso un algoritmo i cui risultati sono riportati in una tabella semplificata (**Tabella 7**), permette di identificare 4 livelli di allerta, dalla "cautela per possibile affaticamento" fino al "rischio elevato di colpo di calore", ed è correntemente utilizzato in molti paesi per fornire allerte metereologiche in caso di rischio da caldo per la popolazione generale (<https://www.portaleagentifisici.it/>).

NWS Heat Index		Temperature (°F)															
		80	82	84	86	88	90	92	94	96	98	100	102	104	106	108	110
Relative Humidity (%)	40	80	81	83	85	88	91	94	97	101	105	109	114	119	124	130	136
	45	80	82	84	87	89	93	96	100	104	109	114	119	124	130	137	
	50	81	83	85	88	91	95	99	103	108	113	118	124	131	137		
	55	81	84	86	89	93	97	101	106	112	117	124	130	137			
	60	82	84	88	91	95	100	105	110	116	123	129	137				
	65	82	85	89	93	98	103	108	114	121	128	136					
	70	83	86	90	95	100	105	112	119	126	134						
	75	84	88	92	97	103	109	116	124	132							
	80	84	89	94	100	106	113	121	129								
	85	85	90	96	102	110	117	126	135								
	90	86	91	98	105	113	122	131									
95	86	93	100	108	117	127											
100	87	95	103	112	121	132											

**Likelihood of Heat Disorders with Prolonged Exposure or Strenuous Activity**

Caution
  Extreme Caution
  Danger
  Extreme Danger



**Tabella 7:** Livelli di allerta individuati dall'Heat Index (NIOSH 2016)

Per determinare l'indice di calore utilizzando la **tabella 7**, è necessario conoscere la temperatura dell'aria e l'umidità relativa. Ad esempio, se la temperatura dell'aria è di 100 °F (37.8 °C) e l'umidità relativa è del 55%, l'indice di calore sarà di 124 °F (51.1 °C). Una ulteriore tabella associa i livelli di rischio con gli effetti sulla salute (**Tabella 8**).

Classification	Heat Index	Effect on the body
Caution	80°F - 90°F	Fatigue possible with prolonged exposure and/or physical activity
Extreme Caution	90°F - 103°F	Heat stroke, heat cramps, or heat exhaustion possible with prolonged exposure and/or physical activity
Danger	103°F - 124°F	Heat cramps or heat exhaustion likely, and heat stroke possible with prolonged exposure and/or physical activity
Extreme Danger	125°F or higher	Heat stroke highly likely

**Tabella 8:** Livelli di rischio, intervalli di Heat Index ed effetti sulla persona (NIOSH 2016, <https://www.weather.gov/ama/heatindex>)

Tale indice è stato ottenuto attraverso una analisi di regressione multipla (Rothfusz 1990) basandosi sulla prima versione dell'indice Apparent Temperature di Steadman (1979) da cui presenta un errore di ± 1.3 °F:

$$\text{Heat Index} = - 42.379 + 2.04901523 \times T + 10.14333127 \times \text{RH} - 0.22475541 \times T \times \text{RH} - 6.83783 \times 10^{-3} \times T^2 - 5.481717 \times 10^{-2} \times \text{RH}^2 + 1.22874 \times 10^3 \times T^2 \times \text{RH} + 8.5282 \times 10^4 \times T \times \text{RH}^2 - 1.99 \times 10^{-6} \times T^2 \times \text{RH}^2$$

Dove:

T= Temperatura ambientale di bulbo umido (F°)

RH = Umidità relativa dell'aria (espressa tra 0 e 1)

Oppure considerando la T in °C:

$$\text{Heat Index} = - 8.784695 + 1.61139411 \times T + 2.338549 \times \text{RH} - 0.14611605 \times T \times \text{RH} - 1.2308094 \times 10^{-2} \times T^2 - 1.6424828 \times 10^{-2} \times \text{RH}^2 + 2.211732 \times 10^{-3} \times T^2 \times \text{RH} + 7.2546 \times 10^{-4} \times T \times \text{RH}^2 - 3.582 \times 10^{-6} \times T^2 \times \text{RH}^2$$

#### 2.4.1 Vantaggi e limiti di utilizzo dell'indicatore HI in ambito occupazionale

Così come per l'indice empirico H (paragrafo 2.2), anche per l'indicatore HI, il principale vantaggio è legato alla semplicità di implementazione per effettuare una rapidissima attività di screening degli effetti del caldo richiedendo per il calcolo solo la temperatura dell'aria e l'umidità relativa.

I limiti principali per una sua implementazione in un sistema di allerta indirizzato al settore occupazionale (ma non solo) sono tuttavia dovuti alle limitazioni che prevedono la sua applicazione solo per temperature superiori a circa 27 °C (80 °F) e in presenza di tassi di umidità superiori al 40%. Quest'ultimo, in particolare, rappresenta il limite maggiore per molte delle località italiane dove, all'aperto, le temperature superiori a 30 °C sono generalmente associate a tassi di umidità relativa inferiori al 40% e più spesso inferiori al 30% o prossimi al 20% per valori di temperatura superiori a 34 °C. Il vincolo di applicabilità dell'indice HI per valori di temperatura dell'aria superiori a 27 °C, inoltre, non permetterebbe di indagare condizioni di potenziale rischio per lavoratori esposti a temperature più basse, quindi in un intervallo che potrebbe essere considerato "non critico", ma che in realtà potrebbe già rappresentare condizioni sfavorevoli dal punto di vista termico per lavoratori impegnati in attività fisiche moderate, intense o molto intense, soprattutto se indossando DPI e/o se esposti alla radiazione solare diretta o altre fonti di calore, tutte variabili non considerate nel calcolo di questo indice. Proprio per questi motivi, questo indicatore raramente ha trovato applicazione nella letteratura scientifica indirizzata a valutare l'effetto dello stress da caldo in ambito occupazionale. Ciononostante, negli Stati Uniti, dove l'utilizzo dell'HI è molto diffuso su tutto il paese, è utilizzato dall'OSHA in una applicazione che sarà descritta successivamente nel paragrafo 3.2.1.

#### 2.5 Predicted Heat Strain

L'indice Predicted Heat Strain (PHS) (UNI EN ISO 7933 2005) è un indice fisiologico razionale basato sui dati delle risposte fisiologiche di soggetti esposti in condizioni di caldo in laboratorio (Lundgren et al., 2014). Il PHS rappresenta sicuramente l'indice più accurato per effettuare valutazioni di impatto dello stress da caldo in quanto permette di effettuare una valutazione più approfondita tenendo in conto fattori più complessi come la dipendenza dal tempo delle variabili fisiologiche, l'effetto del movimento sull'isolamento termico dell'abbigliamento, l'effetto del metabolismo energetico sulla temperatura del nucleo. L'indice consente di prevedere la velocità di sudorazione effettiva e la temperatura corporea oltre che determinarne i limiti di esposizione (Malchaire et al., 2000; Malchaire, 2001, Malchaire, 2006). Il PHS utilizza dati che includono parametri ambientali quali: temperatura dell'aria, temperatura media radiante, velocità del vento e pressione di vapore. Inoltre, vengono considerati anche parametri specifici del soggetto come il metabolismo energetico, l'isolamento termico, la durata dell'attività, il peso, l'altezza, la capacità di ripristinare i liquidi persi con la sudorazione oltre che il livello di acclimatazione.

In particolare, il modello PHS fornisce alcuni output che consentono di valutare, dopo aver considerato le condizioni ambientali e personali, l'eventuale probabilità di un colpo di calore in presenza di condizioni ambientali molto calde, tipiche del periodo estivo (Malchaire et al., 2000). L'applicazione del modello è molto complessa ma è stato sviluppato un pacchetto software per l'analisi e il calcolo di PHS secondo le direttive della norma UNI EN ISO 7933. L'affidabilità del metodo PHS si basa sulla definizione di intervalli specifici dei valori misurati ed all'interno dei quali è applicabile (dBA 2018) (**Tabella 9**).

Parametri	Valore minimo	Valore massimo
Temperatura ambientale ( $T_a$ )(°C)	15	50
Pressione parziale di vapore acqueo (KPa)	0	4.5
$t_r - t_a$ (°C)	0	60
Velocità dell'aria ( $m s^{-1}$ )	0	3
Attività metabolica (W)	100	450
Isolamento termico del vestiario ( $I_{cl}$ )	0.1	1

**Tabella 9:** Intervalli di validità del metodo PHS (UNI EN ISO 7933:2005)

Questo indice viene utilizzato in studi per stimare il tempo di lavoro massimo di esposizione al caldo, sia per i lavoratori impegnati in ambienti outdoor che in ambienti indoor. Inoltre, PHS è stato adottato anche in studi per la valutazione delle perdite di produttività associate alla termofisiologia (Lundgren et al., 2014).

La procedura di calcolo del PHS è di tipo iterativo e permette di seguire nel tempo la risposta fisiologica del corpo umano alla sollecitazione termica restituendo come risultati gli andamenti temporali della temperatura rettale e della perdita totale di acqua.

### 2.5.1 Vantaggi e limiti di utilizzo dell'indicatore PHS in ambito occupazionale

Il principale vantaggio derivato dall'applicazione del PHS è quello di permettere la valutazione più approfondita e accurata dello stress termico determinato da un ambiente caldo. La procedura di calcolo, infatti, permette di ottenere informazioni molto utili per definire una corretta gestione delle attività lavorative e di mettere in atto le misure di intervento più idonee per contrastare gli effetti del caldo. Il PHS quindi permette([https://www.portaleagentifisici.it/fo\\_microclima\\_metodiche.php?lg=IT#CALDI](https://www.portaleagentifisici.it/fo_microclima_metodiche.php?lg=IT#CALDI)):

- Il calcolo dell'andamento nel tempo della temperatura rettale e della perdita totale di acqua;
- Il calcolo dei valori limite per la temperatura rettale (il valore massimo accettabile è di 38 °C,  $t_{re,max}$ ) e per la perdita totale d'acqua (calcolato per lavoratore acclimatato e non acclimatato al caldo e per lavoratore libero e non libero di bere);
- Il confronto tra gli andamenti temporali ed i valori limite;
- Il calcolo dei tempi in cui si raggiungono i valori limite per la temperatura rettale e per la perdita totale di acqua;
- La determinazione del tempo massimo di esposizione ( $D_{lim}$ ), quindi:
  - $D_{limtre}$ : il tempo dopo il quale la temperatura rettale raggiunge il valore  $t_{re,max}$ ;
  - $D_{limloss50}$ : il tempo dopo il quale la perdita totale di acqua supera il limite della massima perdita totale di acqua che protegge il 50% della popolazione lavorativa ( $D_{max50}$ ) compatibile con il mantenimento dei parametri fisiologici.
  - $D_{limloss95}$ : il tempo dopo il quale la perdita totale di acqua supera il limite della massima perdita totale di acqua che protegge il 95% della popolazione lavorativa ( $D_{max95}$ ) compatibile con il mantenimento dei parametri fisiologici.
  - $D_{lim}$ : il limite di tempo massimo di esposizione, quindi  $D_{lim} = \min(D_{limtre}, D_{limloss95})$ .

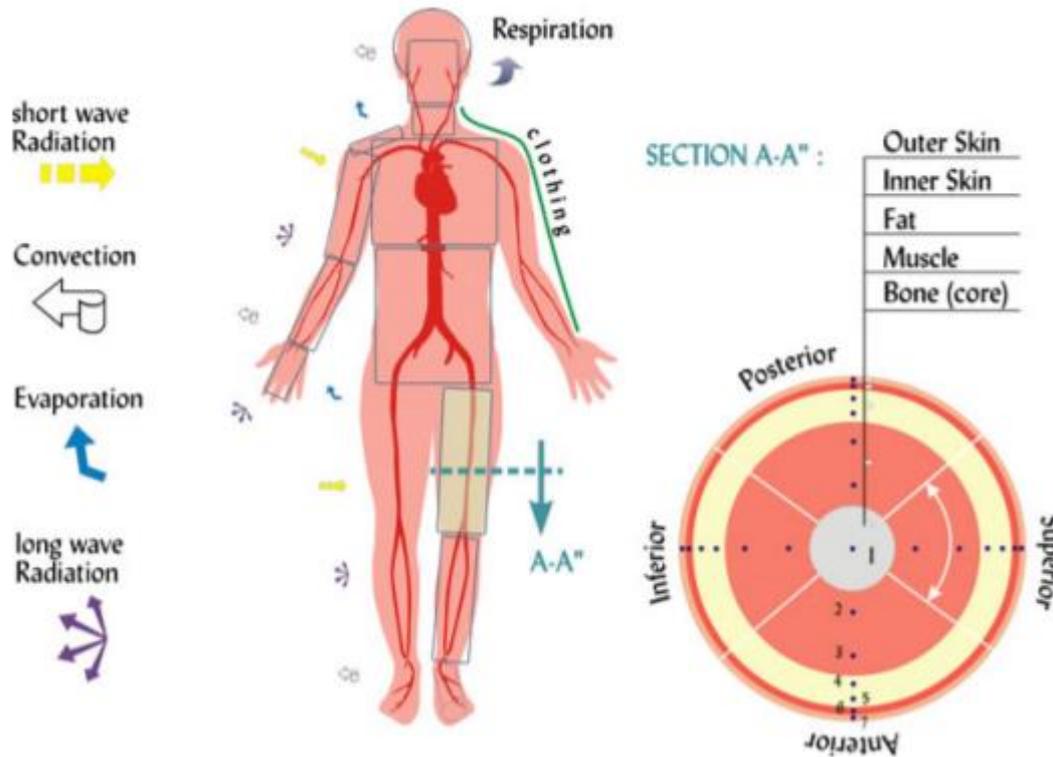
Il modello analitico di calcolo de PHS è però complesso ed articolato e per una corretta applicazione richiede misure puntuali e accurate che spesso non sono facilmente disponibili e, quindi, mal si prestano per essere implementate in un sistema previsionale di allerta da caldo la cui risoluzione spaziale è di alcuni chilometri.

Un altro limite del metodo PHS è quello di non considerare abbigliamento protettivo, richiede infatti di determinare solo l'isolamento termico dell'abbigliamento perché si assume che si tratti di abbigliamento normale (non protettivo) e che possieda una permeabilità al vapore standard ( $imst = 0.38$ ). Non è quindi una metodica applicabile nei casi in cui il soggetto indossi un abbigliamento protettivo speciale (ad esempio: abbigliamento riflettente, con raffrescamento attivo, ventilato, impermeabile). Una soluzione a questo problema è comunque offerta dalla norma tecnica britannica BS 7963:2000 "Guide to the assessment of heat strain in workers wearing personal protective equipment". Questo standard non definisce un nuovo indice di esposizione, ma propone dei metodi per correggere le procedure esistenti (WBGT e PHS) così da ottenere una valutazione degli effetti dello stress termico da caldo anche per i lavoratori che devono indossare abbigliamento protettivi o altri DPI che possono incidere criticamente sugli scambi termici uomo-ambiente.

Così come descritto anche per il WBGT, il PHS non può essere applicato nella valutazione del rischio per soggetti sensibili, che necessitano invece di una valutazione specifica ([https://www.portaleagentifisici.it/fo\\_microclima\\_metodiche.php?lg=IT#CALDI](https://www.portaleagentifisici.it/fo_microclima_metodiche.php?lg=IT#CALDI)). Questo vale comunque anche per tutti gli altri indici considerati in questo report.

## 2.6 Universal Thermal Climate Index

L'Universal Thermal Climate Index (UTCI) appartiene alla categoria degli indici razionali e rappresenta lo stato dell'arte nella valutazione delle condizioni di benessere/disagio termico in ambiente outdoor (COST action 730) (Jendritzky et al., 2012). Tale indice, considerando una combinazione ben precisa di temperatura dell'aria, velocità del vento, umidità e radiazione, è stato definito come la temperatura dell'aria di un ambiente di riferimento che, sulla base del modello, produce una equivalente risposta fisiologica dinamica (Bröde et al., 2012a). Quindi, operativamente, questo concetto coinvolge: 1) la definizione dell'ambiente di riferimento (umidità relativa del 50%, pressione di vapore fissata a 20 hPa, condizioni di aria calma e temperatura media radiante uguale a quella dell'aria); 2) sviluppo di una rappresentazione monodimensionale dell'output del modello multivariato a differenti momenti di esposizione. Alla luce di questi aspetti, l'Universal Thermal Climate Index utilizza un modello termofisiologico (Fiala et al., 1999, 2003) impiegato per descrivere il trasferimento del calore umano e la regolazione della temperatura corporea in varie condizioni microclimatiche e durante differenti attività fisiche. Il modello di Fiala rientra in una categoria di modelli particolarmente complessi di tipo "multinodo" (Stolwijk 1971; Wissler 1985; Huizenga et al., 2001; Tanabe et al., 2002). I modelli multinodo permettono di simulare le reazioni che avvengono nel corpo umano con grande dettaglio prevedendo le risposte fisiologiche globali e a livello locale. Le perdite di calore dal corpo sono calcolate tenendo in considerazione le caratteristiche di disomogeneità, come il profilo della temperatura della pelle che si distribuisce sul corpo in modo non uniforme, e considerando anche le risposte regolatorie, le proprietà fisiche dell'abbigliamento indossato e le condizioni ambientali. Questo modello suddivide il corpo in 12 settori di forma sferica o cilindrica per 187 nodi: la testa, la faccia, il collo, le spalle, il torace, l'addome, la parte alta e bassa di braccia e gambe, le mani e i piedi (**Figura 1**).



**Figura 1:** Diagramma schematico del modello termo fisiologico di Fiala (Fiala et al., 2012)

Gli elementi del corpo sono costituiti da strati concentrici e anulari di tessuto (sezione "A-A" nella Figura 1): il cervello, il polmone, le ossa, i muscoli, l'intestino, il grasso e la pelle (Fiala et al., 1999) e sono suddivisi in 63 settori spaziali (Tabella 10).

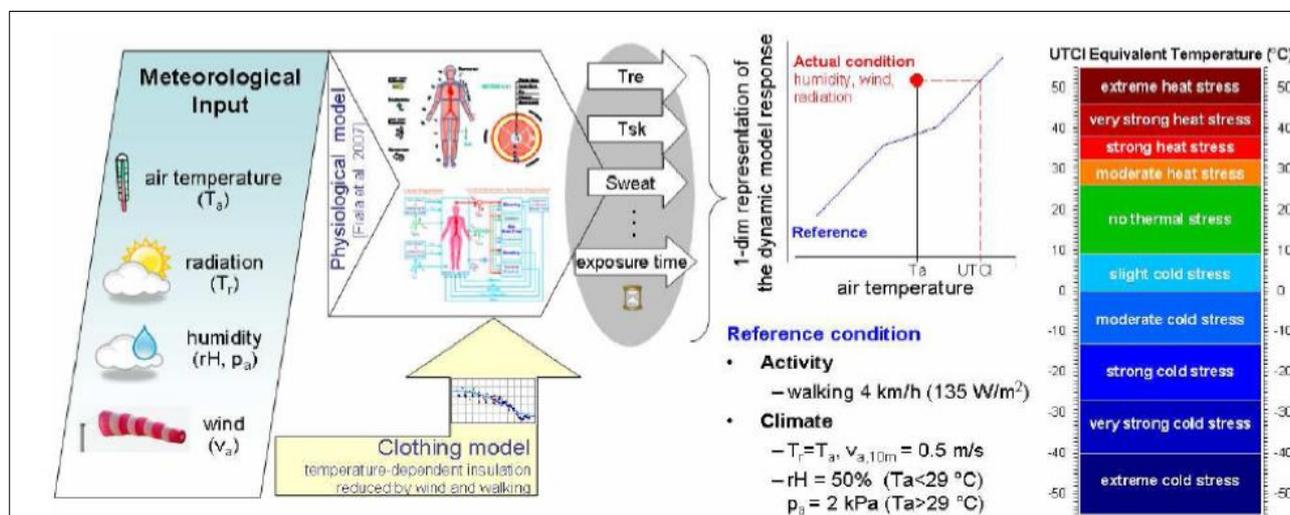
Body element	Length (m)	Outer radius (m)	Central angle (deg)	Surface area (m <sup>2</sup> )	Spatial sectors - angle (deg)			
					Anterior	Posterior	Inferior	Superior
Head		0.1040	180.0	0.068	16.0	164.0		
Face	0.0984	0.0780	210.0	0.028	98.0			112.0
Neck	0.0842	0.0567	360.0	0.030	58.0	80.0		222.0
Shoulders	0.3200	0.0460	130.0	0.033				130.0
Thorax	0.3060	0.1290	360.0	0.248	165.0	149.0	46.0	
Abdomen	0.5520	0.1260	360.0	0.230	133.0	131.0	96.0	
Upper arms	0.6380	0.0430	360.0	0.172	77.0	76.0	52.0	155.0
Lower arms	0.6360	0.0404	360.0	0.161	44.0	59.0	128.0	129.0
Hands	0.6200	0.0226	360.0	0.088			183.0	177.0
Upper legs	0.7020	0.0584	360.0	0.258	95.0	79.0	83.0	103.0
Lower legs	0.6880	0.0511	360.0	0.221	68.0	99.0	89.0	104.0
Feet	0.4800	0.0350	360.0	0.106	239.0	121.0		

**Tabella 10:** Parametri della geometria del corpo (Fiala et al., 2003)

La pelle è modellata in funzione di due strati (Weinbaum et al., 1984): il plesso cutaneo (lo strato interno della pelle) che contiene le ghiandole sudoripare e i vasi sanguigni e la pelle esterna. Questo strato superficiale di pelle nel modello simula la barriera di vapore per la diffusione dell'umidità attraverso la pelle. Il modello è riferito ad un uomo standard, di 1,71 m di altezza, peso di 73,4 kg, e un contenuto di grasso corporeo pari al 14%. Il modello, in particolare, prevede le quattro risposte termoregolarie essenziali del sistema centrale nervoso, come la vasocostrizione e dilatazione dei vasi, i brividi, e la secrezione del sudore

(Fiala et al., 2001). Il sistema di termoregolazione è stato sviluppato attraverso complesse analisi di regressione usando i dati misurati ottenuti da esperimenti in ambito fisiologico in condizioni ambientali transienti e valutando diversi livelli di attività fisica.

Il sistema nervoso centrale considera tutte le modifiche del metabolismo muscolare attraverso i brividi (e il corrispondente cambio nel flusso sanguigno muscolare), il flusso di sangue alla pelle attraverso la vasodilatazione e vasoconstrizione, e la secrezione di umidità sulla pelle attraverso la sudorazione. Il modello, inoltre, utilizza come segnali di input nel centro termoregolatorio le temperature della pelle ( $T_{sk}$ ) e corporea (la temperatura ipotalamica) ( $T_{hy}$ ), così come il tasso di modificazione della temperatura della pelle ( $dT_{sk}$ ,  $i$  and  $T_i$ ) per modificare i tassi di sudorazione, il flusso ematico e il tasso metabolismo dei tessuti a livello locale. In aggiunta, il modello comprende un sofisticato modello di abbigliamento "UTCI-clothing model" (Havenith et al., 2012) che considera tre fattori: 1) abbigliamento tipico in condizioni termiche differenti, considerato nel modello dalla distribuzione del vestiario sui differenti segmenti corporei in relazione alla temperatura ambientale; 2) modifica dell'isolamento termico del vestiario e della resistenza evaporativa causati dal vento e dal movimento del corpo; 3) modifica della velocità del vento in funzione dell'altezza dal suolo. Il risultato è un modello di abbigliamento che definisce in dettaglio l'isolamento termico e la resistenza evaporativa effettiva per ognuno dei segmenti corporei del modello termofisiologico su un ampio range di condizioni climatiche. Precedenti studi hanno mostrato coerenza tra i dati misurati e quelli previsti dal modello e la validazione del modello è stata ampiamente descritta. Sia l'UTCI-Fiala che l'UTCI-clothing model, quindi, costituiscono le basi per il calcolo dell'UTCI. Attualmente è disponibile un software (<http://www.utci.org/>) che permette il calcolo dell'UTCI per un prefissato valore di tasso metabolico e, in funzione della temperatura, dell'isolamento termico del vestiario. I parametri di input per il calcolo dell'UTCI (**Figura 2**), riferito ad un soggetto che cammina ad una velocità di  $4 \text{ km h}^{-1}$  e che genera  $135 \text{ W m}^{-2}$ , sono la temperatura dell'aria ( $^{\circ}\text{C}$ ), la pressione di vapore (hPa), la velocità del vento misurata a 10 m ( $\text{m s}^{-1}$ ) e la temperatura media radiante ( $^{\circ}\text{C}$ ):  $\text{UTCI}(T_a, T_{mrt}, V_{10}, e) = T_a + \text{Offset}(T_a, T_{mrt}, V_{10}, e)$  (**Figura 2**).



**Figura 2:** Parametri di input per l'applicazione dell'indice razionale "Universal Thermal Climate Index" (UTCI) (Bröde et al., 2012b).

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 (<http://www.lamma.rete.toscana.it/meteo/comfort-termico>).

### 2.6.1 Vantaggi e limiti di utilizzo dell'indicatore UTCI in ambito occupazionale

L'applicazione dell'UTCI presenta numerosi e importanti vantaggi:

- è basato sul più avanzato modello termofisiologico multi-nodo (UTCI-Fiala Model);
- è applicabile per valutare gli effetti termici sull'intero corpo e le condizioni di disagio locale;
- permette di simulare le reazioni termoregatorie e del sistema nervoso centrale nei vari segmenti corporei;
- è valido per tutte le condizioni climatiche e in tutte le stagioni. Di seguito sono indicati i limiti di applicazione dell'indicatore UTCI:
  - $-50\text{ °C} < T_a < +50\text{ °C}$ ;
  - $-30\text{ °C} < T_{mrt}-T_a < 70\text{ °C}$ ;
  - $0.5\text{ m s}^{-1} < V_{10} < 17\text{ m s}^{-1}$
  - $0\text{ hPa} < e < 50\text{ hPa}$

La possibilità di poter estendere l'utilizzo dell'UTCI a qualunque periodo dell'anno rappresenta un grande vantaggio, in quanto permette di valutare le condizioni di stress termico sia in ambienti caldi che in ambienti freddi e pertanto, in caso di una sua implementazione, potrebbe rappresentare un valido strumento da utilizzare in sistemi di warning dedicati al settore occupazionale. Recentemente infatti, alcuni studi scientifici (Vatani et al., 2016; Nassiri et al., 2017; Bröde et al., 2018) hanno valutato la sua applicabilità in ambito occupazionale confrontandola appunto con i due riferimenti internazionali utilizzati in questo campo, il PHS e WBGT.

L'indicatore UTCI, pur rappresentando lo stato dell'arte della valutazione delle condizioni di stress termico in ambiente outdoor, mal si presta all'impiego in ambito occupazionale perché non permette di associare consigli comportamentali in funzione dei livelli di rischio, oltre a non consentire una completa personalizzazione in funzione delle caratteristiche del soggetto, della tipologia di attività lavorativa svolta e dell'abbigliamento indossato. Al momento, infatti, 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  $4\text{ km h}^{-1}$ ). Inoltre, così come per il calcolo del WBGT e del PHS, anche 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).

## 2.7 Thermal Work Limit

L'indice WBGT è spesso considerato eccessivamente conservativo e in molte situazioni è considerato fin troppo rigoroso (Miller e Bates 2007) e per questo motivo è largamente ignorato in condizioni in cui la sua applicazione porterebbe portare a perdite inaccettabili e inutili nella produttività del lavoro (Bates e Miller 2002, Taylor 2006). A partire da questa considerazione, è stato sviluppato un nuovo indice razionale di stress termico, il Thermal Work Limit (TWL) (Brake and Bates 2002a) applicato in vari ambiti lavorativi negli Emirati Arabi Uniti e in Australia. Esso viene calcolato a partire dai seguenti parametri: temperatura di bulbo secco (°C), temperatura di bulbo umido (°C), temperatura media radiante (°C), velocità del vento ( $\text{m s}^{-1}$ ), pressione atmosferica (hPa). Da queste variabili, e tenendo in considerazione il tipo di abbigliamento indossato e lo stato di acclimatazione del lavoratore, il TWL prevede il livello massimo di lavoro che può essere svolto in un dato ambiente, senza che i lavoratori superino una temperatura corporea interna di  $38.2\text{ °C}$  ( $100.8\text{ °F}$ ) e mantenendo una sudorazione  $< 1.2\text{ Kg/h}$  (Farshad et al., 2014; Brake and bates, 2002a). Quando il TWL è alto, le condizioni termiche non impongono limiti al lavoro. A valori moderati, i lavoratori adeguatamente idratati saranno in grado di adattarsi allo stress termico regolando il loro ritmo di lavoro. Al contrario, quando i valori TWL sono bassi, è probabile che si verifichi un accumulo di calore corporeo e in questi casi l'indice

può essere utilizzato per impostare dei programmi di ciclo/riposo del lavoro, mentre a valori molto bassi non può essere sostenuta alcuna tipologia di lavoro. I protocolli di gestione raccomandati basati su TWL sono stati ampiamente adottati e implementati nell'industria mineraria sotterranea in Australia (Brake et al., 1998) e in questi ambienti è ancora oggi utilizzato. Tuttavia, l'algoritmo si presta ad essere utilizzato anche in ambiente esterno dove il calore radiante costituisce una componente significativa del carico termico. Secondo Miller e Basis (Miller e Bates 2007), in molte situazioni di lavoro all'aperto TWL ha dimostrato di funzionare meglio del WBGT come predittore dell'impatto dello stress termico ambientale. I valori limite TWL e il protocollo suggerito sono mostrati nella **Tabella 11**.

Working Zones	Interventions	Rehydration Schedule (per hr)	Work-rest Schedule (minutes)
Low Risk Unrestricted Zone TWL: 140 - 220 <	No limits on self-paced work <sup>a</sup> for educated, hydrated workers.	Light Work 600 ml - 1 Litre / hr	Safe for all continuous self-paced work <sup>a</sup>
Medium Risk Cautionary Zone TWL: 115 – 140	<b>Cautionary zone indicates situations in which environmental conditions require additional precautions.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Practicable Engineering control measures to reduce heat stress should be implemented e.g. provide shade, improve ventilation etc.</li> <li>Working alone to be avoided</li> <li>No unacclimatised person to work<sup>b</sup></li> <li>Ensure adequate fluid intakes appropriate for type of work</li> </ul>	Light Work 1 -1.2 Litres / hr	Safe for continuous self-paced light work <sup>a</sup>
		Heavy Work > 1.2 Litres / hr *	<b>Continuous paced work</b> 45 work - 15 rest
High Risk Zone TWL: < 115	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Strict Work/Rest cycling required</b></li> <li>No person to work alone</li> <li>No unacclimatised person to work<sup>b</sup></li> <li>High Risk induction required emphasising hydration and identifying signs of heat strain</li> <li>Provide personal water bottle (2 litre capacity) on-site at all times</li> </ul>	All Work >1.2 Litres / hr *	Light work <sup>c</sup> 45 work – 15 rest
			Heavy work <sup>d</sup> 20 work - 40 rest

**Tabella 11:** Soglie di TWL e relativo protocollo di intervento finalizzato all'identificazione di cicli lavoro/riposo e mantenimento del livello di idratazione (Brake and Bates 2002b)

### 2.7.1 Vantaggi e limiti di utilizzo dell'indicatore TWL in ambito occupazionale

Si tratta sicuramente di un indice razionale interessante e con un importante potenziale applicativo al settore occupazionale. Così come il PHS, anche questo indice razionale permette di ottenere informazioni molto utili per organizzare al meglio le attività lavorative mettendo in atto le misure più idonee (definizione di pause/lavoro orarie e suggerimenti sull'idratazione oraria) per contrastare gli effetti del caldo.

Tale indicatore, inoltre, si presta molto bene per applicazioni e valutazioni dell'effetto del caldo a diverse intensità di sforzo lavorativo, anche se al momento non prende in considerazione parametri importanti nella personalizzazione del rischio come per esempio l'abbigliamento indossato e quindi l'utilizzo dei DPI e che rappresentano un importante fattore di intensificazione del rischio caldo per i lavoratori. Inoltre, l'accuratezza delle informazioni richieste per il calcolo del TWL lo rendono meno adatto ad una implementazione operativa in un modello numerico di previsione meteorologica che, come detto in precedenza, ha una risoluzione spaziale di alcuni chilometri e quindi fornisce dati poco adatti per una valutazione particolarmente accurata che invece necessita di dati più dettagliati e precisi. Il TWL, inoltre, non è applicabile quando la temperatura del punto di rugiada dell'aria ambiente è superiore alla temperatura della pelle o degli indumenti.

### 3. Sistemi di allerta da caldo per i lavoratori esistenti a livello internazionale

Purtroppo, nonostante il cambiamento climatico stia determinando un aumento della frequenza e delle intensità delle ondate di calore, sono ancora molto pochi i sistemi di monitoraggio e allerta caldo dedicati al settore occupazionale sia in Europa che a livello mondiale. La maggior parte di essi utilizza come dati di input le condizioni meteo-climatiche osservate ed ottenute da reti di stazioni meteorologiche a terra e quindi non forniscono una previsione ma bensì un livello di rischio in funzione delle condizioni osservate o che permettono una simulazione degli effetti del caldo sulla base di informazioni dichiarate dall'utente. Altri invece utilizzano dati provenienti da modelli meteorologici e quindi consentono di ottenere una previsione del livello di rischio per le ore/giorni successivi. I sistemi di monitoraggio meteo-climatico locale, oltretutto già previsti in alcuni ambiti occupazionali (ad es. nei cantieri edili), soprattutto se implementati con il calcolo di alcuni indicatori di impatto dello stress termico, permettono una informazione istantanea e puntuale delle reali condizioni presenti in un determinato momento e luogo, sicuramente utili per valutare la situazione ed eventualmente decidere un riadattamento o modifica "in corso d'opera" delle attività lavorative. I sistemi previsionali di allerta da caldo, invece, rappresentano uno strumento molto utile in ambito occupazionale e sicuramente più utile per mettere in atto una programmazione mirata delle attività (ad es. modificando orari e turni di lavoro, pianificando i lavori fisicamente più impegnativi nei periodi meno caldi della giornata, programmando pause, disposizione di luoghi di riposo e idratazione ad hoc) permettendo quindi di tutelare salute e produttività dei lavoratori in funzione delle condizioni termiche previste. Alcuni di questi servizi sono fruibili da siti web, altri da applicazione mobile ed altri ancora presentano una duplice tipologia di diffusione dell'informazione. Di seguito si riportano i principali sistemi di allerta da caldo presenti a livello internazionale per il settore occupazionale, suddivisi per tipologia di diffusione dell'informazione utilizzata, Servizi Web oppure Servizi con applicazione mobile.

#### 3.1 Servizi WEB

##### 3.1.1 Heat-Shield

A livello europeo, l'unica piattaforma previsionale in grado di fornire una previsione personalizzata del livello di rischio di stress termico da caldo per il settore occupazionale, è quella realizzata nell'ambito del progetto Horizon 2020 "Integrated inter-sector framework to increase the thermal resilience of European workers in the context of global warming" (Heat-Shield), iniziato il 1° gennaio 2016 e che terminerà il 31 dicembre 2021 (<https://cordis.europa.eu/project/id/668786/it>). Il progetto mira all'individuazione di soluzioni tecnologiche innovative, misure preventive e linee guida comportamentali specifiche per i lavoratori e finalizzate alla tutela della loro salute dai rischi connessi alle elevate temperature. La principale soluzione tecnologica individuata nel progetto è la realizzazione di una piattaforma previsionale del rischio da caldo specifico per il settore occupazionale (disponibile al seguente indirizzo <https://heatshield.zonalab.it/> e descritta in dettaglio in Morabito et al. (2019) basata su previsioni probabilistiche del modello meteorologico globale ECMWF (Centro Europeo per la Previsione a Medio termine) e calibrata su circa 1.800 stazioni dislocate su tutta l'Europa. In virtù dell'utilizzo di un modello di tipo probabilistico che, oltre a presentare una bassa risoluzione spaziale (circa 18 km per i primi 15 giorni di previsione e 36 km dal 16° giorno in poi) e al fatto di non permettere un dettaglio intragiornaliero, ha anche una minore affidabilità previsionale, i valori previsti vengono corretti mediante una procedura di downscaling a livello puntuale che utilizza le serie storiche di dati osservati (almeno 15 anni di dati) per ciascuna delle località per le quali è disponibile la previsione (Morabito et al., 2019). Il sistema previsionale utilizza come dato di input meteorologico il Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) (Minard et al., 1957), calcolato a partire dai dati meteorologici giornalieri di previsione (temperatura massima giornaliera, temperatura del punto di rugiada media giornaliera, intensità del vento media giornaliera e radiazione globale massima giornaliera) al quale viene poi agganciata una procedura di calcolo di rischio personalizzato (**Figura 3**).



Clothing Adjustment Values		
WBGT Clothing Adjustment Values (CAVs) for Different Clothing Ensembles in °C-WBGT*		
Ensemble	Comments	CAV [°C-WBGT]
Work Clothes	Work clothes made from a woven fabric is the reference ensemble	0
Cloth Coveralls	Woven fabric that includes treated cotton	0
Non-woven SMS Coveralls as a single layer	A non-proprietary process to make non-woven fabrics from polypropylene	0
Non-woven Polyolefin Coveralls as a single layer	A proprietary fabric made from polyethylene	2
Vapour-barrier apron with long sleeves and long length over cloth coveralls	The wrap-around apron configuration was designed to protect the front and sides of the body against spills from chemical agents	4
Double layer of woven clothing	Generally taken to be coveralls over work clothes	3
Vapour-barrier coveralls as a single layer. Without hood.	The real effect depends on the level of humidity and in many cases the effect is less.	10
Vapour-barrier coveralls with hood as a single layer	The real effect depends on the level of humidity and in many cases the effect is less.	11
Vapour-barrier over cloth coveralls w/o hood		12
Hood†	Wearing a hood of any fabric with any clothing ensemble	+1

\*The Clothing Adjustment Values are added to the measured WBGT to obtain WBGT<sub>eff</sub>.

Tabella 12: Valori di CAV secondo la norma UNI EN ISO 7243 (2017)

A questo punto, dal rapporto tra il WBGT eff ed i valori di RAL (o REL nel caso di lavoratore acclimatato al caldo) si ottiene il livello di rischio che viene espresso in %. Se il valore è inferiore all'80%, il rischio non è significativo, se compreso tra l'80 ed il 100% è basso, tra il 100 ed il 120% è moderato ed oltre il 120% è alto (Figura 4).

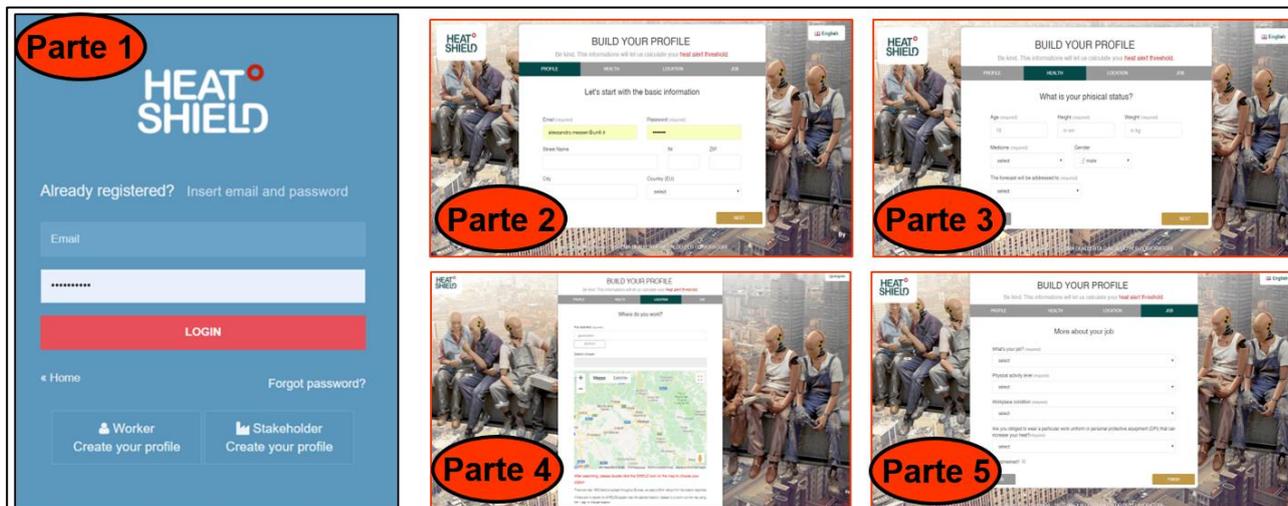
HEAT-SHIELD Platform Risk Levels and Color Codes	WBGT Levels		Work Breaks	Water Consumption (Hydration)	HEAT-SHIELD Recommendations
	Unacclimatized	Acclimatized			
Not significant RL ≤ 80%	<22.5 L <sub>MR</sub> <20.0 M <sub>MR</sub> <18.5 H <sub>MR</sub> <17.5 V <sub>HMR</sub>	<25.0 L <sub>MR</sub> <23.0 M <sub>MR</sub> <21.5 H <sub>MR</sub> <20.5 V <sub>HMR</sub>		 L <sub>MR</sub> from M <sub>MR</sub> to V <sub>HMR</sub>	No special precautions are required: Maintain normal working and hydration procedures.
Low 80% < RL < 100%	22.5 L <sub>MR</sub> 20.0 M <sub>MR</sub> 18.5 H <sub>MR</sub> 17.5 V <sub>HMR</sub>	25.0 L <sub>MR</sub> 23.0 M <sub>MR</sub> 21.5 H <sub>MR</sub> 20.5 V <sub>HMR</sub>		 L <sub>MR</sub> and M <sub>MR</sub> H <sub>MR</sub> and V <sub>HMR</sub>	Pre-alarm (attention): Pay attention to frequent drinking and plan small breaks.
Moderate 100% ≤ RL < 120%	28.5 L <sub>MR</sub> 25.0 M <sub>MR</sub> 23.0 H <sub>MR</sub> 22.0 V <sub>HMR</sub>	31.0 L <sub>MR</sub> 28.5 M <sub>MR</sub> 27.0 H <sub>MR</sub> 25.5 V <sub>HMR</sub>		 L <sub>MR</sub> and M <sub>MR</sub> H <sub>MR</sub> and V <sub>HMR</sub>	Alarm: Drink frequently and increase the number of breaks with cooling.
High RL ≥ 120%	>33.5 L <sub>MR</sub> >29.5 M <sub>MR</sub> >27.5 H <sub>MR</sub> >25.5 V <sub>HMR</sub>	>36.5 L <sub>MR</sub> >33.5 M <sub>MR</sub> >31.5 H <sub>MR</sub> >30.5 V <sub>HMR</sub>		 L <sub>MR</sub> and M <sub>MR</sub> H <sub>MR</sub> and V <sub>HMR</sub>	Emergency: Drink often, even more than 1 L/h and schedule frequent breaks in shadowed or cool area.

L<sub>MR</sub>, M<sub>MR</sub>, H<sub>MR</sub> and V<sub>HMR</sub> represent low (180 W), moderate (300 W), high (415 W), and very high (520 W) metabolic rates (MR), respectively. Green heart: No further breaks than usual are required; Yellow heart: Plan small breaks; Two orange hearts: Increase the number of breaks; Three red hearts: Frequent breaks. One drop: Drink about half a liter of water per hour; Two drops: Drink about a liter per hour; Three drops: Drink more than a liter of water per hour.

Figura 4: Livelli di rischio individuati dalla piattaforma previsionale di Heat-Shield con (Morabito et al., 2019)

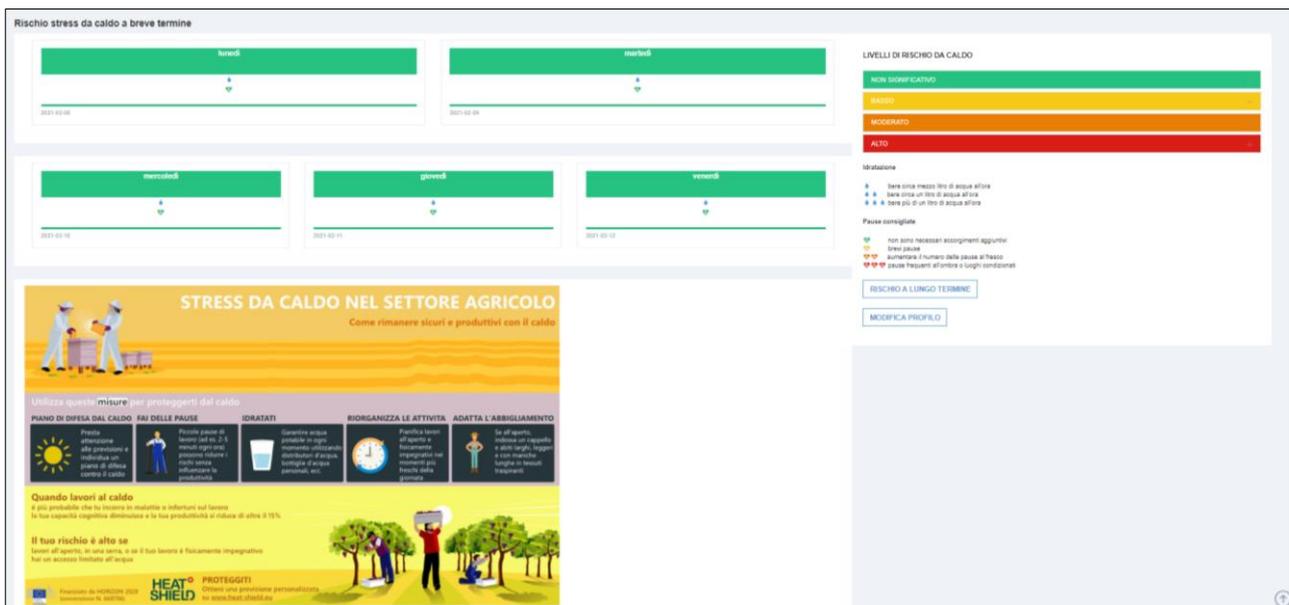
Per quanto riguarda l'output del sistema previsionale, esso è costituito da una piattaforma web (<https://heatshield.zonalab.it/>), sulla cui Home page è presente una previsione di rischio caldo settimanale per le 1.800 località europee già sopra menzionate e in particolare è riportata la probabilità di superamento della soglia di 27°C dell'Indice biometeorologico WBGT per la prima, seconda, terza e quarta settimana. Cliccando nella sezione "Avvisi di calore personalizzati e consigli di riposo/idratazione" (Usa la Versione WEB)

è possibile accedere ad una maschera di registrazione dell'utente che permette di creare un proprio profilo ed ottenere quindi previsioni personalizzate in base ad alcune caratteristiche soggettive e comportamentali del lavoratore. Nella maschera di registrazione è possibile scegliere tra due tipologie di utente: "Singolo lavoratore" oppure "Datore di lavoro/Ente" (Figura 5).



**Figura 5:** Maschera di registrazione e principali passaggi della procedura “Costruisci il tuo profilo” che consente di ottenere successivamente una previsione di rischio caldo personalizzata (<https://heatshield.zonalab.it/>)

Cliccando sulla sezione “singolo lavoratore”, si accede ad un format denominato “Costruisci il tuo profilo” in cui è obbligatorio fornire un indirizzo mail e una password per potere ottenere l’accesso alla personalizzazione e per ottenere poi in futuro la previsione personalizzata. Nella procedura di registrazione vengono richieste tutta una serie di informazioni individuali (età, peso, altezza), tipologia di attività lavorativa svolta, intensità dello sforzo richiesto, livello di acclimatazione, caratteristiche dell’ambiente in cui viene svolto il lavoro (esposti al sole o in zone d’ombra o interne non climatizzate), abbigliamento indossato (con anche qualche riferimento ai dispositivi di protezione individuali) e località per la quale si richiede la previsione. Se invece, nella maschera di registrazione dell’utente, viene cliccata la sezione “Datore di lavoro/Ente”, vengono proposti dei profili di soggetti standard ed in questo caso il datore di lavoro potrà creare più profili associati a diversi indirizzi di posta elettronica e pertanto il messaggio di allerta verrà indirizzato ad ogni singolo lavoratore. Una volta effettuata la registrazione ed una volta inserite le informazioni sul proprio lavoro e le proprie caratteristiche fisiche, si può accedere alla pagina di previsioni personalizzate (Figura 6).



**Figura 6:** Pagina di previsione personalizzata (<https://heatshield.zonalab.it/>)

Il servizio fornisce una previsione di rischio da caldo espressa con una scala colorimetrica che va da verde (no rischio) a rosso (rischio alto) fino al quinto giorno ed al quale sono associati anche dei suggerimenti comportamentali su quanto bere e sul numero di pause da effettuare durante l'attività lavorativa. Tali suggerimenti sono indicati con delle piccole icone, in particolare delle gocce per quanto riguarda i consigli sull'idratazione, dei cuoricini colorati per quanto concerne invece le pause. È importante sottolineare che questo sistema previsionale ha il grosso limite di fornire solo la peggiore condizione di stress da caldo prevista durante l'arco della giornata, senza quindi fornire informazioni sui livelli di rischio nei vari momenti della giornata. Associata alla previsione, viene fornita anche una infografica in funzione del settore occupazionale dichiarato nella fase di registrazione e che fornisce una serie di indicazioni comportamentali di tipo statico sempre valide e utili per migliorare la propria condizione di lavoro durante il periodo caldo. Il proprio profilo personale può essere modificato in qualunque momento cliccando sull'icona "modifica profilo" ed una volta aggiornato il profilo, la previsione viene automaticamente ricalibrata in base ai nuovi input. È quindi possibile effettuare simulazioni diverse ipotizzando diversi scenari lavorativi. Il sistema fornisce anche una previsione sul lungo periodo che viene espressa mediante un calendario in cui ciascun giorno viene indicato con un colore diverso in base al rischio previsto (**Figura 7**) e tale informazione può essere utilizzata sia dal datore di lavoro che dal lavoratore stesso per programmare e gestire al meglio le attività nel medio-lungo periodo.



**Figura 7:** Previsione personalizzata del rischio sul lungo termine (<https://heatshield.zonalab.it/>)

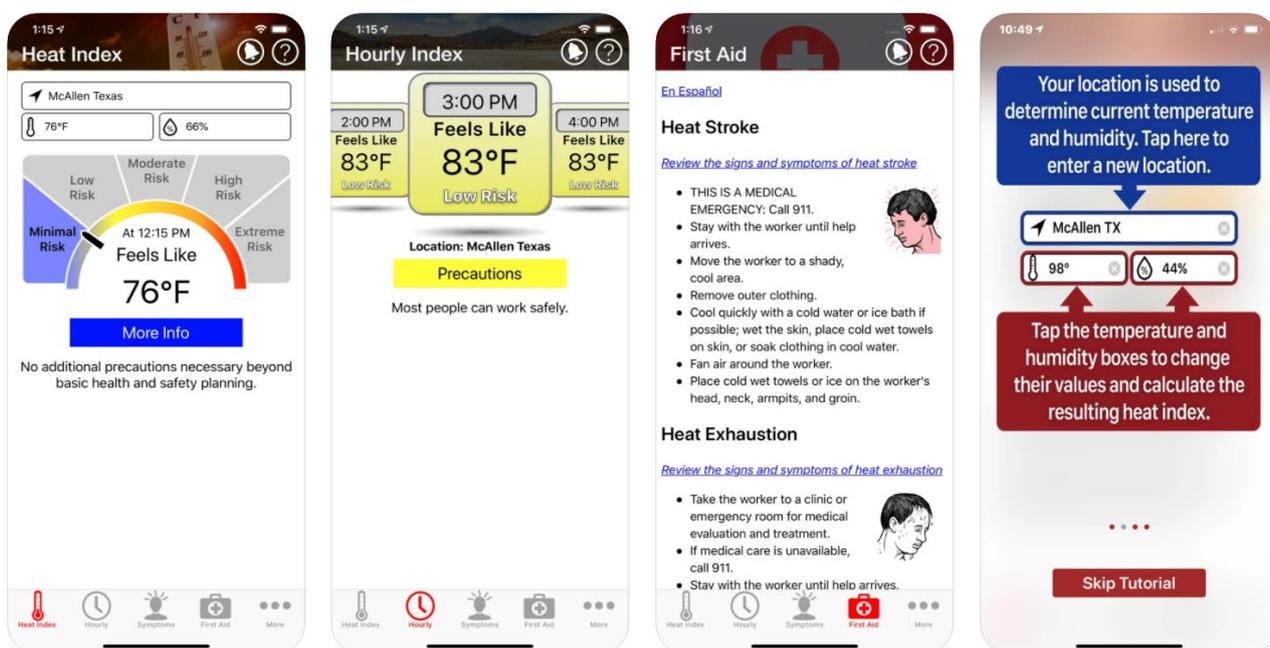
Sulla piattaforma previsionale è inoltre presente una specifica sezione dedicata alla raccolta dei feedback degli utenti che può essere utilizzata dai gestori ed amministratori del sistema per la manutenzione e l'eventuale miglioramento del servizio. I limiti di questo sistema previsionale, già in parte descritti, sono: la scarsa risoluzione spaziale (la previsione è disponibile solo per 1.800 località europee), l'assenza di un dettaglio della distribuzione del rischio da caldo a livello intra-giornaliero (è indicato il rischio massimo giornaliero senza sapere in che momento si verifica e non è presente un dettaglio del rischio a livello orario o per fasce orarie), non viene preso in considerazione alcun aspetto epidemiologico e quindi l'eventuale condizione di vulnerabilità caldo-correlata del lavoratore determinata dal suo stato di salute, l'eventuale utilizzo di farmaci, non sono considerati gli aspetti legati alla pandemia da COVID-19 che ha reso necessario l'utilizzo di specifici DPI che incrementano il rischio legato allo stress termico.

## 3.2 Servizi con Applicazione Mobile

### 3.2.1 OSHA-NIOSH SAFETY TOOL

I Servizi di HHWS fruibili mediante applicazioni mobile presentano senza ombra di dubbio grandi potenzialità di applicazione nel settore occupazionale che, per le caratteristiche intrinseche che lo contraddistinguono, rendono necessaria una consultazione in real-time dell'informazione da parte dell'utente, in qualunque momento ed in qualunque luogo esso si trovi. Al momento però questa tipologia di servizio è molto rara ed a livello internazionale si contano pochissimi esempi. Uno dei servizi più utilizzati a livello internazionale è l'applicazione mobile "OSHA-NIOSH SAFETY TOOL" (<https://apps.apple.com/us/app/osha-niosh-heat-safety-tool/id1239425102>), sviluppata e recentemente aggiornata dall'amministrazione per la sicurezza e la salute sul lavoro (OSHA) e dall'Istituto nazionale per la sicurezza e la salute sul lavoro degli Stati Uniti con l'obiettivo di informare in maniera tempestiva i lavoratori ed i loro responsabili sul rischio legato allo stress da caldo sul posto di lavoro. L'applicazione fornisce il valore orario di Heat Index (HI) (Rothfusz 1990), indice derivato da un'analisi di regressione multipla della temperatura e umidità relativa sulla base della prima versione dell'indice di temperatura apparente di Steadman (1979). Ricavato dai valori di temperatura dell'aria e umidità relativa riferiti alla stazione meteorologica più vicina della rete di osservazione gestita dalla National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), restituendo quindi una "real time osservation" del valore di HI. È possibile inoltre ottenere una previsione oraria per la giornata in essere e per la località indicata ma non viene descritta con chiarezza la procedura che viene utilizzata per ottenere la previsione. L'informazione sembra basarsi non su dati microclimatici previsti da modello meteorologico ma bensì da una simulazione dell'andamento orario tipico dell'indice HI. L'app classifica i valori di HI in cinque livelli di rischio (minimo,

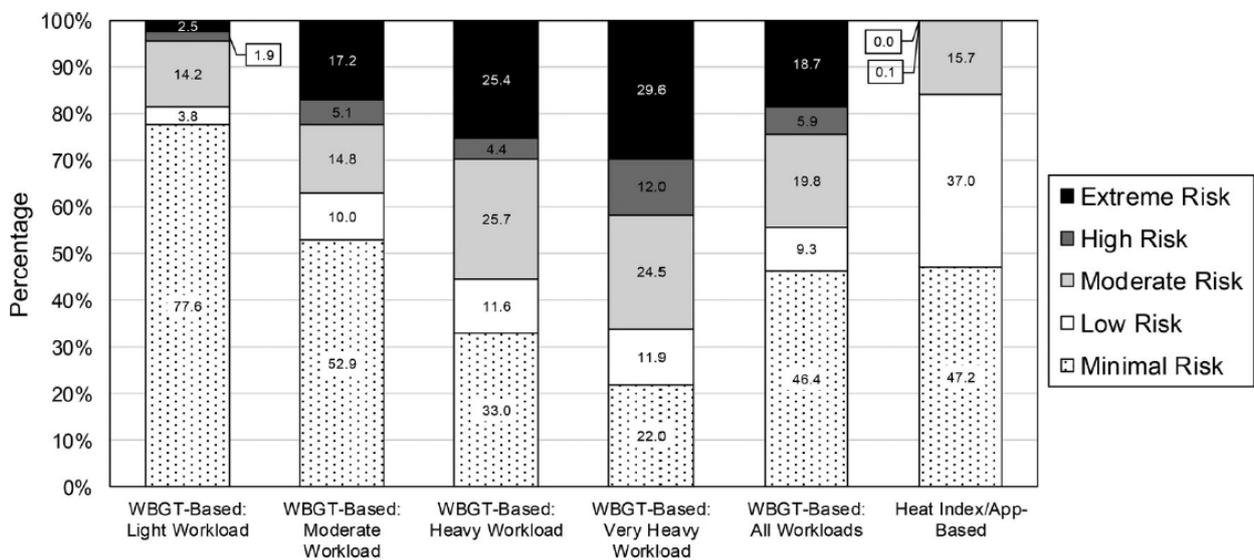
basso, moderato, intenso, estremo) (**Figura 8**), molto simili a quelli della guida OSHA (2019) che però identifica 4 livelli di rischio (basso, moderato, intenso, estremo). A ciascun livello di rischio sono poi associati anche dei suggerimenti (“precautions”) da adottare ed utili per ridurre il rischio. Una volta installata, viene visualizzato un tutorial che attraverso una semplice schermata fornisce informazioni sintetiche circa l’indicatore utilizzato, con particolare riferimento ai parametri microclimatici (temperatura e umidità dell’aria) impiegati per il calcolo, successivamente, con un semplice click si viene indirizzati nella home page della app e nella quale è possibile sia digitare il nome di una località, sia attivare la localizzazione automatica tramite GPS integrato sul cellulare, sia fornire specifici valori di temperatura e umidità dell’aria e il servizio fornirà in forma grafica (freccia su scala cromatica) il livello di rischio associato. Inoltre, nella parte bassa dello schermo sono presenti delle icone grafiche che permettono di accedere ad ulteriori funzionalità (“previsione oraria”, “sintomi”, “pronto soccorso”, “altre informazioni”).



**Figura 8:** Alcune schermate che illustrano le funzionalità dell’app OSHA-NIOSH SAFETY TOOL

Cliccando sull’icona “previsione oraria” si accede ad una nuova schermata sulla quale è possibile consultare i livelli di rischio orari per la località impostata e per la giornata in essere. Tramite la funzione “sintomi” è possibile accedere ad una sezione che illustra le principali sintomatologie che possono incorrere nel caso di esposizione prolungata al calore durante l’attività lavorativa. L’icona “pronto soccorso” permette invece di accedere ad una ulteriore sezione dedicata alle attività di pronto intervento che possono essere effettuate nel caso un soggetto presenti sintomatologie riconducibile all’esposizione ad alte temperature. L’ultima icona “altre informazioni” fornisce invece informazioni generiche sulla app ed in particolare i contatti a cui rivolgersi in caso della necessità di ottenere ulteriori informazioni o indicazione per un corretto utilizzo del prodotto. Nella parte alta dello schermo inoltre vi è una ulteriore icona rappresentata da un “campanello” e che permette di programmare degli allarmi sonori per programmare le pause per idratarsi e riposarsi per ogni giorno della settimana con diversi intervalli preimpostati (15, 30 o 60 minuti). Per spiegare ulteriormente le funzionalità e l’indicatore utilizzato nel servizio, è presente una pagina web dedicata sul sito del Centro per la Prevenzione ed il Controllo delle malattie (CDC) (<https://www.cdc.gov/niosh/topics/heatstress/heatapp.html>) nella quale vengono illustrati brevemente anche i limiti del servizio e l’indicatore utilizzato, facendo riferimento soprattutto alla mancata considerazione di alcuni parametri fondamentali per la valutazione delle condizioni di stress da caldo in ambiente outdoor come il vento e la radiazione solare oltre ad altri aspetti correlati alla tipologia di attività lavorativa ed alle caratteristiche fisiologiche del soggetto che influenzano in maniera significativa la sua

esposizione al rischio. Viene infatti indicato che il WBGT sarebbe più indicato per la misurazione dello stress da caldo in ambito occupazionale rispetto all'HI, ed in particolare esso permette di individuare i limiti di esposizione rispettivamente per i soggetti acclimatati (REL) e non acclimatati (RAL) ma la difficoltà dettata dalla strumentazione più complessa per la misurazione di tale parametro, non consente di applicarlo nella realtà delle piccole e medie imprese. In questi casi l'HI, e quindi la app, vengono indicati come un buon compromesso. Uno studio piuttosto recente (Dyllane and Balanay 2020) ha messo a confronto il servizio fornito dalla app, e quindi i livelli di HI orari, con un monitoraggio effettuato direttamente in alcune aziende del settore agricolo (ambiente outdoor) con strumentazione microclimatica e calcolo dei valori orari di WBGT nel periodo compreso tra aprile ed agosto del 2019. I risultati hanno mostrato che OSHA-NIOSH SAFETY TOOL ha identificato correttamente il 60-100% delle condizioni di rischio minimo, a seconda del tipo di carico di lavoro, ma la sua affidabilità è diminuita con l'aumentare del livello di rischio e del carico di lavoro. L'app ha identificato il 74% delle condizioni di basso rischio per un carico di lavoro moderato e addirittura il 94% per un carico di lavoro leggero ma in tutto il periodo non è riuscita ad identificare neanche una condizione di rischio elevato o estremo per qualunque carico di lavoro (Figura 9).



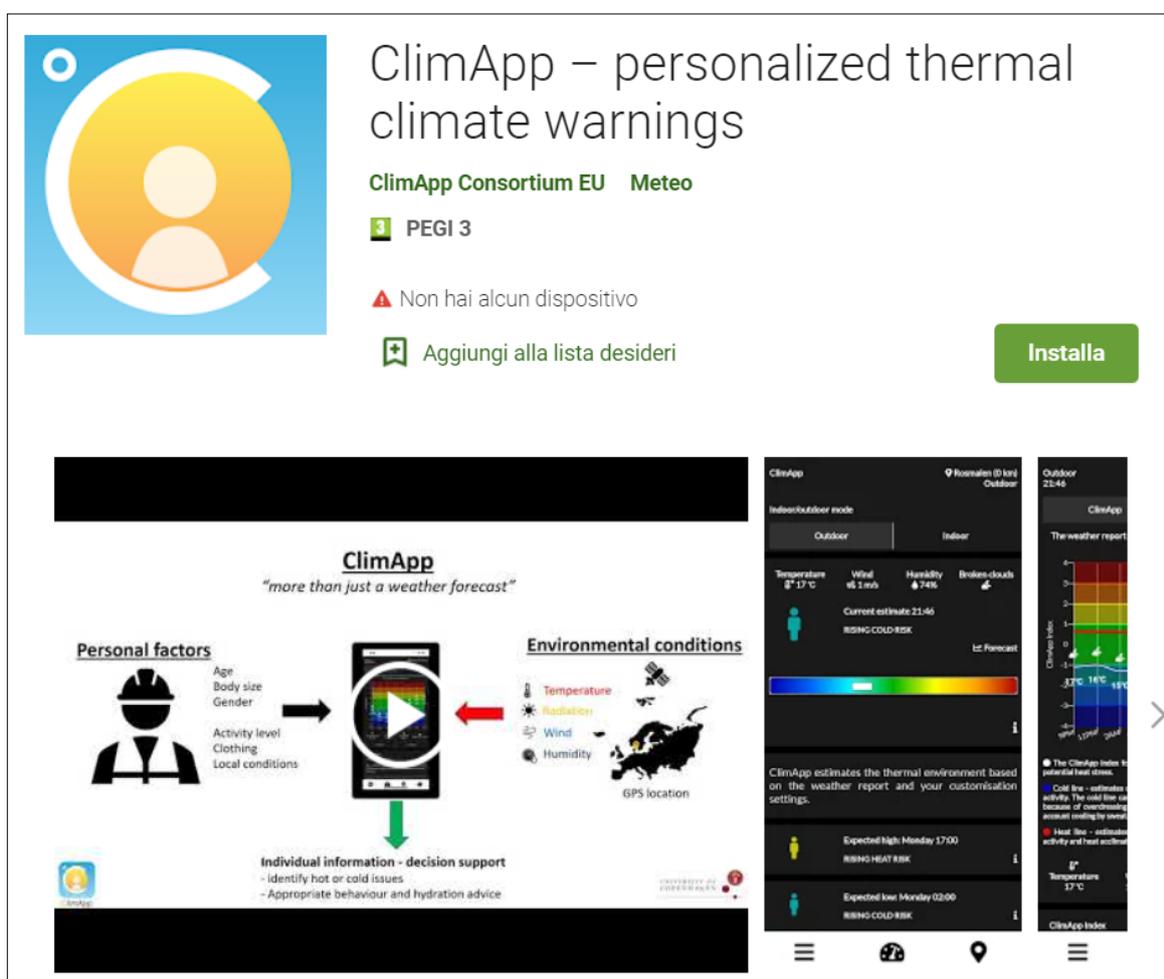
**Figura 9:** Percentuale dei livelli di rischio di stress da calore assegnati (su 682 ore) secondo l'indice WBGT calcolato da parametri microclimatici misurati all'interno di alcune aziende agricole del Nord Carolina e secondo la app OSHA-NIOSH SAFETY TOOL (indice HI) (Dyllane and Balanay 2020)

Gli autori concludono quindi che le prestazioni dell'app OSHA-NIOSH nella valutazione del rischio professionale dovuto allo stress da calore non proteggono i lavoratori in particolare per carichi di lavoro molto pesanti, e che l'uso di questo strumento per la valutazione del rischio di stress termico professionale in ambienti agricoli non è raccomandato. Oltre a questo aspetto, uno dei limiti principali dell'applicazione è il fatto che la previsione del rischio si basa su una simulazione e non su dati previsionali provenienti da modello meteorologico ed oltre a questo essa si spinge solo fino a 24 ore e non è pertanto possibile effettuare una programmazione delle attività nel breve-medio periodo (3-5 giorni) al fine di tutelare sia la salute che la produttività dei lavoratori.

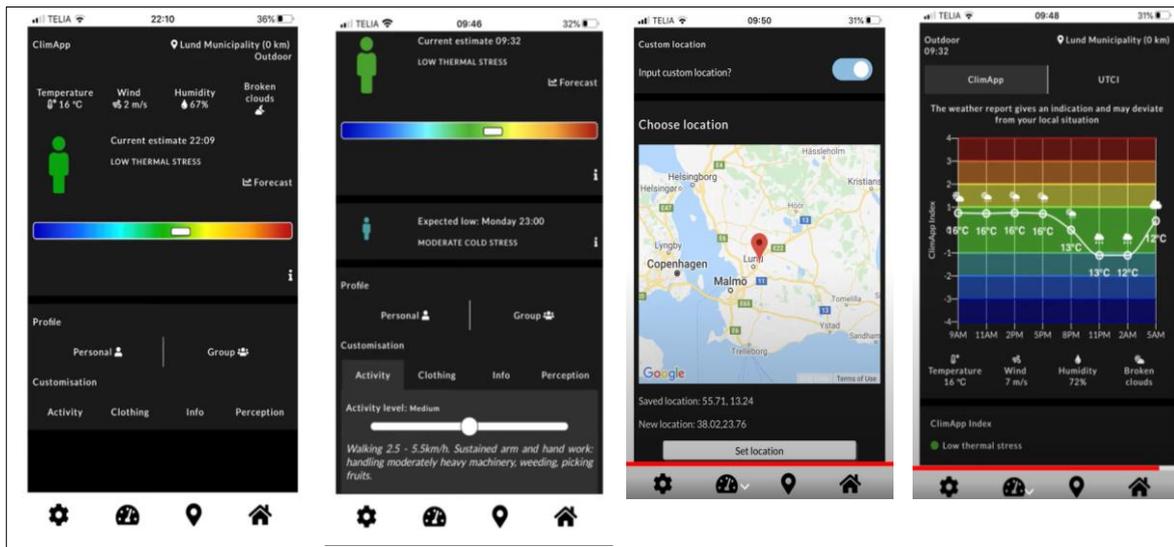
### 3.2.2 ClimApp

Una nuova app (ClimApp) è stata recentemente realizzata nell'ambito del progetto europeo "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), ed al quale hanno partecipato 3 nazioni europee (Svezia, Danimarca e Olanda). Questo progetto ha interagito molto con il progetto europeo HEAT-SHIELD che ha portato allo sviluppo dell'unica

piattaforma web di previsioni personalizzate al settore occupazionale attualmente esistenti. L'obiettivo generale del progetto, ancora in corso, è quello di sviluppare un'App che integri le informazioni sulle previsioni del tempo in un modello di bilancio termico umano e fornire 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. Il progetto non si è ancora concluso ma alcuni output sono già fruibili, tra cui l'app (**Figura 10**), anche se non tutte le funzionalità sono disponibili. Il target di lavoratori a cui lo strumento è indirizzato sono i lavoratori outdoor ma può essere utilizzata anche per attività generiche all'aperto della popolazione generale. L'applicazione è disponibile sia in Google Play per sistemi Android che in App Store per la versione iPhone e fornisce informazioni personalizzate relative allo stress termico ambientale sia per quanto riguarda il caldo che il freddo. Appena si accede all'applicazione, si apre una dashboard (**Figura 11**) 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.

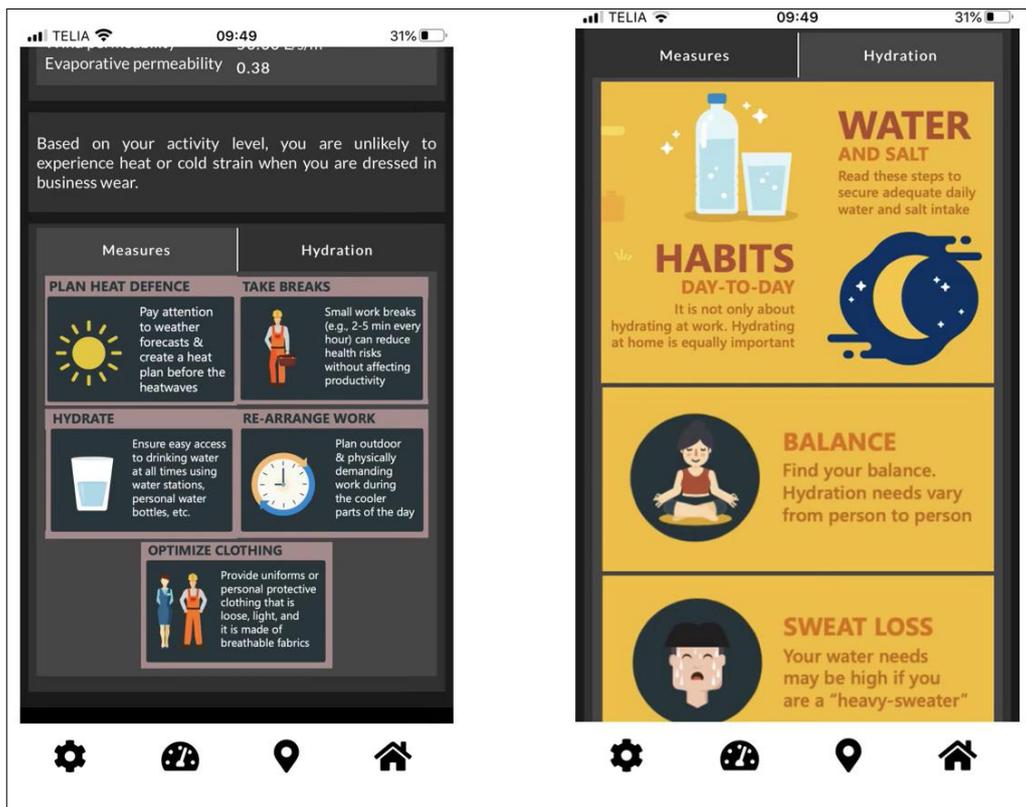


**Figura 10:** Applicazione ClimApp scaricabile sia per sistemi Android che per iPhone



**Figura 11:** Dashboard e principali funzionalità dell'applicazione ClimApp

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. In particolare, in prima battuta vengono richieste informazioni circa le caratteristiche generali del soggetto (lavoratore, persona anziana, bambino) oltre che indicazioni su caratteristiche fisiche (peso ed altezza), abbigliamento indossato e tipologia di attività svolta. Il sistema fornisce la condizione di stress termico secondo l'indice Universal Thermal Climate Index (UTCI) (Jendritzky et al., 2012) per la località di interesse ed ottenuta mediante geolocalizzazione e utilizzo dei dati microclimatici registrati dalla stazione meteorologica più vicina. Oltre al livello di rischio, vengono indicati anche i valori di temperatura dell'aria espressi in gradi centigradi (°C), le condizioni meteorologiche previste (cielo sereno, nuvoloso, pioggia, etc.), la velocità del vento (m/sec) e l'umidità relativa (%). Cliccando sull'indicazione "Forecast", si apre una nuova pagina che esprime in forma grafica la previsione oraria per le prossime 24 ore per quella stessa località. Inoltre, sono disponibili anche suggerimenti comportamentali associati alle condizioni microclimatiche previste al fine di ridurre il rischio di stress termiche. I suggerimenti vengono espressi mediante infografiche e riguardano vari aspetti quali l'idratazione, le pause all'interno dei turni, il ritmo di lavoro, la riprogrammazione delle attività in funzione delle condizioni termiche previste, oltre che l'ottimizzazione dell'abbigliamento indossato (**Figura 12**).



**Figura 12:** Infografiche contenenti suggerimenti comportamentali forniti dall'applicazione in funzione del livello di rischio termico

Purtroppo, l'applicazione presenta attualmente dei limiti di funzionamento ed inoltre la previsione si spinge solo fino a 24 ore, non consentendo quindi una programmazione delle attività lavorative nel breve-medio periodo (fino a 3 giorni), fondamentale invece per ridurre l'impatto del caldo non solo sulla salute ma anche sulla produttività dei lavoratori. Inoltre, come la totalità dei sistemi di warning attualmente disponibili per il settore occupazionale non prende in considerazione l'aspetto epidemiologico che quindi non entra a fare parte della procedura di calcolo del rischio.

### 3.2.3 Work Wyze Heat Safety App

L'applicazione "Work Wyze Heat Safety" è stata realizzata da "Worksafe Australia" con la collaborazione di "Australian Institute of Occupational Hygienists (AIOH)" con l'obiettivo di tutelare la salute dei lavoratori dai rischi connessi alle elevate temperature durante il periodo estivo (<https://www.work-wyze.com.au/how-to-minimise-the-risk-of-heat-stress-workwyze-mobile-app/>). L'applicazione si basa sull'indice "Apparent Temperature" (Steadman, 1994), corretto secondo l'algoritmo di stress termico realizzato dall'Australian Institute of Occupational Hygienists (AIOH 2013). L'algoritmo permette di integrare le informazioni meteorologiche fornite dall'Australian Bureau of Meteorology (BOM) con gli score provenienti da un questionario compilabile da ogni singolo lavoratore e che permette quindi di determinare un livello di rischio personalizzato in funzione delle caratteristiche del soggetto, della tipologia di attività e dell'ambiente di lavoro. In particolare, il livello di rischio scaturisce da uno score ottenuto dalla somma dei punteggi ottenuti da tre campi: ambiente (temperatura apparente), tasso metabolico e tipologia di rischio. Per quanto riguarda la tipologia di rischio, vengono richieste all'utente tutta una serie di informazioni alle quali viene assegnato un punteggio da 1 (rischio minimo) a 4 (rischio massimo) riguardanti: esposizione diretta alla radiazione, vicinanza con superfici caldo o macchinari che emettono calore, durata del periodo di esposizione, distanza da aree di riposo climatizzate, distanza dalle risorse idriche, livello di acclimatazione, utilizzo di mascherine, tipologia di impegno richiesto durante il lavoro, abbigliamento indossato, movimento dell'aria, formazione su rischio legato al caldo. (Figura 13).

**Appendix 1 - Basic Thermal Risk Assessment using Apparent Temperature  
(Informative example only)**

HAZARD TYPE	Assessment Point Value			
	0	1	2	3
Sun Exposure	Indoors <input type="checkbox"/>	Full Shade <input type="checkbox"/>	Part Shade <input type="checkbox"/>	No Shade <input type="checkbox"/>
Hot surfaces	Neutral <input type="checkbox"/>	Warm on Contact <input type="checkbox"/>	Hot on contact <input type="checkbox"/>	Burn on contact <input type="checkbox"/>
Exposure period	< 30 min <input type="checkbox"/>	30 min - 1hour <input type="checkbox"/>	1 hour - 2 hours <input type="checkbox"/>	> 2 hrs <input type="checkbox"/>
Confined space	No <input type="checkbox"/>			Yes <input type="checkbox"/>
Task complexity		Simple <input type="checkbox"/>	Moderate <input type="checkbox"/>	Complex <input type="checkbox"/>
Climbing, up/down stairs or ladders	None <input type="checkbox"/>	One level <input type="checkbox"/>	Two levels <input type="checkbox"/>	> Two levels <input type="checkbox"/>
Distance from cool rest area	<10 Metres <input type="checkbox"/>	10 - 50 Metres <input type="checkbox"/>	50-100 Metres <input type="checkbox"/>	>100 Metres <input type="checkbox"/>
Distance from drinking water	<10 Metres <input type="checkbox"/>	10 - 30 Metres <input type="checkbox"/>	30-50 Metres <input type="checkbox"/>	>50 Metres <input type="checkbox"/>
Clothing (permeable)		Single layer (light) <input type="checkbox"/>	Single layer (mod) <input type="checkbox"/>	Multiple layer <input type="checkbox"/>
Understanding of heat strain risk	Training given <input type="checkbox"/>			No training given <input type="checkbox"/>
Air movement	Strong Wind <input type="checkbox"/>	Moderate Wind <input type="checkbox"/>	Light Wind <input type="checkbox"/>	No Wind <input type="checkbox"/>
Resp. protection (-ve pressure)	None <input type="checkbox"/>	Disposable Half Face <input type="checkbox"/>	Rubber Half Face <input type="checkbox"/>	Full Face <input type="checkbox"/>
Acclimatisation	Acclimatised <input type="checkbox"/>			Unacclimatised <input type="checkbox"/>
SUB-TOTAL A				
Metabolic work rate*		Light <input type="checkbox"/>	Moderate <input type="checkbox"/>	Heavy <input type="checkbox"/>
SUB-TOTAL B				
Apparent Temperature		< 27°C <input type="checkbox"/>	>27°C ≤ 33°C <input type="checkbox"/>	>33°C ≤ 41°C <input type="checkbox"/>
SUB-TOTAL C				
TOTAL = A plus B Multiplied by C				

**\*Examples of Work Rate.**  
**Light work:** Sitting or standing to control machines; hand and arm work assembly or sorting of light materials.  
**Moderate work:** Sustained hand and arm work such as hammering, handling of moderately heavy materials.  
**Heavy work:** Pick and shovel work, continuous axe work, carrying loads up stairs.

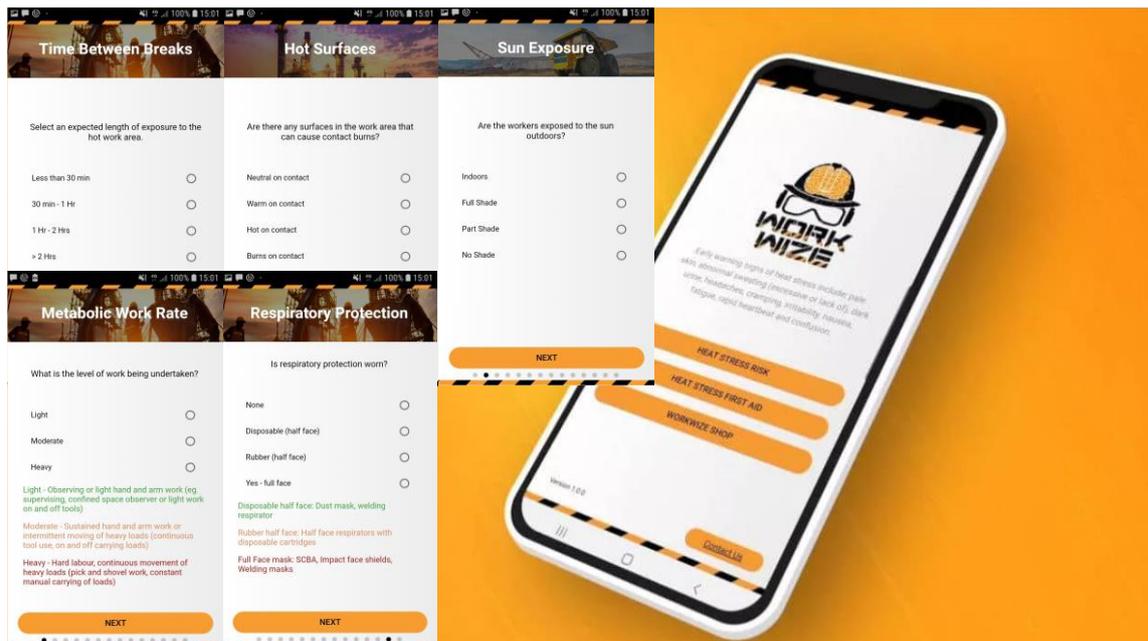
**Instructions for use of the Basic Thermal Risk Assessment**

- Mark each box according to the appropriate conditions.
- When complete add up using the value at the top of the appropriate column for each mark.
- Add the sub totals of Table A & Table B and multiply with the sub-total of Table C for the final result.
- If the total is **less than 28** then the risk due to thermal conditions are low to moderate.
- If the total is **28 to 60** there is a potential of heat-induced illnesses occurring if the conditions are not addressed. Further analysis of heat stress risk is required.
- If the total **exceeds 60** then the onset of a heat-induced illness is very likely and action should be taken as soon as possible to implement controls.

It is important to note that that this assessment is to be used as a guide only. A number of factors are not included in this assessment such as employee health condition and the use of high levels of PPE (particularly impermeable suits). In these circumstances experienced personnel should carry out a more extensive assessment.

**Figura 13: Procedura di calcolo del rischio secondo Australian Institute of Occupational Hygienists (AIOH) (2013)**

Vengono quindi individuati 3 livelli di rischio in funzione dello score (SC) totale ottenuto: rischio da basso a moderato (score < 28), rischio alto (28 < SC < 60), rischio molto alto (SC > 60). A ciascuno dei tre livelli vengono associate delle procedure atte a ridurre l’impatto dello stress termico sul lavoratore. L’applicazione è scaricabile in google play per sistemi Android oppure in App Store. Una volta scaricata l’applicazione, si può accedere a tre funzionalità principali che sono: la procedura di calcolo del livello di rischio personalizzato (“Heat Stress Risk”), una sezione di pronto soccorso (“Heat Stress First Aid”) ed una sezione commerciale. Quest’ultima permette di fare acquisti di prodotti come integratori salini ed in generale prodotti che permettono un mantenimento di un buon livello di idratazione oltre che abbigliamento da lavoro specifico per ridurre l’impatto delle elevate temperature. La sezione pronto soccorso invece fornisce informazioni circa le possibili patologie che possono incorrere in caso di esposizione ad elevate temperature e gli atteggiamenti da adottare per cercare di ridurre l’impatto sul lavoratore. La prima sezione è invece costituita dalla procedura guidata che consente il calcolo del rischio personalizzato. In **figura 14** sono riportate alcune schermate delle informazioni richieste dal sistema e la cui compilazione è obbligatoria, altrimenti non è possibile procedere alla schermata successiva. Ciascuna domanda prevede una da 3 a 4 risposte ed in base alla risposta fornita, viene assegnato un punteggio da 1 a 4 in base al livello di rischio corrispondente e che contribuirà al calcolo dello score di rischio finale.

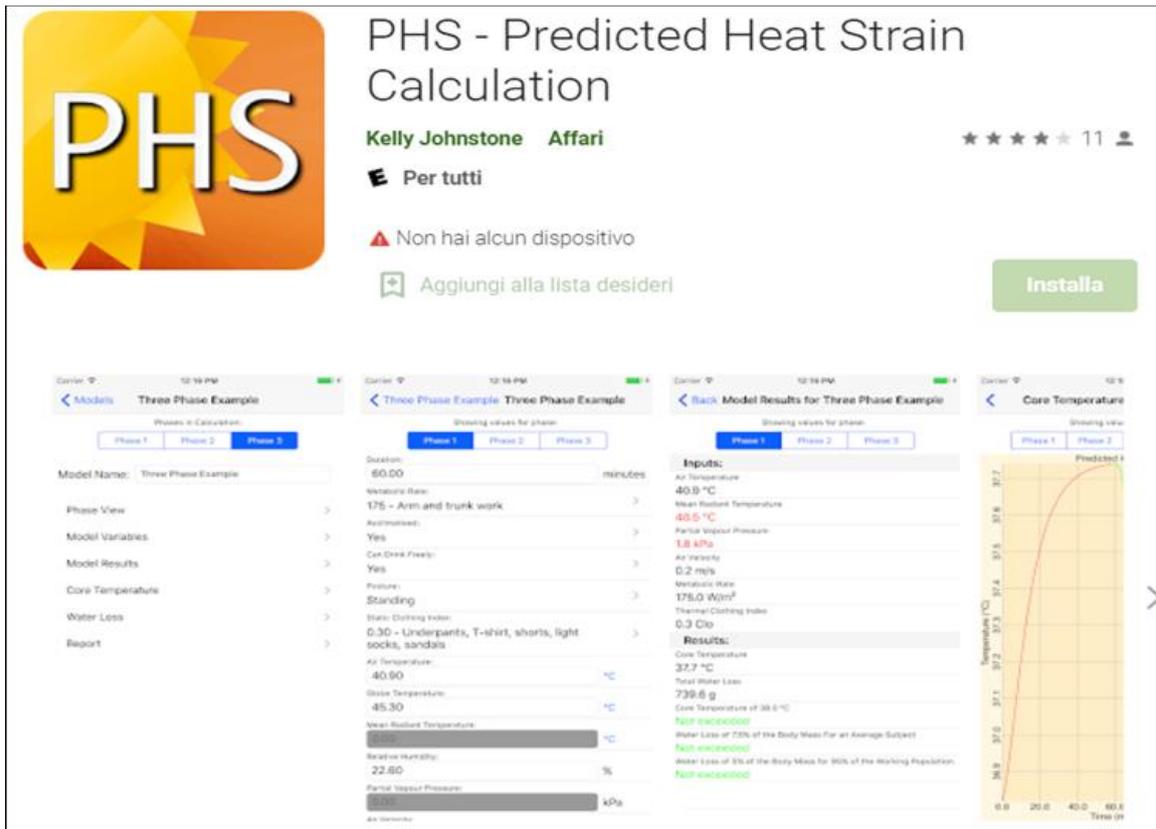


**Figura 14:** *Interfaccia dell'applicazione Work Wize con alcune schermate che consentono la personalizzazione dell'informazione relativa al rischio caldo*

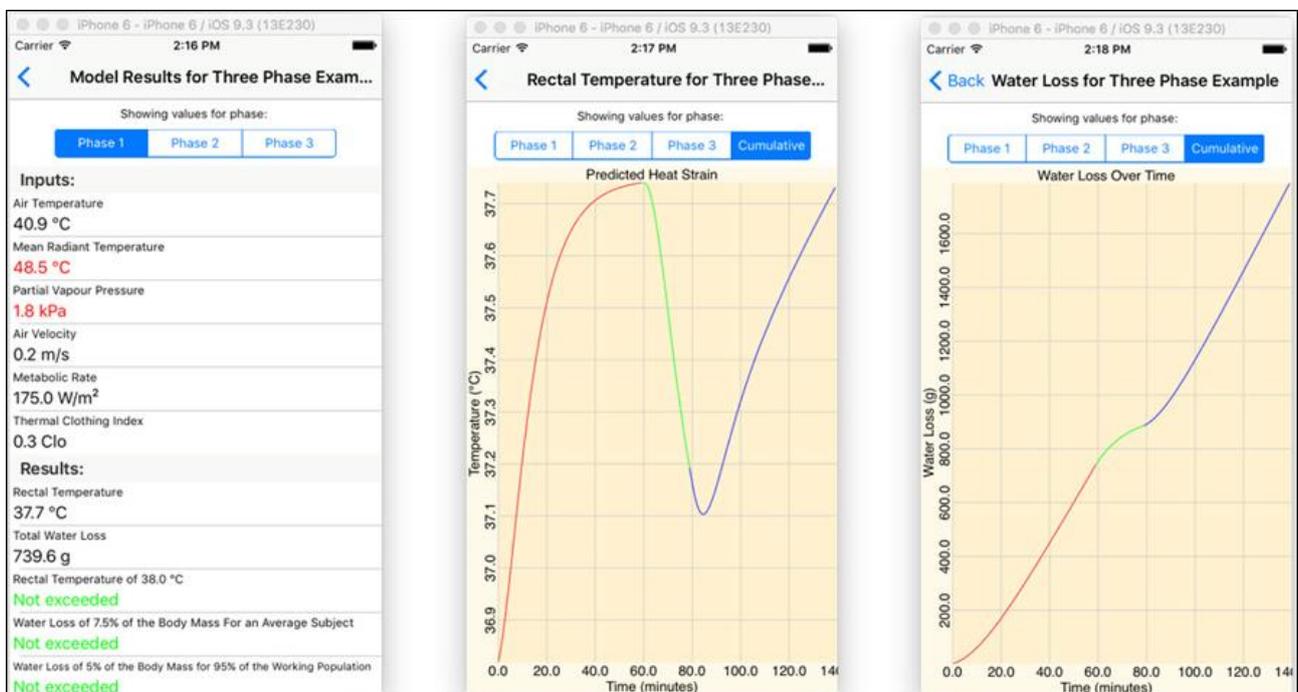
Il sistema tuttavia non fornisce una previsione ma bensì una fotografia dell'attuale rischio in funzione della località impostata dall'utente o ottenuta dal dispositivo mediante geo localizzazione e delle condizioni microclimatiche presenti ed ottenute da stazioni meteorologiche. La procedura di calcolo del rischio non prende inoltre in considerazione l'abbigliamento indossato, i dispositivi di protezione individuali utilizzati (ad eccezione delle mascherine) e lo stato di salute del lavoratore. L'aspetto epidemiologico non entra quindi a fare parte della procedura di calcolo del rischio.

### 3.2.4 PHS application

Gli indici razionali di stress da calore, seppur difficilmente applicabili in sistemi previsionali su larga scala e per un soggetto generico, possono permettere di ottenere una valutazione più accurata degli scenari di stress da calore per uno specifico soggetto ed in particolare possono costituire un ulteriore strumento utilizzabile, da uno specifico stakeholder operante nel settore della tutela della salute dei lavoratori, nella potenziale valutazione del rischio. Come descritto anche nel precedente paragrafo, il PHS rappresenta uno degli indici razionali maggiormente utilizzati, nonostante la sua complessità di calcolo che richiede necessariamente l'accesso ad un computer e soprattutto la conoscenza di specifici parametri ambientali e fisiologici oltre che le caratteristiche delle mansioni lavorative che il soggetto svolge. Per affrontare il problema relativo alla complessità di calcolo e quindi rendere maggiormente applicabile questo strumento di valutazione dello stress da caldo in ambito occupazionale, è stato avviato un progetto presso l'Università del Queensland finalizzato allo sviluppo di una applicazione per telefoni cellulari basata sullo standard UNI EN ISO 7933(PHS). Questa applicazione, disponibile gratuitamente (**Figura 15**), consente ai medici competenti ed a tutti gli stakeholders impegnati nella tutela della salute dei lavoratori, di inserire una serie di parametri descrittivi dell'ambiente di lavoro, delle mansioni e delle caratteristiche fisiche del soggetto per valutare i potenziali rischi sulla salute generati dall'esposizione al caldo in ambito occupazionale e consentire quindi di effettuare monitoraggi e controlli dello scenario espositivo senza richiedere l'accesso a un computer. Sulla base dei dati di input, l'App utilizza una serie di algoritmi per produrre grafici e informazioni sulla temperatura corporea interna prevista e sulla perdita di liquidi (**Figura 16**).



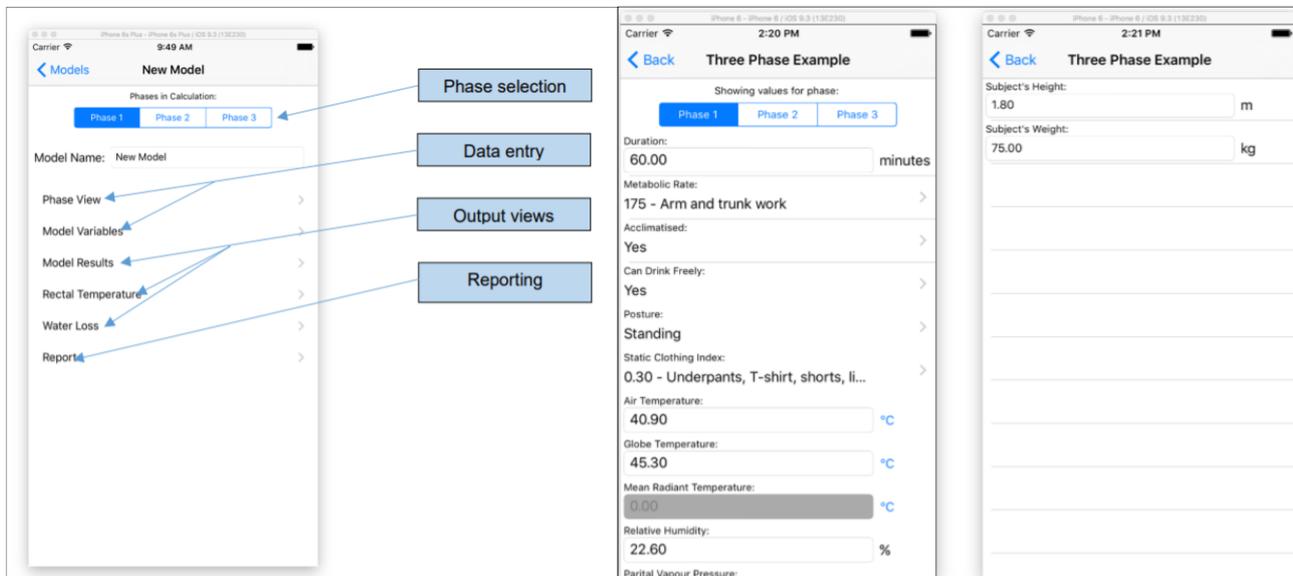
**Figura 15:** App PHS- Predicted Heat Strain Calculation, liberamente scaricabile al link <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.stellarscience.ETE&hl=it&gl=US>



**Figura 16:** Output dell'applicazione "PHS- Predicted Heat Strain Calculation"

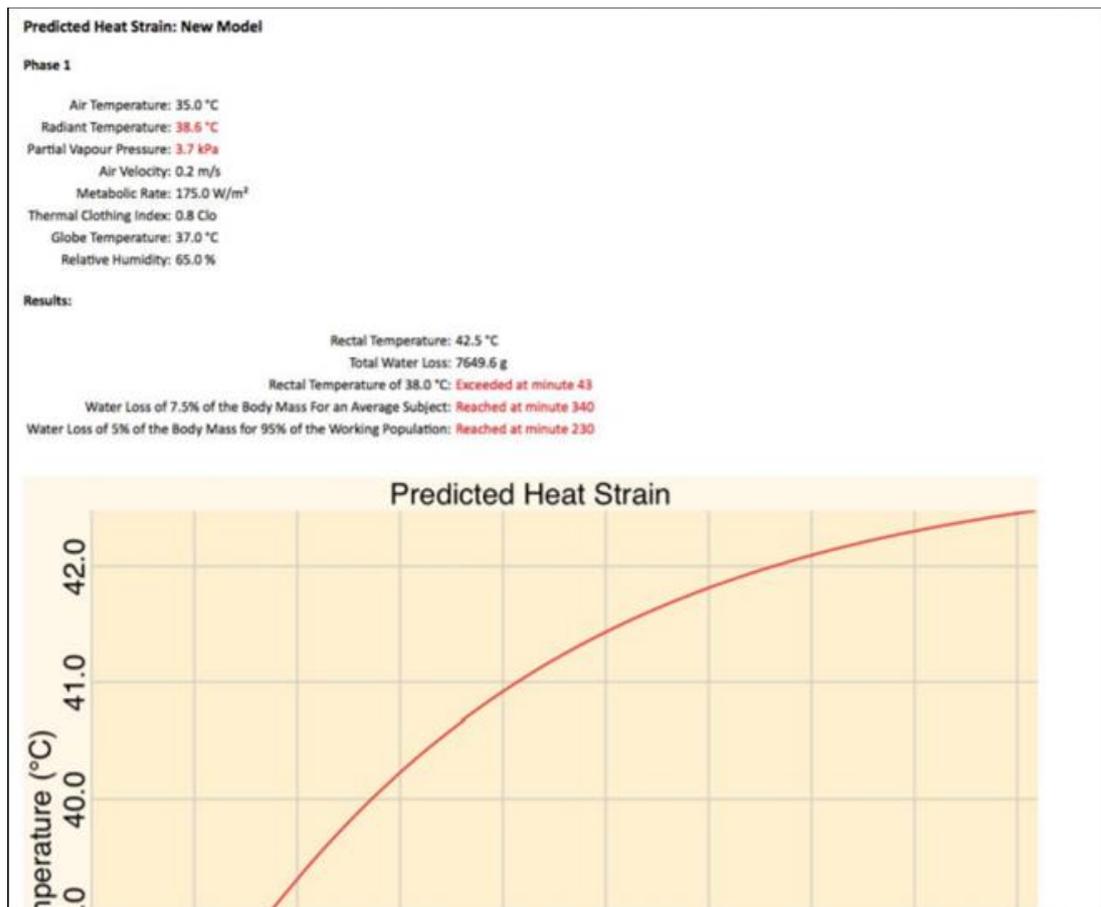
In particolare, selezionando all'apertura dell'applicazione, la funzionalità "new model", si accede ad un menu nel quale è possibile individuare 3 sezioni. La prima sezione è costituita dai dati di input al sistema e che

devono essere indicati dall'utente, la seconda sezione costituisce invece gli output che il sistema fornisce mentre la terza ed ultima sezione è rappresentata dal riepilogo di tutti i dati (input ed output). All'interno della sezione di input, l'utente deve compilare, per ciascuno delle tre fasi lavorative proposte, tutti i campi presenti: durata dell'attività, tasso metabolico, livello di acclimatazione, possibilità di idratarsi, postura, abbigliamento indossato, peso, altezza, temperature dell'aria, temperatura globotermometrica ed umidità relativa (**Figura 17**).



**Figura 17:** Pagina di accesso alle funzionalità dell'applicazione e dati di input

Una volta inseriti tutti i parametri, l'utente può accedere alla sezione "Model Results", nella quale è possibile consultare i risultati, sia per ciascuna delle singole fasi eventualmente indicate, sia complessivamente (**Figura 16**). Gli output sono rappresentati dalla temperatura rettale e dalla perdita di liquidi e tali informazioni sono fornite sia in forma numerica e puntuale, sia in forma grafica, indicando anche il superamento di specifiche soglie di rischio (temperatura rettale al di sopra di 38°C, perdita di liquidi superiore al 7,5% della propria massa corporea, perdita di liquidi superiore al 5% della massa corporea media rappresentativa del 95% della popolazione lavorativa). Inoltre, i grafici prodotti dal sistema possono essere salvati come file png e possono essere quindi inviati per posta elettronica (**Figura 18**).



**Figura 18:** Salvataggio del grafico generato dall'applicazione con possibilità di invio per posta elettronica

Una guida completa all'utilizzo di tale applicazione, è disponibile in format PDF all'indirizzo:  
<http://www.thethermalenvironment.com/wp-content/uploads/2016/09/PHS-App-User-Guide-V1.pdf>

## 4. Conclusioni e prospettive per lo sviluppo di un sistema di allerta da caldo

Attualmente sono disponibili molte informazioni previsionali relative a numerose variabili meteorologiche, a varie risoluzioni spaziali e temporali. Questo tipo di informazioni, però, per essere utilizzate in modo efficace in ambito occupazionale, richiedono varie interpretazioni, spesso tutt'altro che scontate e applicabili dopo ulteriori elaborazioni da parte di personale qualificato e quindi non sempre facilmente e prontamente applicabili al settore lavorativo, coinvolgendo tutti gli attori coinvolti, dai lavoratori, ai datori di lavoro, a chi si occupa della gestione e sicurezza sul lavoro, fino quindi ai medici competenti. Sono pertanto necessari approcci specifici e originali indirizzati al settore occupazionale, utilizzando indicatori che, per le loro caratteristiche, possano essere correttamente implementati in sistemi operativi di allerta finalizzati a fornire un primo screening (early screening) dei possibili rischi legati allo stress da caldo tenendo conto dei vari scenari espositivi a cui sono esposti i lavoratori.

È però fondamentale trovare un giusto compromesso tra le caratteristiche dei dati di input derivanti dal modello meteorologico che sarà utilizzato, con risoluzioni spaziali che attualmente possono variare da qualche chilometro a circa 10 km, e il dettaglio della informazione previsionale del rischio caldo calibrata per essere utile e rapidamente fruibile per i lavoratori. Inoltre, la maggior parte dei sistemi di allerta presenti a livello internazionale non presentano previsioni fino a 5 giorni del livello di rischio (ad eccezione della piattaforma Heat-Shield), fondamentali in ambito occupazionale per una migliore pianificazione delle attività, ma l'informazione è molto spesso riferita alla giornata in essere o al più alle 24 ore successive.

Probabilmente, l'approccio migliore da seguire è quello di utilizzare un indicatore empirico, quindi in grado di effettuare uno screening iniziale e che possa servire per i lavoratori e i vari stakeholder per adottare le prime precauzioni per contrastare gli effetti del caldo e valutare, da parte degli stakeholder, indagini più approfondite utilizzando strumenti più sofisticati mediante l'utilizzo di dati accurati disponibili a livello locale, quindi ad es. utilizzando una stazione meteo presente in loco sul luogo di lavoro (azienda agricola, cantiere edile, ecc.).

L'indicatore per effettuare correttamente il primo screening e soprattutto per fornire una informazione che sia il più possibile differenziabile per i vari ambienti e condizioni a cui i lavoratori sono concretamente esposti, deve considerare le variabili meteorologiche che sulla base della letteratura scientifica disponibile e le norme internazionali dedicate al settore occupazione sono responsabili per una corretta valutazione dello stress termico negli ambienti di lavoro (prevalentemente temperatura, umidità, radiazione solare e vento). L'indicatore utilizzato deve sicuramente riuscire a tener conto anche di alcuni aspetti che interferiscono sensibilmente con la valutazione dello stress da caldo, quindi il tasso metabolico (dipendente dalle caratteristiche fisiche del lavoratore e l'attività fisica effettuata) e magari della tipologia di vestiario indossato, che spesso in ambito lavorativo per lo svolgimento di specifiche attività prevede anche l'uso di DPI. Questo aspetto peraltro ha assunto ulteriore rilevanza in seguito alla diffusione della pandemia da COVID-19 ed in seguito alla quale si è reso necessario l'ulteriore impiego di specifici DPI per il contenimento del virus e che espongono i lavoratori ad un rischio aggiuntivo di stress da caldo.

È anche vero che l'informazione, soprattutto quella indirizzata al lavoratore, deve essere estremamente semplificata, in quanto, in caso contrario diventa difficilmente fruibile perché il lavoratore non presenta gli strumenti necessari alla comprensione di informazioni complesse ed articolate che solo il personale addetto alla tutela della salute nel settore occupazionale è in grado di gestire, elaborare e comunicare ai diretti interessati in maniera semplice e diretta. L'informazione può quindi essere maggiormente dettagliata per il personale esperto, fornendo anche strumenti più sofisticati di analisi utili per effettuare valutazioni aggiuntive necessarie per preservare la salute dei lavoratori e la loro produttività.

Il WBGT e il PHS sono al momento gli unici sistemi elaborati a livello internazionale per una valutazione oggettiva dello stress termico da caldo riferita a gruppi di lavoratori, che infatti rappresentano le due

metodiche più adatte per eseguire una descrizione quantitativa dell'ambiente termico e quindi per una valutazione del rischio microclima dovuto a stress termico da caldo (Merlino et al., 2020).

Le caratteristiche dell'indicatore WBGT, come chiaramente descritto anche in questo rapporto, lo rendono il candidato più adatto per eseguire uno screening iniziale di valutazione oggettiva dello stress termico, mantenendo il giusto compromesso tra affidabilità di informazione fornita e la giusta considerazione della complessità e varietà degli ambienti lavorativi, da implementare quindi in un sistema personalizzato di allerta da caldo specifico per il settore occupazionale. È comunque necessario che nel caso degli stakeholder ci sia anche la possibilità di avere informazioni aggiuntive, e quindi anche la possibilità di effettuare simulazioni con metodi più sofisticati come ad es. il PHS, utili quindi per fare valutazioni più accurate grazie alla risoluzione di un'equazione di bilancio termico e quindi in grado di fornire indicazioni più accurate di intervento.

Un sistema di allerta da caldo per i lavoratori ideale dovrebbe essere anche supportato dalla disponibilità di dati raccolti in loco ed utilizzabili per correggere le previsioni fornite da modello meteorologico, permettendo quindi una maggiore affidabilità dell'informazione e rendendo disponibile anche simulazioni delle condizioni reali con l'indicatore PHS.

## 5. Bibliografia

Australian Institute of Occupational Hygienists (AIOH) 2013. *A guide to managing heat stress: developed for use in the Australian environment.*

Bacci L., Morabito M., 2002. *Gli indici biometeorologici nella valutazione dello stato di benessere dell'uomo, Collana tecnico scientifica Ibimet, Quaderno n. 11.*

Bates. G., Miller V., 2002. *Empirical validation of a new heat stress index. Journal of Occupational Health safety, Aust NZ, 10, 145-153.*

Bernard T.E., Pourmoghani M., 1999. *Prediction of workplace wet bulb global temperature. Appl Occup Environ Hyg 14, 126–34.*

Binazzi A., Levi, M., Bonafede M., Bugani M., Messeri A., Morabito M., Marinaccio A., Baldasseroni A., 2019. *Evaluation of the impact of heat stress on the occurrence of occupational injuries: meta-analysis of observational studies. Am. J. Ind. Med., 62(3), 233-243.*

Bonafede M., Marinaccio A., Asta F., Schifano P., Michelozzi P., Vecchi S., 2016 *The association between extreme weather conditions and work-related injuries and diseases. A systematic review of epidemiological studies. Ann Ist Super Sanita, 52(3):357-367. doi: [https://doi.org/10.4415/ANN\\_16\\_03\\_07](https://doi.org/10.4415/ANN_16_03_07).*

Brake R., Donoghue M., Bates G., 1998. *A new generation of health and safety protocols for working in heat. Queensland Mining Industry Occupational Health and Safety Conference, Yeppon, Queensland, Australia, Brisbane.*

Brake D.J., Bates G.P., 2002a. *Deep body core temperatures in industrial workers under thermal stress. Journal of Occupational and Environmental Medicine 44, 125-135.*

Brake D.J., Bates G.P., 2002b. *Limiting metabolic rate (thermal work limit) as an index of thermal stress. Applied Occupational and Environmental Medicine 17(44), 125-135.*

Bröde P., Krüger E.L., Rossi F.A., Fiala D., 2012a. *Predicting urban outdoor thermal comfort by the Universal Thermal Climate Index UTCI--a case study in Southern Brazil. Int J Biometeorol., 56(3):471-80.*

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>.*

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>.*

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>.*

BS 7963:2000 *Guide to the assessment of heat strain in workers wearing personal protective equipment.*

Casanueva A., Burgstall A., Kotlarsky S., Messeri A., Morabito M., Flouris A.D., Nybo L., Spirig C., Schierz C., 2019. *Overview of existing Heat-Health Warning Systems in Europe. Special Issue Int J Environ Res Public Health, 16(15). pii: E2657. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph16152657>.*

Danielle D., & Balanay J.A.G 2020. *Comparison between OSHA-NIOSH Heat Safety Tool app and WBGT monitor to assess heat stress risk in agriculture, Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 17:4,*

181-192, DOI: 10.1080/15459624.2020.1721512 Australian Institute of Occupational Hygienists (AIOH) 2013. *A Guide to Managing Heat Stress: Developed for Use in the Australian Environment*. 111pp.

dBA 2018. *I Rischi fisici nei luoghi di lavoro. Atti del convegno a cura di Goldoni S, Nataletti P, Della Vecchia N*. Bologna 17 ottobre 2018.

de Freitas C.R., Grigorieva E.A., 2015. A comprehensive catalogue and classification of human thermal climate indices. *Int J Biometeorol* 59, 109–120. doi: <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0819-3>.

Farshad A., Montazer S., Monazzam M.R., Eyvazlou M., Mirkazemi R., 2014. Heat Stress Level among Construction Workers. *Iranian Journal of Public Health* 43(4), 492-498.

Fatima S.H., Rothmore P., Giles LC., Varghese B.M., Peng B.i., 2021. Extreme heat and occupational injuries in different climate zones: A systematic review and meta-analysis of epidemiological evidence. *Environ Int*, 148:106384. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106384>.

Fiala D., Lomas K.J., Stohrer M., 1999. A computer model of human thermoregulation for a wide range of environmental conditions: the passive system. *J Appl Physiol* 87:1957–1972.

Fiala D., Lomas K.J., Stohrer M., 2001. Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions. *Int J Biometeorol* 45:143–159.

Fiala D., Lomas K.J., Stohrer M., 2003. First principles modelling of thermal sensation responses in steady state and transient boundary conditions. *ASHRAE Trans* 109(1):179–186.

Fiala D., Havenith G., Bröde P. Kampmann B., Jendritzky G. 2012. UTCI-Fiala multi-node model of human heat transfer and temperature regulation. *Int J Biometeorol* 56, 429–441 (2012). <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0424-7>.

Havenith G., Fiala D., Błazejczyk K., Richards M., Bröde P., Holmér I., Rintamaki H., Benshabat Y., Jendritzky G., 2012. The UTCI-clothing model. *Int J Biometeorol*, 56(3):461-70.

Huizenga C., Zhang H., Arens E., 2001. A model of human physiology and comfort for assessing complex thermal environments. *Build Environ* 36:691–699.

Jendritzky G., de Dear R., and Havenith G., 2012. UTCI—Why another thermal index? *International Journal of Biometeorology*, vol. 56, no. 3, pp. 421–428, 2012.

Knittel N., Jury M.W., Bednar-Friedl B., Bachner G., Steiner A.K. 2020. A global analysis of heat-related labour productivity losses under climate change—implications for Germany’s foreign trade. *Climate Change* 202, 160, 251-269. 020) 160:251–269, <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02661-1>.

Krishnamurthy M., Ramalingam P., Perumal K., Kamalakannan L.P., Chinnadurai J., Shanmugam R., Srinivasan K., Venugopal V., 2017. Occupational Impacts on Health and Productivity in a Steel Industry in Southern India. *Saf Health Work* 8(1):99-104. doi: <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2016.08.005>.

Lemke B., Kjellstrom T., 2012. Calculating workplace WBGT from meteorological data: a tool for climate change assessment. *Ind Health*. 50(4):267-78. doi: <https://doi.org/10.2486/indhealth.ms1352>.

Liljegren J.C., Carhart R., Lawday P., Tschopp S., Sharp R., 2008. Modeling wet bulb globe temperature using standard meteorological measurements. *J Occup Environ Hyg* 5, 645–55.

Lundgren K., Kuklane K., Venugopal V., 2014. Occupational heat stress and associated productivity loss estimation using the PHS model (ISO 7933): a case study from workplaces in Chennai, India *Glob Health Action*, 7: 25283 - <http://dx.doi.org/10.3402/gha.v7.25283>.

- Malchaire J., Kampmann B., Havenith G., Mehnert P., Gebhardt H.J., 2000. Criteria for estimating acceptable exposure times in hot working environments: a review. *Int Arch Occup Environ Health* (2000) 73: 215-220.
- Malchaire J., Piette A., Kampmann B., Mehnert H., Gebhardt H., Havenith G., Den Hartog E., Holmer I., Parsons K., Alfano G., Griefahn B., 2001. Development and Validation of the Predicted Heat Strain Model. *Ann. occup. Hyg.*, Vol. 45, No. 2, pp. 123-135.
- Malchaire J.B.M., 2006. Occupational heat stress assessment by the Predicted Heat Strain model. *Ind Health*, 44: 380-7.
- Marinaccio A., Scortichini M., Gariazzo C., Leva A., Bonafede M., de' Donato F.K., Stafoggia M., Viegi 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>.
- Masterson J.M., Richardson F.A., 1979. Humidex, a method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity. CLI, Environment Canada, Atmospheric Environment Service, Downsview, Ontario n. 45, 1-79 pp.
- Michelozzi P., de' Donato F.K., Bargagli A.M., D'Ippoliti D., De Sario M., Marino C., Schifano P., Cappai G., Leone M., Kirchmayer U., Ventura M., di Gennaro M., Leonardi M., Oleari F., De Martino A., Perucci C.A. Surveillance of summer mortality and preparedness to reduce the health impact of heat waves in Italy. *Int J Environ Res Public Health*. 2010 May;7(5):2256-73. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph7052256>.
- Merlino A., Gambino G., Meda D., Quadrio G., Pasqualini N., D'Aloia P., Pellicciotta G., Zani P., 2020. Il rischio da stress termico per gli operatori sanitari impegnati in attività anti-COVID all'aperto Atti dBA 2020 Dicembre 2020.
- Miller V.S., Bates G.P., 2007. Hydration of outdoor workers in north-west Australia. *Journal of Occupational Health and Safety N.Z* 23, 79-88.
- Minard D., Belding H.S., Kingston J.R., 1957. Prevention of heat casualties. *JAMA*, 165, 1813-1818.
- Morabito M., Profili F., Crisci A., Francesconi P., Gensini G.F., Orlandini S., 2012. Heat-related mortality in the Florentine area (Italy) before and after the exceptional 2003 heat wave in Europe: an improved public health response? *International Journal of Biometeorology*, n. 56 (5): 801-810 pp.
- Morabito M., Crisci A., Messeri A., Messeri G., Betti G., Raschi A., Maracchi G., 2017. Increasing heatwave hazards in the southeastern European Union capitals. *Atmosphere* v.8. issue 7.
- Morabito M., Messeri A., Noti P., Casanueva A., Crisci A., Kotlarski S., Orlandini S., Schwierz C., Spirig C., Kingma B.R.M., Flouris A.D., Nybo L., 2019. An Occupational Heat-Health Warning System for Europe: The HEAT-SHIELD Platform. *Int J Environ Res Public Health*. 2019 Aug 13;16(16). pii: E2890. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph16162890>.
- Morabito M., Messeri A., Crisci A., Pratali L., Bonafede M., Marinaccio A., on behalf of the WORKLIMATE Collaborative Group, 2020a. Heat warning and public and workers' health at the time of COVID-19 pandemic. *Science of the Total Environment*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140347>.
- Morabito M., Messeri A., Crisci A., Bao J., Ma R., Orlandini S., Huang C. and Kjellstrom T. 2020b. Heat-related productivity loss: benefits derived by working in the shade or work-time shifting. *International Journal of Productivity and Performance Management*, Vol. 70 No. 3, pp. 507-525. doi: <https://doi.org/10.1108/IJPPM-10-2019-0500>.

Nassiri P., Monazzam M.R., Golbabaee F., Dehghan S.F., Rafieepour A., Mortezaipoor 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>.

NIOSH. NIOSH Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Heat and Hot Environments; Jacklitsch, B., Williams, W.J., Musolin, K., Coca, A., Kim, J.-H., Turner, N., Eds.; DHHS (NIOSH) Publication 2016-106; U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health: Cincinnati, OH, USA, 2016. Available online: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2016-106/pdfs/2016-106.pdf?id=10.26616/NIOSH-PUB2016106> (accessed on 28 June 2019).

NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2019, published online January 2020, retrieved on March 1, 2021 from <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201913>.

Occupational Safety and Health Administration (OSHA) 2019. *Using the heat index: A guide for employers*.

Rothfus L.P., 1990. The heat index equation. NWS Southern Region Technical Attachment, SR/SSD 90-23, Fort Worth, Texas.

Steadman R.G., 1979a. The assessment of Sultriness, Part I: A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science. *Journal of Applied Meteorology* n. 18, 861-73 pp.

Steadman R.G., 1979b. Part II. Effects of wind, Extra Radiation and Barometric pressure on Apparent temperature. "Journal of Applied Meteorology" n. 18, 874- 85 pp.

Steadman R.G., 1984. A universal scale of apparent temperature. *Journal of Applied Meteorology* n. 23, 1674 pp.

Steadman R.G., 1994. Norms of apparent temperature in Australia. *Australian Meteorological Magazine* n. 43, 1-16 pp.

Stolwijk J.A.J., 1971. A mathematical model of physiological temperature regulation in man. NASA contractor report, NASA CR 1855, Washington DC.

Takakura J., Fujimori S., Takahashi K., Hijioka Y., Hasegawa T., Honda Y., Masui T., 2017. Cost of preventing workplace heat-related illness through worker breaks and the benefit of climate-change mitigation, *Environmental Research Letter*, Vol. 12 No. 6, 064010.

Tanabe S., Kobayashi K., Nakano J., Ozeki Y., Konishi M., 2002. Evaluation of thermal comfort using combined multi-node thermoregulation (65MN) and radiation models and computational fluid dynamics (CFD). *Energ Buildings* 34:637-646.

Taylor S.S., 2006. Challenges to Temperature Regulation When Working in Hot Environments. *Industrial Health* 44, 331-34.

UNI EN ISO 7243. Ergonomics of the Thermal Environment—Assessment of Heat Stress Using the WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) Index, 3rd ed.; ISO/TC 159/SC 5 Ergonomics of the Physical Environment; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2017.

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.

UNI EN ISO 8996. *Ergonomics of the Thermal Environment—Determination of Metabolic Rate*, 2nd ed.; ISO/TC 159/SC 5 Ergonomics of the Physical Environment; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2004.

Vanos J., Vecellio D.J. and Kjellstrom T., 2019). “Workplace heat exposure, health protection, and economic impacts: a case study in Canada”, *American Journal of Industrial Medicine*, doi: 10.1002/ajim.22966.

Vatani J., Golbabaei 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.

Washington (DC): U.S. Department of Labor, OSHA; [accessed 2019 Oct 16]. [https://www.osha.gov/SLTC/heatillness/heat\\_index/pdfs/all\\_in\\_one.pdf](https://www.osha.gov/SLTC/heatillness/heat_index/pdfs/all_in_one.pdf).

Weinbaum S., Jiji L.M., Lemons D.E., 1984. *Theory and experiment for the effect of vascular microstructure on surface tissue heat transfer - part I: anatomical foundation and model conceptualization*. *ASME J Biomech Eng* 106:321–330.

Wissler E.H., 1985. *Mathematical simulation of human thermal behavior using whole body models*. In: Shitzer A, Eberhart RC (eds) *Heat transfer in medicine and biology – analysis and applications*. Plenum, New York, pp 325–373.

World Meteorological Organization. Available at: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/2020-track-be-one-of-three-warmest-years-record>- Accessed January 18, 2021.

Zhao Y., Sultan B., Vautard R., Braconnot P., Wang H.J., Ducharne A. *Potential escalation of heat-related working costs with climate and socioeconomic changes in China*. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2016 Apr 26;113(17):4640-5. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1521828113>.