

Rischio microclima da caldo in condizioni di non applicabilità dei metodi WBGT e PHS

relatore:

Dr. Alessandro Merlino

copyright

Tutti i contenuti di questo corso sono tutelati da copyright, ovvero ne è vietata la riproduzione, anche parziale

inquadramento del problema

Valutazione dello stress termico dei **lavoratori che indossano abbigliamento protettivo ad alto isolamento (termico e/o al vapore)**

fisrt responders: forze dell'ordine e militari, vigili del fuoco, sanitari, ...

addetti ai forni delle **acciaierie** e delle **vetrerie**
saldatori

lavorazioni senza ricambi d'aria (**ambienti confinati**)



non applicabilità 7243 (WBGT) e 7933 (PHS)

In entrambi i casi si assume che l'abbigliamento sia tale da **garantire l'efficacia di tutti i meccanismi di scambio termico** tra uomo e ambiente.

Sono **studiati per i lavoratori** che svolgono compiti al caldo, ma **che non devono utilizzare abbigliamento protettivo**.

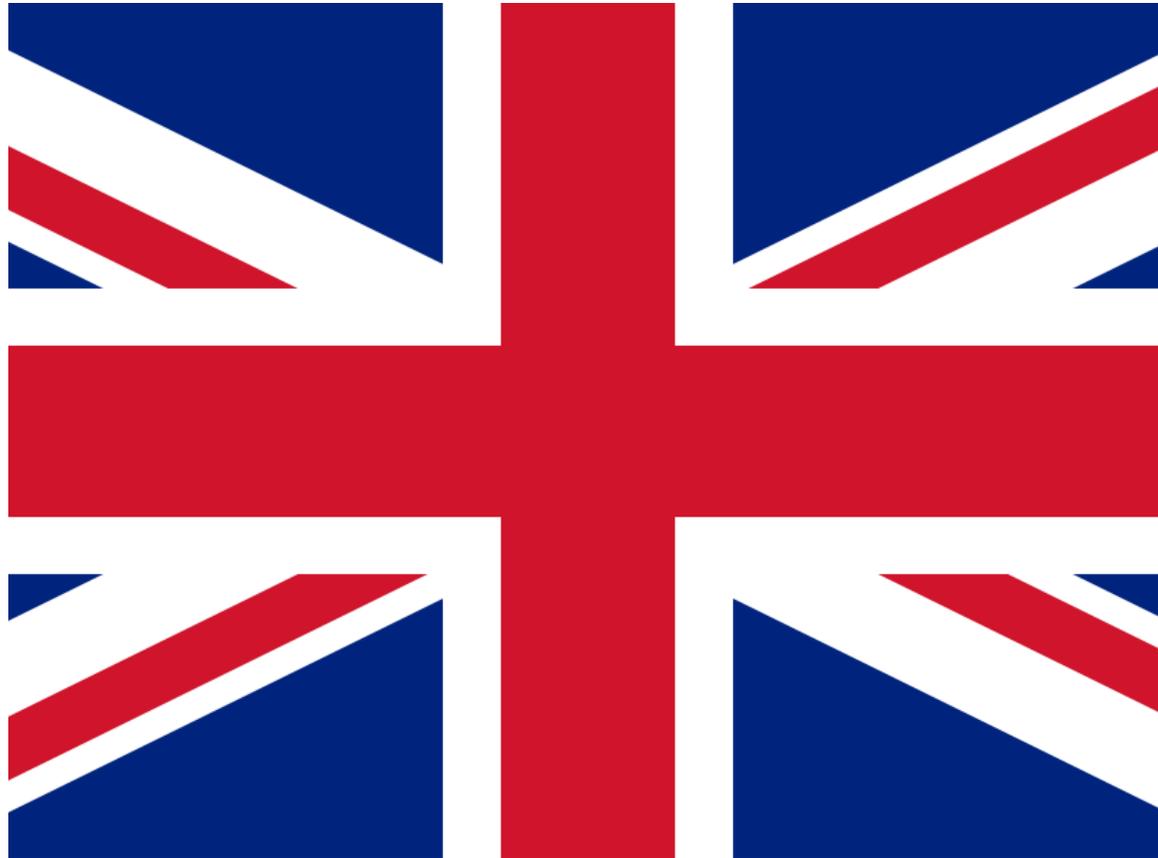
WBGT si è dotato di un escamotage con la revisione 2017 (vedi CAVs), ma **rimane un metodo con solo valore di screening** e non può essere utilizzato nei casi ad alto livello di rischio.

PHS ha valore di approfondimento ma **l'intervallo di applicabilità** ne limita l'impiego ai casi in cui l'isolamento termico **dell'abbigliamento non supera 1 clo** e la **permeabilità al vapore** è intesa fissata a **0.38**.

effetti dell'abbigliamento protettivo sullo stress termico

L'abbigliamento protettivo ha i seguenti effetti:

- a causa della diminuita permeabilità al vapore, **inibisce l'evaporazione dalla pelle**, che è il meccanismo di maggior efficacia per la dispersione di calore
- provoca l'aumento della temperatura della pelle e **inibisce così la capacità di trasferire calore dal nucleo verso la pelle** (che dipende da Δt tra nucleo e pelle)
- provoca l'**aumento del tasso metabolico**
- inibisce anche la dispersione di calore dalla pelle per **convezione, conduzione e irraggiamento**



Soluzione n. 1

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

BS 7963:2000

L'unico standard che affronta il caso di lavoratori esposti ad alti carichi termici e che devono indossare abbigliamento speciali a protezione di altri tipi di rischio (ad esempio polveri, agenti chimici, agenti microbiologici, taglio e lo stesso irraggiamento di calore) è quello emesso nello Regno Unito, denominato BS 7963:2000 dal titolo “Guide to the assessment of heat strain in **workers wearing personal protective equipment**”.

BS 7963:2000

Questo standard non definisce un nuovo indice di esposizione, ma propone di **correggere le procedure definite dai metodi esistenti** (WBGT e PHS) per ottenere una possibile valutazione degli effetti dello stress termico da caldo anche per i lavoratori che devono indossare abbigliamento protettivi o altri DPI che possono incidere sull'ambiente termico personale.

BS 7963:2000

La norma pubblica anche dei casi di studio e mostra che, considerando correttamente gli effetti dell'abbigliamento protettivo, si possono creare **condizioni termicamente stressanti per l'organismo anche a temperature non sospette.**

Si fa l'esempio di un addetto alla pulizia della stiva di una nave, al lavoro con **tuta incapsulante** e respiratore, con temperatura ambiente e temperatura di globotermometro pari a **18 °C**: il superamento del limite sulla temperatura interna avviene in circa **venti minuti!**

Nessun superamento sarebbe invece previsto con la semplice procedura PHS.

esempio 2

pulizia stiva nave, settore chimico



<https://www.wilhelmsen.com/marine-products/cleaning-solutions/>

esempio 2

pulizia stiva nave, settore chimico

attività alternate:

1. 40 min di sforzo moderato, con abbigliamento protettivo e respiratore in ambiente moderato
2. 440 min di sforzo basso, senza abbigliamento protettivo, in ambiente moderato.

parametro	attività 1	attività 2
M (W/m ²)	165	115
I _{cl} (clo)	2.00	0.80
t _a (°C)	18	20
t _g (°C)	18	20

esame con procedura PHS

PHS senza correzioni BS 7963

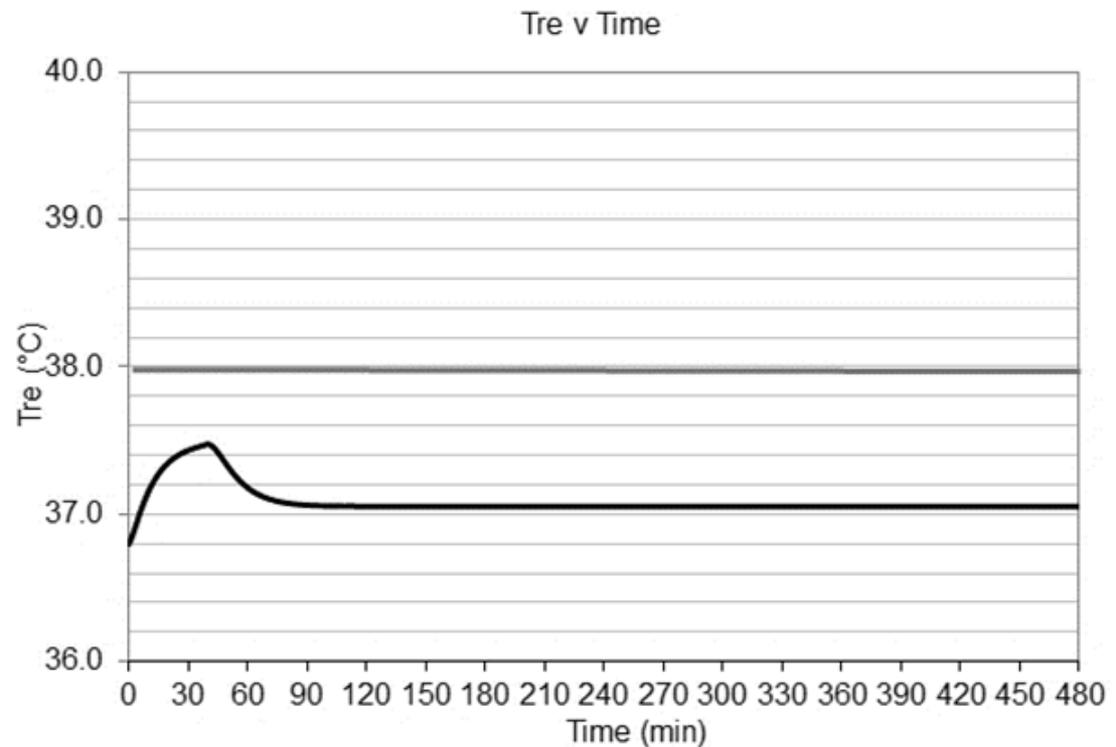
Risultati

$T_{re, \text{picco}}$ 37.5 °C

$T_{re, \text{finale}}$ 37.1 °C

t limite

--



PHS con correzioni BS 7963

Parametri modificati secondo BS 7963

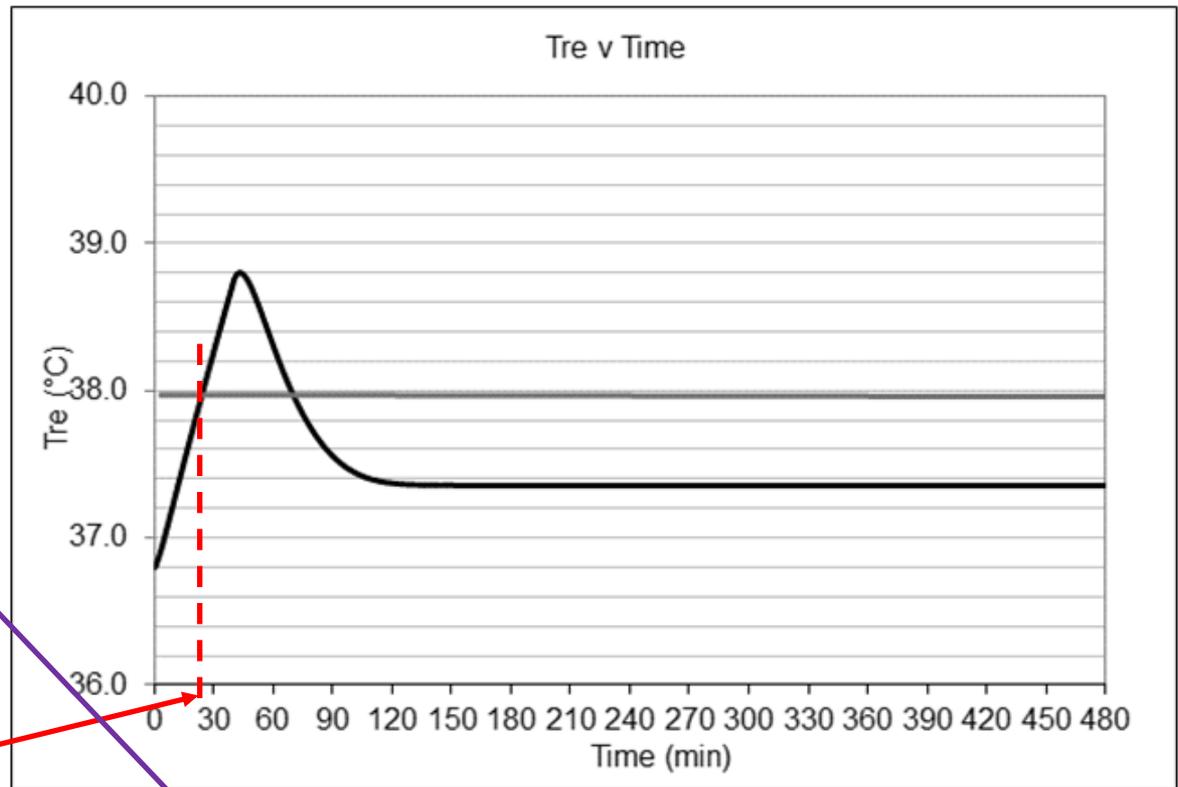
$I_{cl} + 20\% = 2.4 \text{ clo}$
 $Met = 275 \text{ W/m}^2$
 (165 W/m² + 110 W/m²)
 RH = 100%

Risultati

$T_{re, \text{ picco}} = 38.8 \text{ }^\circ\text{C}$

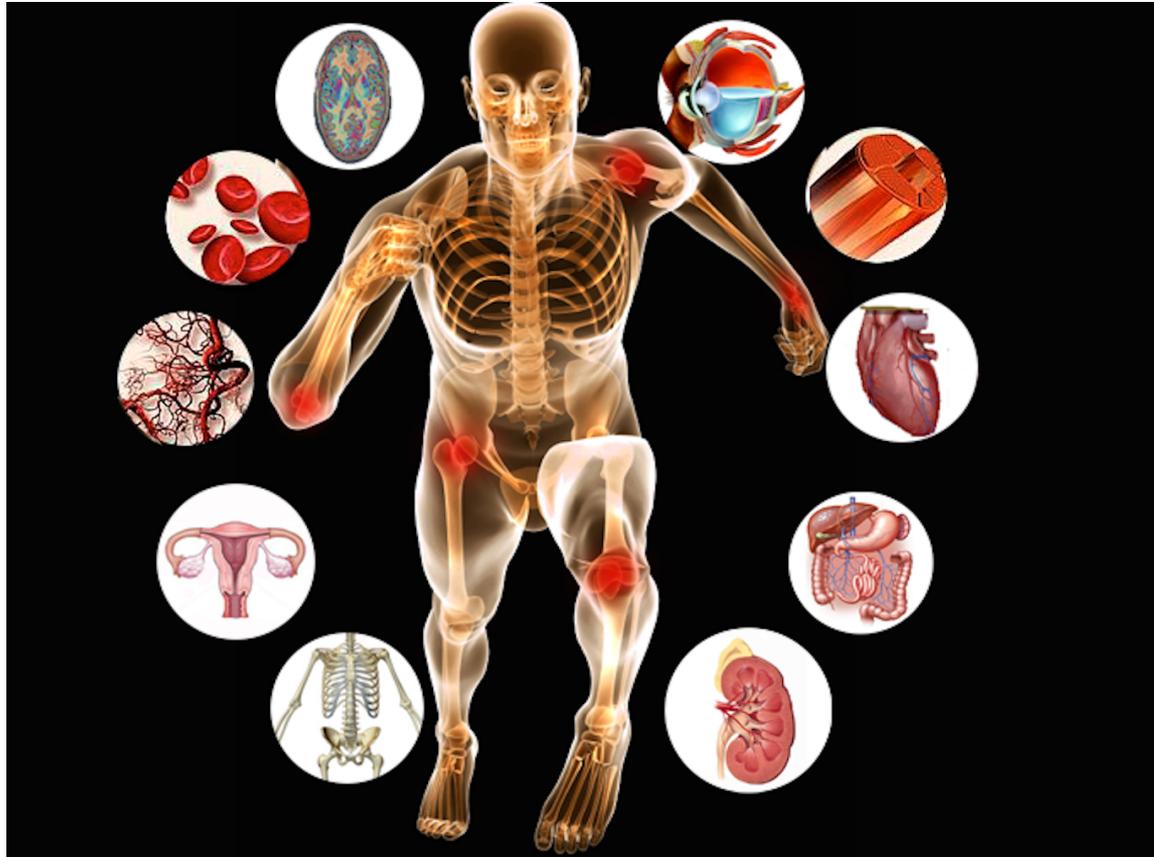
$T_{re, \text{ finale}} = 37.4 \text{ }^\circ\text{C}$

t limite **25 min**



Increase in metabolic rate due to wearing PPE
 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$

PPE item	Increase in metabolic rate due to wearing PPE $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$				
	Resting	Low metabolic rate	Moderate metabolic rate	High metabolic rate	Very high metabolic rate
Self-contained breathing apparatus	10	30	60	95	125
Chemical protective water vapour impermeable ensemble [e.g. polyvinyl chloride (PVC)] with hood, gloves and boots	10	25	50	80	100



Soluzione n. 2

UNI EN ISO 9886:2004 *Ergonomia - Valutazione degli effetti termici (thermal strain) mediante misurazioni fisiologiche*

misurazioni fisiologiche

UNI EN ISO 9886:2004 “Ergonomia - Valutazione degli effetti termici (thermal strain) mediante misurazioni fisiologiche”

Tenuto conto del grado di invasività e delle difficoltà metrologiche di alcune di queste pratiche, si devono considerare utilizzabili solamente in un contesto di ricerca tranne quella della **misurazione della frequenza cardiaca**, sfruttabile anche sul campo

fattori incidenti sulla frequenza cardiaca HR

$$HR = HR_0 + \Delta HR_M + \Delta HR_S + \Delta HR_T + \Delta HR_N + \Delta HR_\epsilon$$

dove

HR_0 : frequenza cardiaca media del soggetto a riposo, seduto, in condizioni di neutralità termica

ΔHR_M : incremento connesso con il lavoro muscolare dinamico

ΔHR_S : incremento connesso con il lavoro muscolare statico

ΔHR_T : incremento dovuto allo stress termico cui è sottoposto il soggetto

ΔHR_N : incremento correlato con fattori psicologici

ΔHR_ϵ : incremento residuo correlato al ritmo della respirazione, ritmo circadiano,

Limite:

$$\Delta HR_{T,max} = 33 \text{ battiti/min}$$

ΔHR_T

ΔHR_T può essere determinato studiando la curva $HR(t)$, curva di rilassamento di HR in funzione del tempo tra il momento di massimo stress termico e quello di avvenuto recupero.

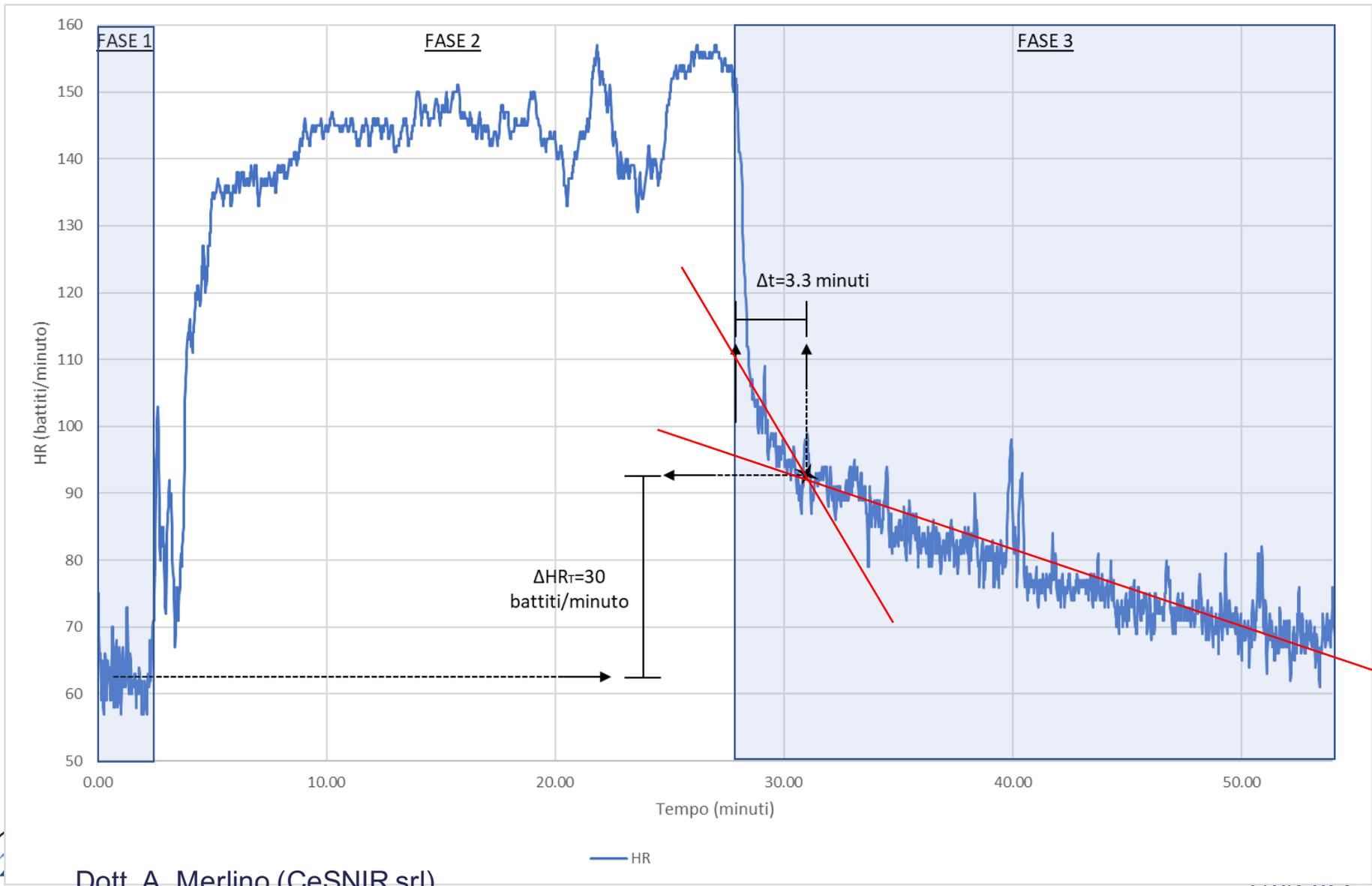
ΔHR_T rappresenta l'extrabattito ancora presente dopo il recupero degli sforzi muscolari, cosa che avviene dopo circa 3-4 minuti, istante nel quale la curva cambia pendenza.

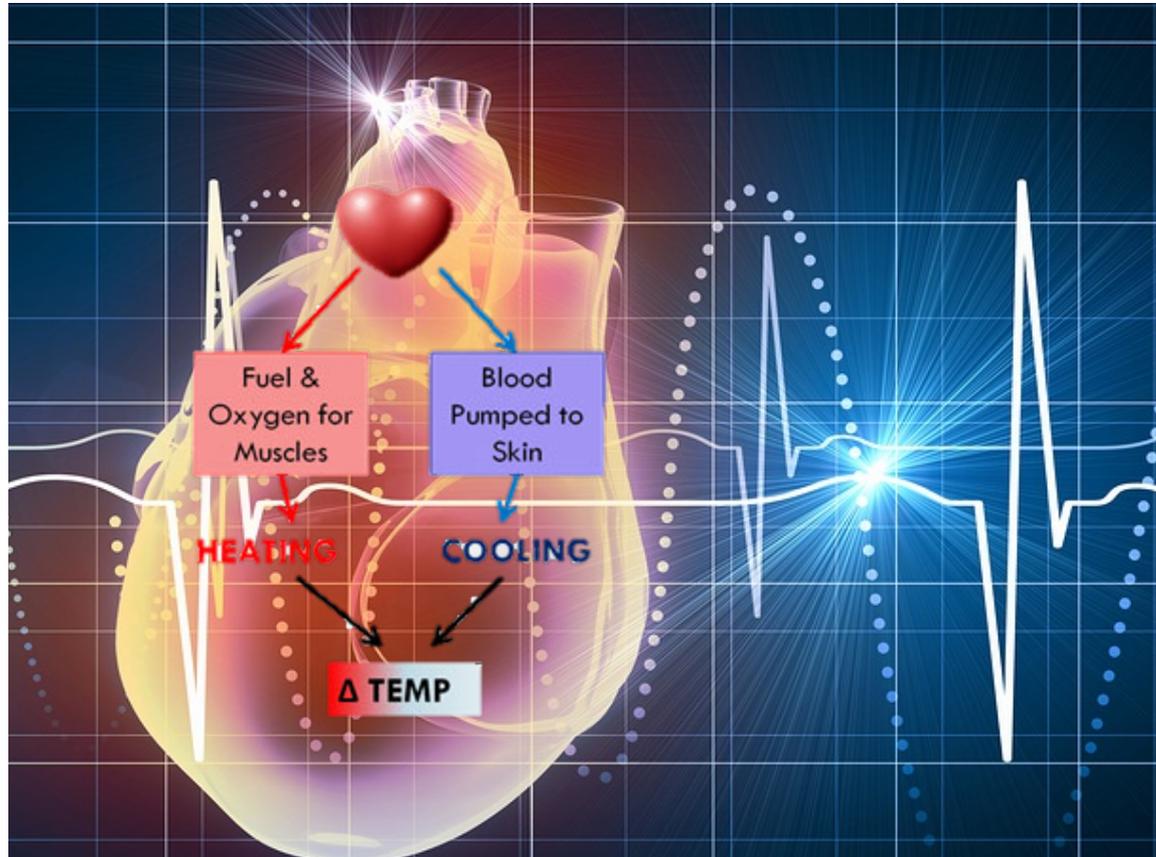
esempio

Condizione di lavoro con sforzi elevati in condizioni di alto carico termico ambientale ($t_a \cong 30 \text{ °C}$ + soleggiamento)

- fase 1 (3 min ca.):
 - soggetto a riposo, seduto, in condizioni di neutralità termica per poter determinare la HR_0
- fase 2 (24 min ca.):
 - intensa attività fisica con esposizione diretta al sole;
 - $t_a = 29.5 \text{ °C}$
 - vestiario: pantalone lungo e giacca protettiva coprente e non traspirante
 - HR media durante attività fisica: 145 battiti/minuto
- fase 3:
 - soggetto fermo, in condizioni di neutralità termica, per poter individuare le differenti componenti di incremento del battito cardiaco, rispetto alla frequenza a riposo.

esame dell'andamento di HR(t)





Soluzione n. 3

M. J Buller et al. (2013) *Estimation of human core temperature from sequential heart rate observations*, *Physiological Measurement*, 34, 781-798

T_{core} come funzione di HR

Metodo elaborato da Mark J. Buller e colleghi nel 2013, i quali hanno dimostrato che la frequenza cardiaca HR può essere letta come una funzione della temperatura del nucleo t_{cr} , distorta da rumore e filtrata con un filtro Kalman: una procedura di calcolo, resa nota dall'autore, consente di **ricavare la temperatura del nucleo T_c ($^{\circ}\text{C}$) a partire dai valori della frequenza cardiaca HR (bpm) e di restituire un risultato al minuto**, nota la T_c iniziale.

T_{core} come funzione di HR

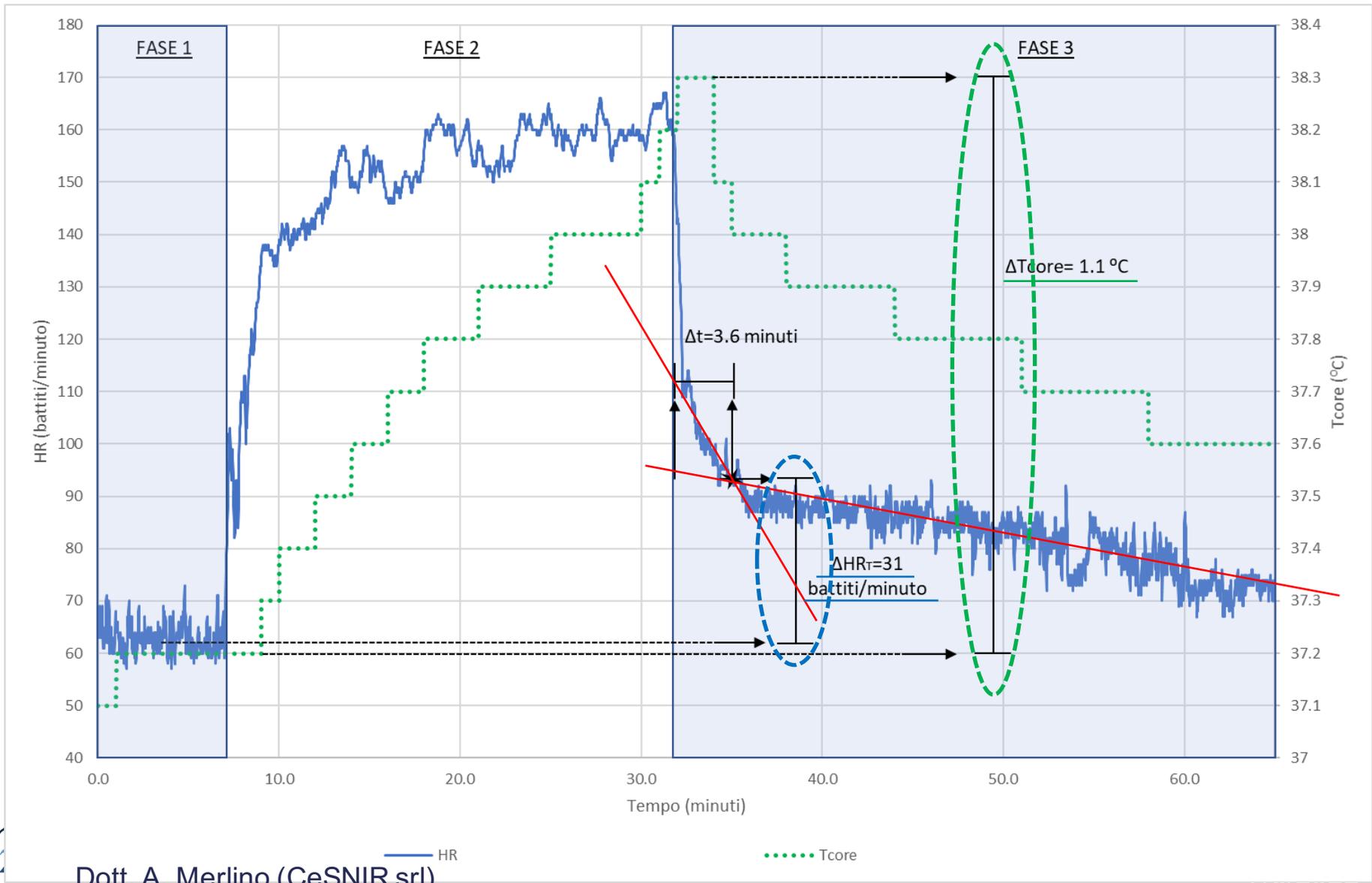
Il calcolo può essere eseguito anche online con il seguente tool:

https://www.usariem.army.mil/index.cfm/research/products/cbt_algorithm

Attenzione che per quanto la procedura paia di immediato uso è da considerare una metodologia da affidare a personale esperto in igiene industriale con specifiche competenze nelle valutazioni di stress termico

Possono essere infatti numerose le eccezioni da gestire (temperatura a inizio periodo, durata del monitoraggio, ...)

andamento di HR e t_{core} vs tempo



riepilogando ...

BS 7963

1. La norma inglese (**BS 7963**) dimostra quale **grave sottostima** si può compiere nel trascurare il reale abbigliamento del lavoratore quando differisce da quello più leggero preso in considerazione dai due metodi consolidati (WBGT e PHS). Propone di adottare degli accorgimenti nell'uso dei metodi consolidati che consentono di ottenere risultati affidabili anche per lavoratori che indossano abbigliamento protettivo.

La sua adozione è piuttosto difficoltosa, sia per le modificazioni che richiede al tool di calcolo sia per l'uso del tool modificato

UNI EN ISO 9886

2. Il metodo sullo standard **UNI EN ISO 9886**, consente di valutare lo stress termico soggetto per soggetto, nelle sue specifiche condizioni complessive.

Presenta però alcuni limiti:

- non correlazione tra $HR(t)$ e $T_{core}(t)$
- difficoltà a intercettare il cambio pendenza nel trend di rilassamento di HR, fondamentale per quantificare la grandezza di riferimento ΔHR_T
- si deve prevedere l'interruzione dal lavoro del soggetto esposto, per studiare l'andamento di $HR(t)$

l'alternativa "Buller"

3. L'alternativa ricavata dagli studi di Buller ha il grande vantaggio di restituire il profilo stimato della temperatura del nucleo per tutta la durata dell'esposizione (anche in tempo reale).

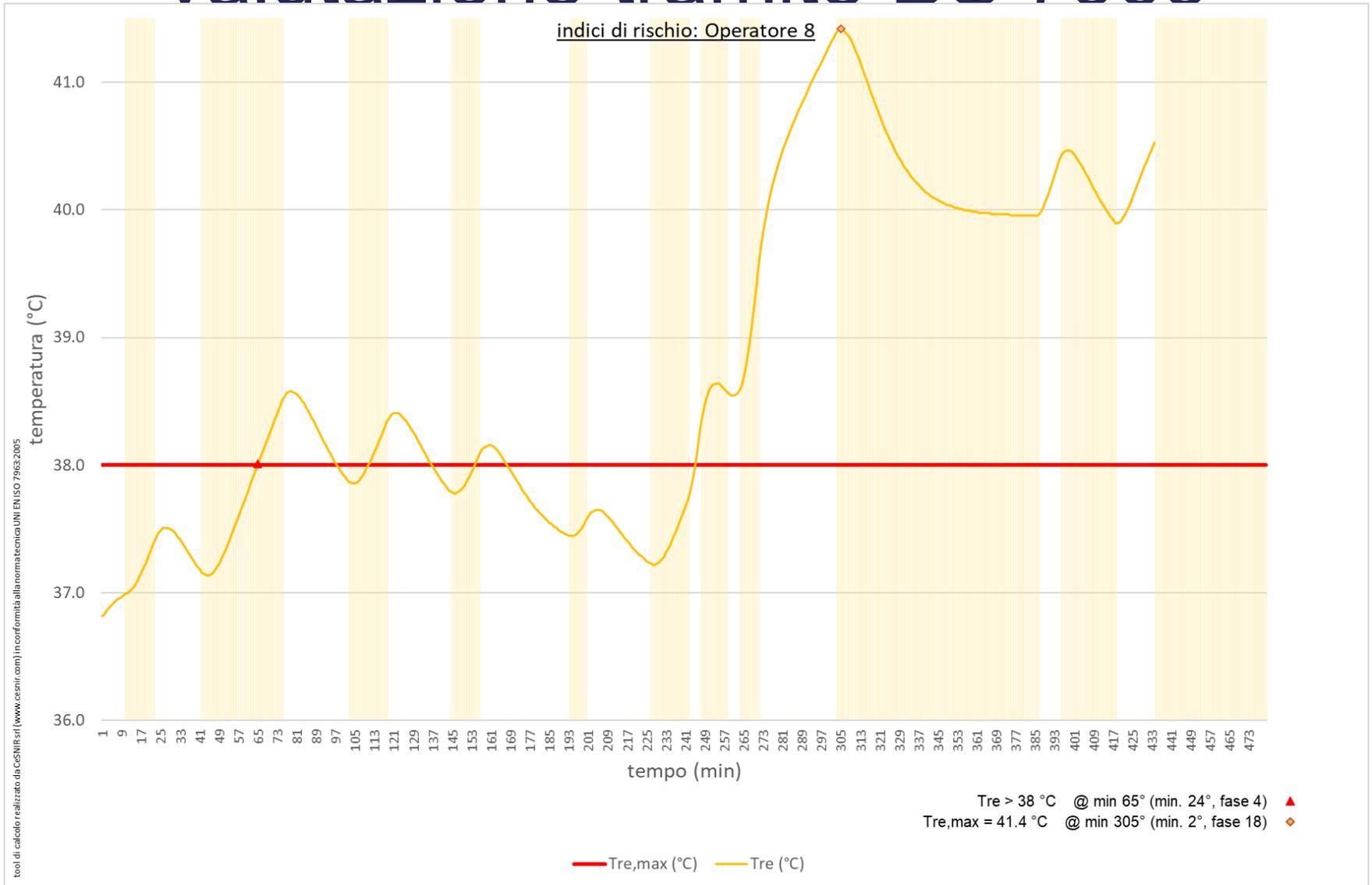
Nonostante sia una metodologia ai suoi albori, risulta **prezioso già oggi per esaminare i casi maggiormente critici.**

stress termico

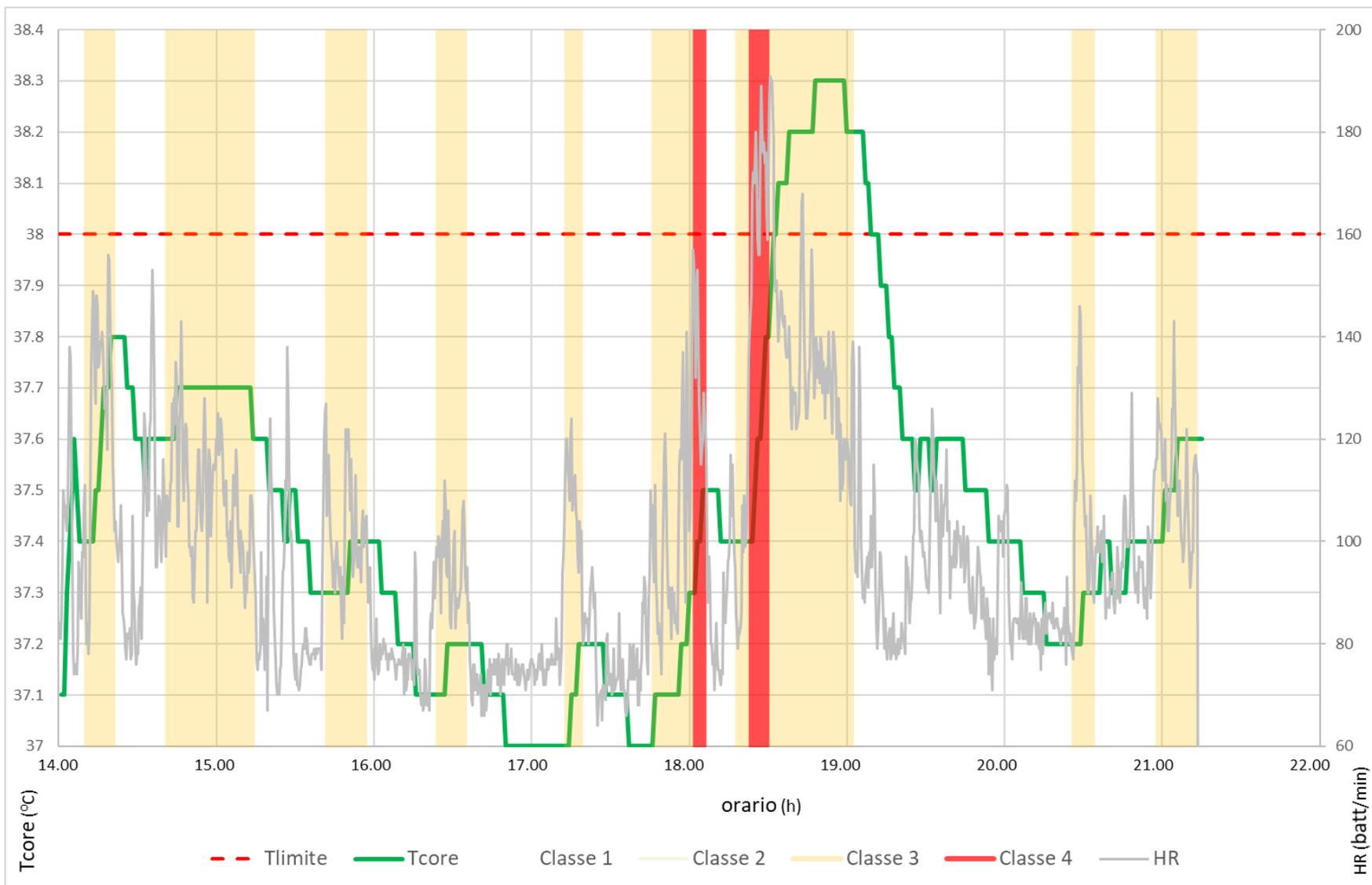
**caso di studio: ambiente produttivo
caldo (industria siderurgica)**

valutazione tramite BS 7963

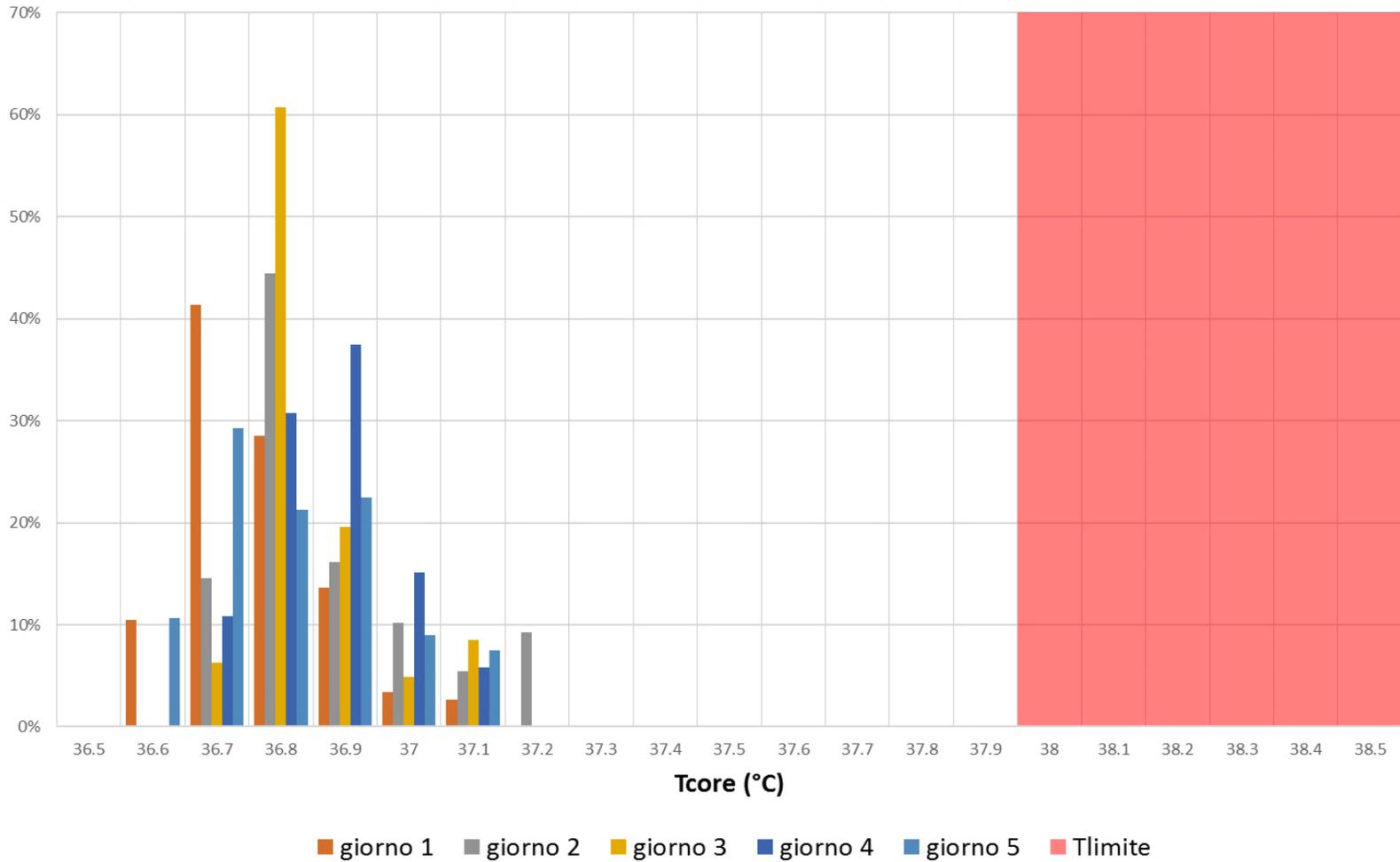
indici di rischio: Operatore 8



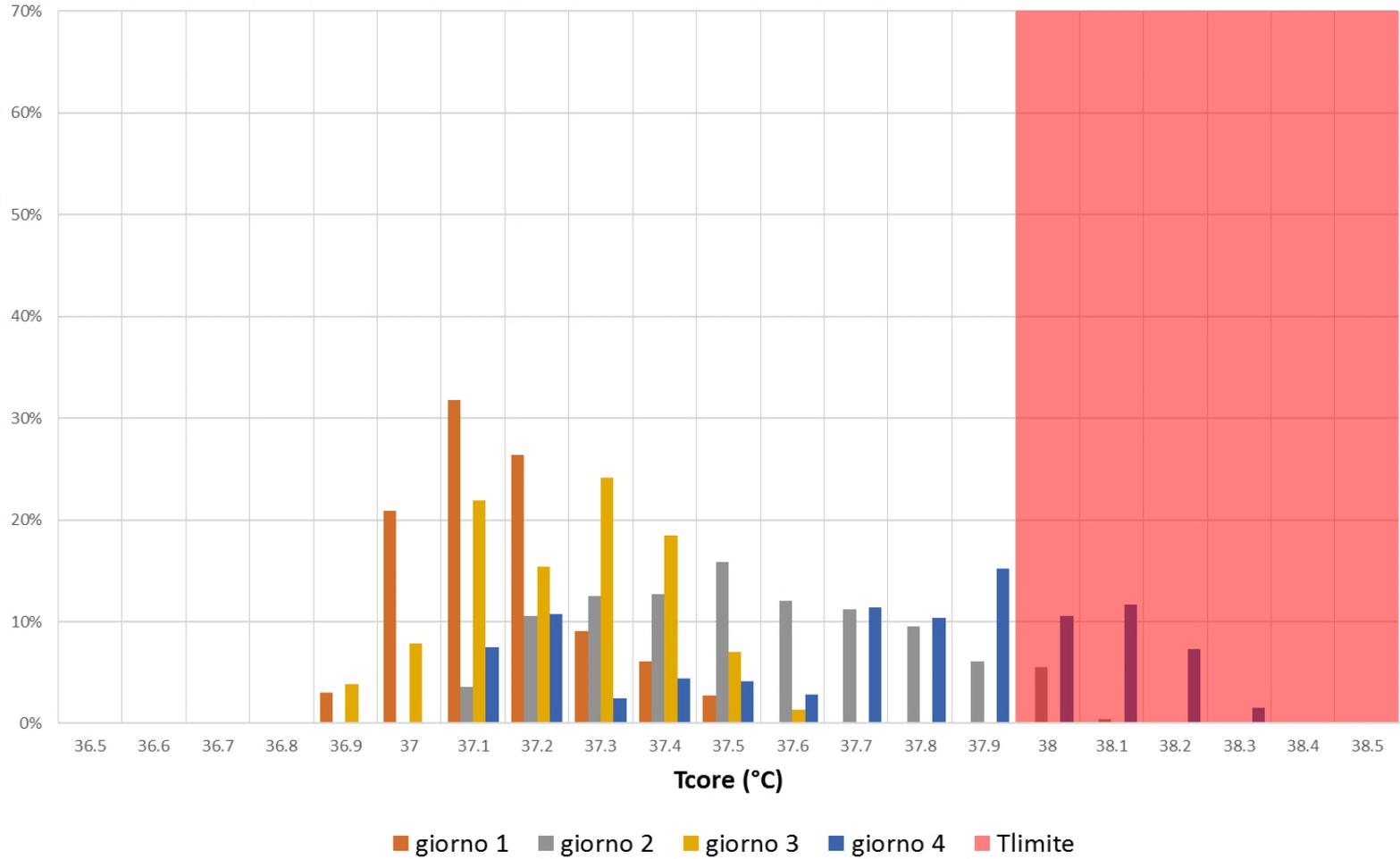
valutazione tramite monitoraggio HR



Operatore 4



Operatore 5



stress termico

**caso di studio: ambiente produttivo
caldo (sanità)**

IL RISCHIO DA STRESS TERMICO PER GLI OPERATORI SANITARI IMPEGNATI IN ATTIVITÀ ANTI-COVID ALL'APERTO

A. Merlino, G. Gambino, D. Meda, G. Quadrio
CeSNIR srl

N. Pasqualini, P. D'Aloia, G. Pellicciotta, P. Zani
IRCCS Ospedale San Raffaele



3 dicembre 2020



<https://www.cesnir.com/rischio-stress-termico-operatori-covid-outdoor/>



DPI adottati

Per l'esecuzione del tampone per la ricerca di SARS-CoV2, in accordo con le disposizioni normative, il personale indossa:

- facciale filtrante FFP2/FFP3
- tuta idrorepellente o in alternativa camice idrorepellente
- visiera o in alternativa occhiali di protezione
- guanti
- calzari

parametri fisici ambientali

Gli accertamenti sullo stress termico di lavoratori impegnati all'aperto devono confrontarsi con l'evoluzione del meteo ed è molto difficile ottenere delle misurazioni ben riferite all'ambiente di lavoro e ben rappresentative delle condizioni più critiche. In quest'ottica è meglio riferirsi a rilievi di lungo periodo, eventualmente storici, reperendo in rete i dati meteorologici.

Rimane tuttavia la necessità di valutare correttamente la temperatura media radiante, parametro che non può essere reperito tra i dati meteorologici.

Possibili tecniche di interpolazione (cfr. articolo CeSNIR del 3/12/2020) oppure assumere 75/80 °C per tutto il giorno come da indicazioni INAIL.

parametri fisici ambientali

temperatura media radiante (via semplificata)

[...] risulta importante la formalizzazione di procedure per lavori all'aperto, in quota (es.: in edilizia) o isolati (es.: in agricoltura). In questi casi, nei quali l'attività non determina attivamente il microclima presente, e le lavorazioni vengono eseguite anche in pieno sole durante la stagione estiva, è importante definire le condizioni limite per l'effettuazione delle attività più a rischio. Ciò può essere fatto utilizzando i dati termo-igrometrici della zona, associati a dati indicativi per la temperatura radiante $t_r = 75^\circ\text{C}$ per lavori agricoli, $t_r = 80^\circ\text{C}$ per lavorazioni edili (che possono essere svolte in vicinanza di materiali moderatamente riflettenti). L'indicazione che si fornisce è quella di evitare esposizioni di durata prossima al tempo massimo calcolato dal software PHS per quelle condizioni ambientali, e comunque escludere l'attività quando il tempo massimo risulta inferiore a 30 minuti

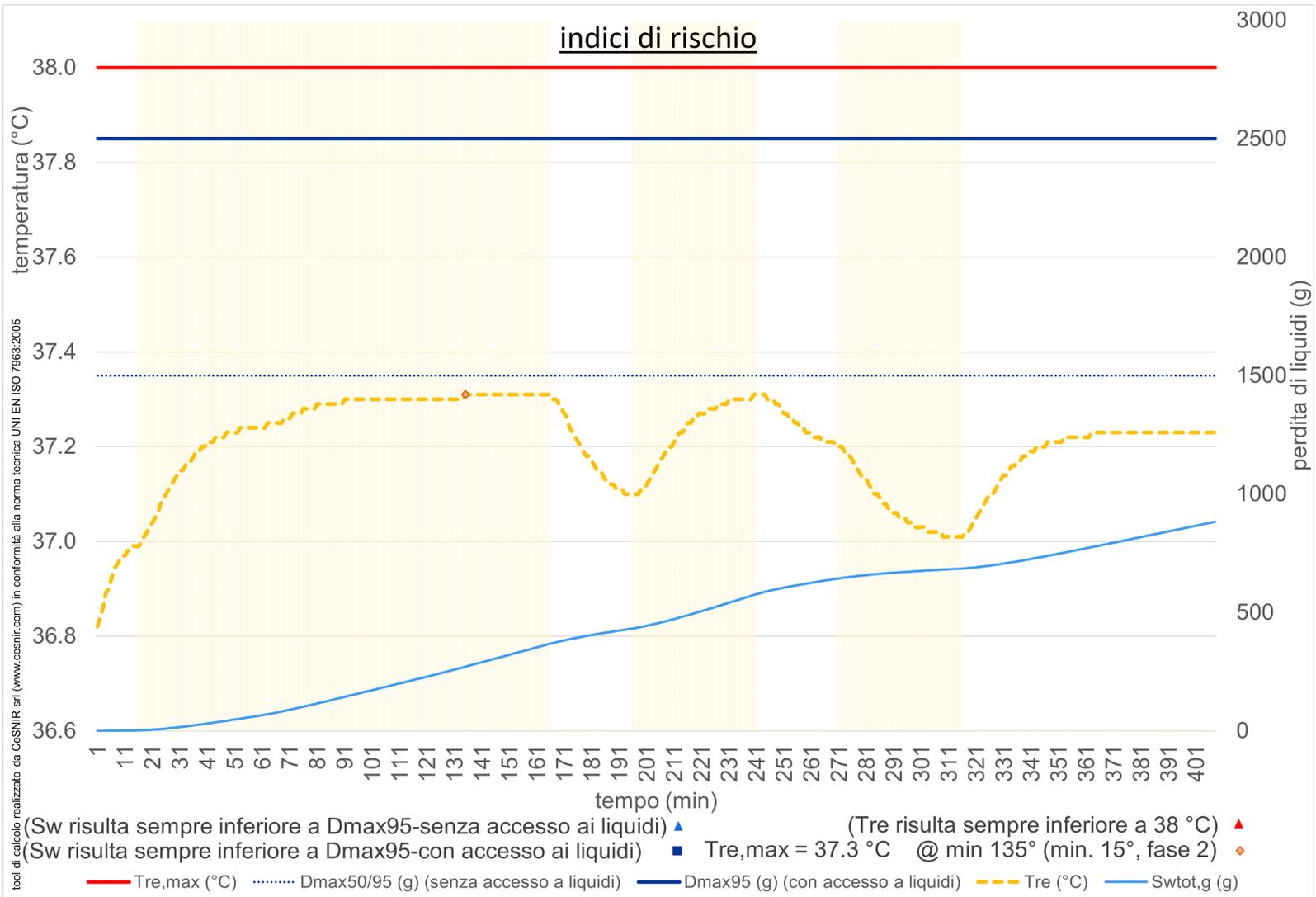
da: "La valutazione del microclima" (INAIL, 2018)

metodologia della valutazione

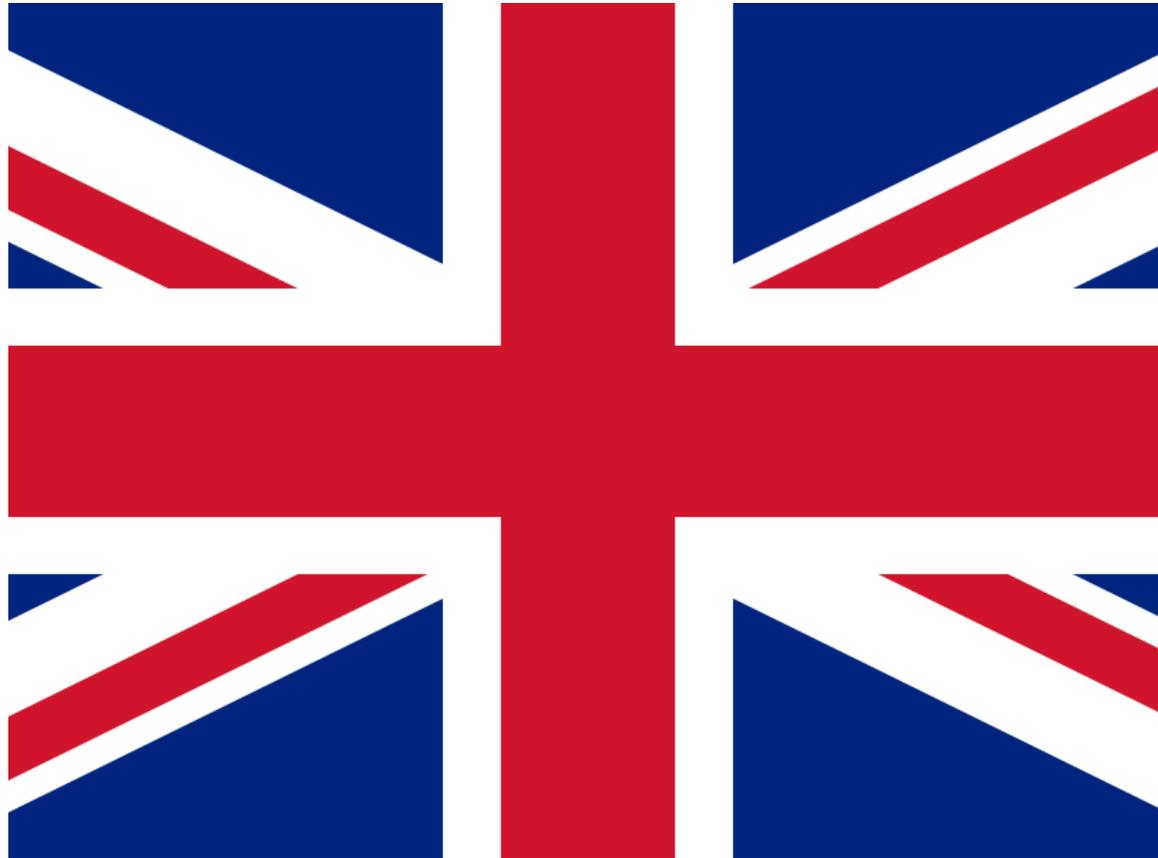
Nel caso in esame, il personale adotta una tuta idrorepellente

- **impermeabile**
- **incapsulante** (priva di aperture, con elastici ai polsi ed alle caviglie).

Questi due aspetti rendono i risultati delle previsioni compiute con il metodo ISO (PHS) **suscettibili di importanti sottostime** perché il metodo assume che l'abbigliamento sia tale da garantire l'efficacia di tutti i meccanismi di scambio termico tra uomo e ambiente, compresa l'**evaporazione** e il **pumping effect** che, nel nostro caso, sono invece limitati.

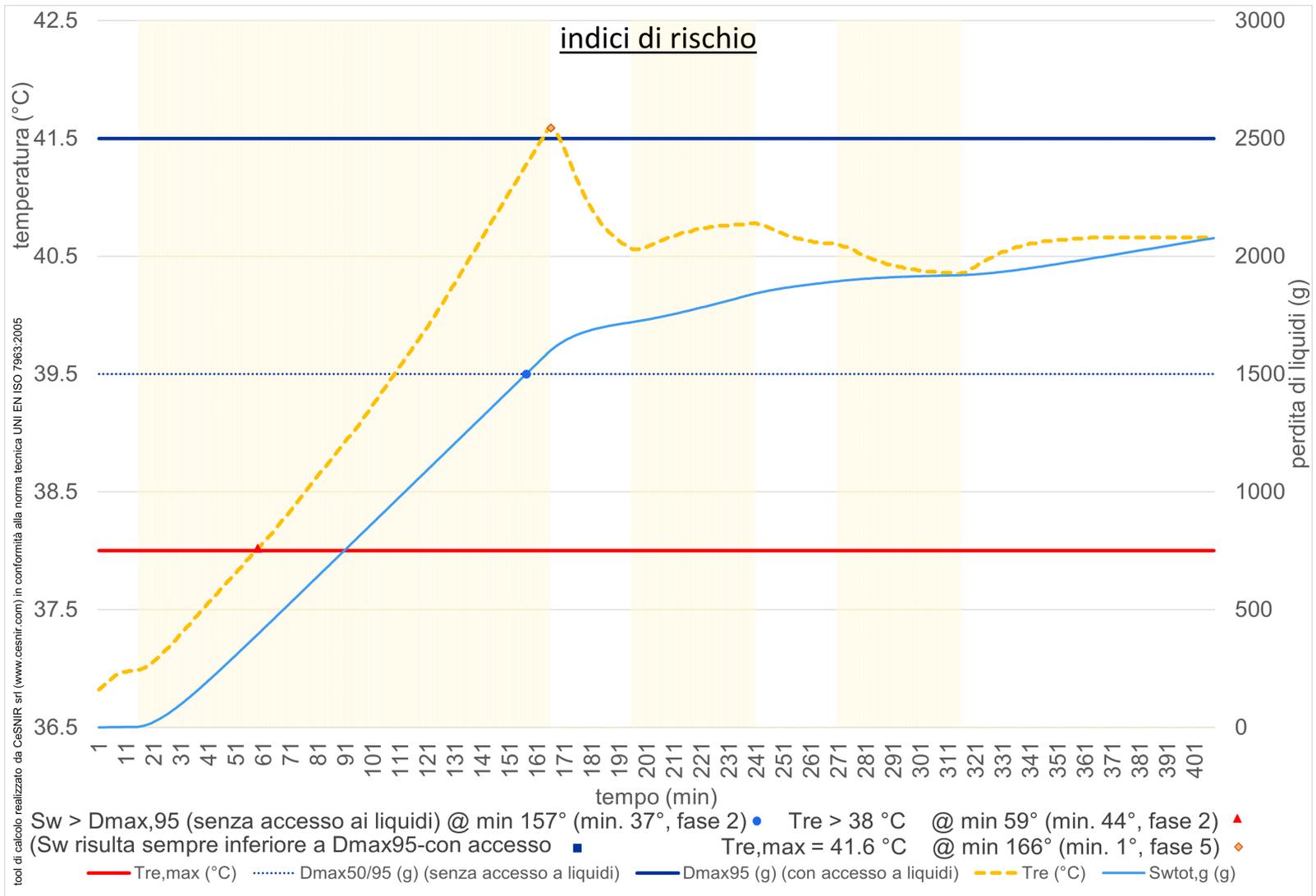


Evoluzione temporale degli indici di rischio nel caso di nessuna correzione apportata al metodo PHS. Le bande verticali evidenziano le diverse fasi di lavoro

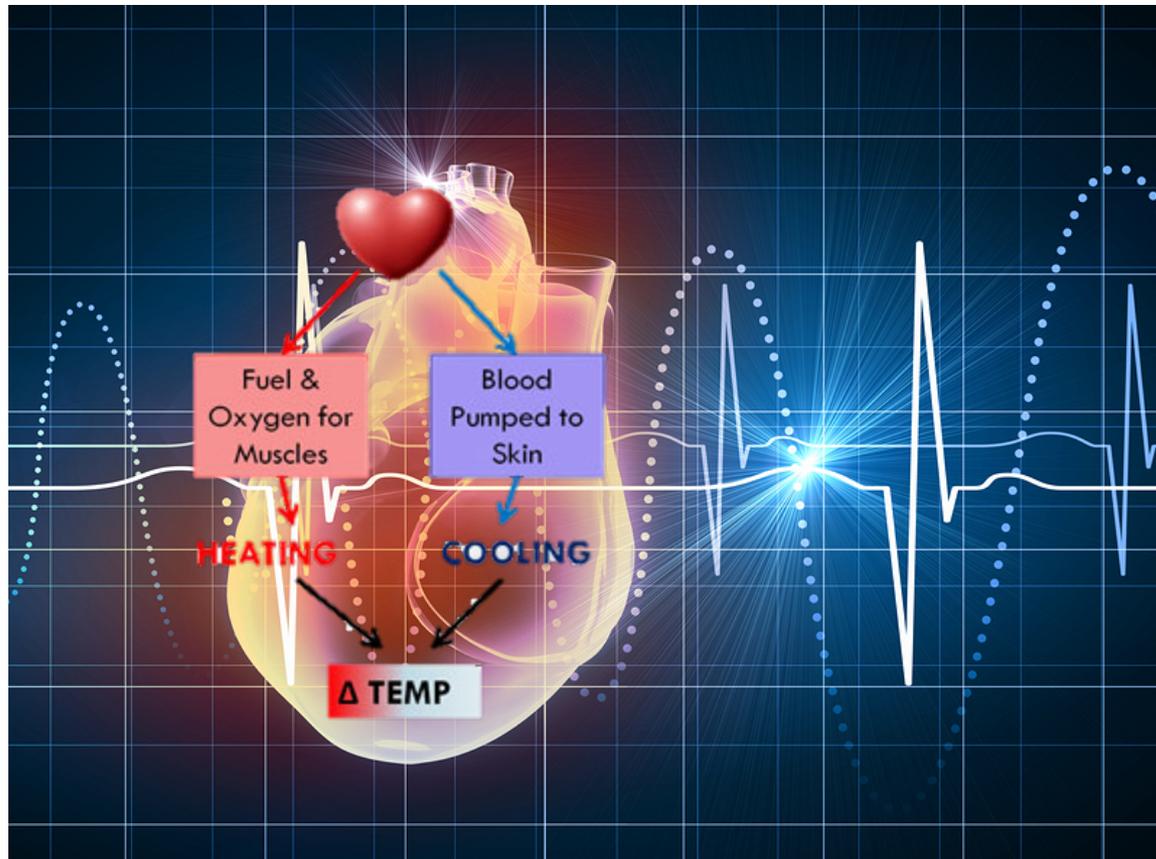


rivalutazione tramite:

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



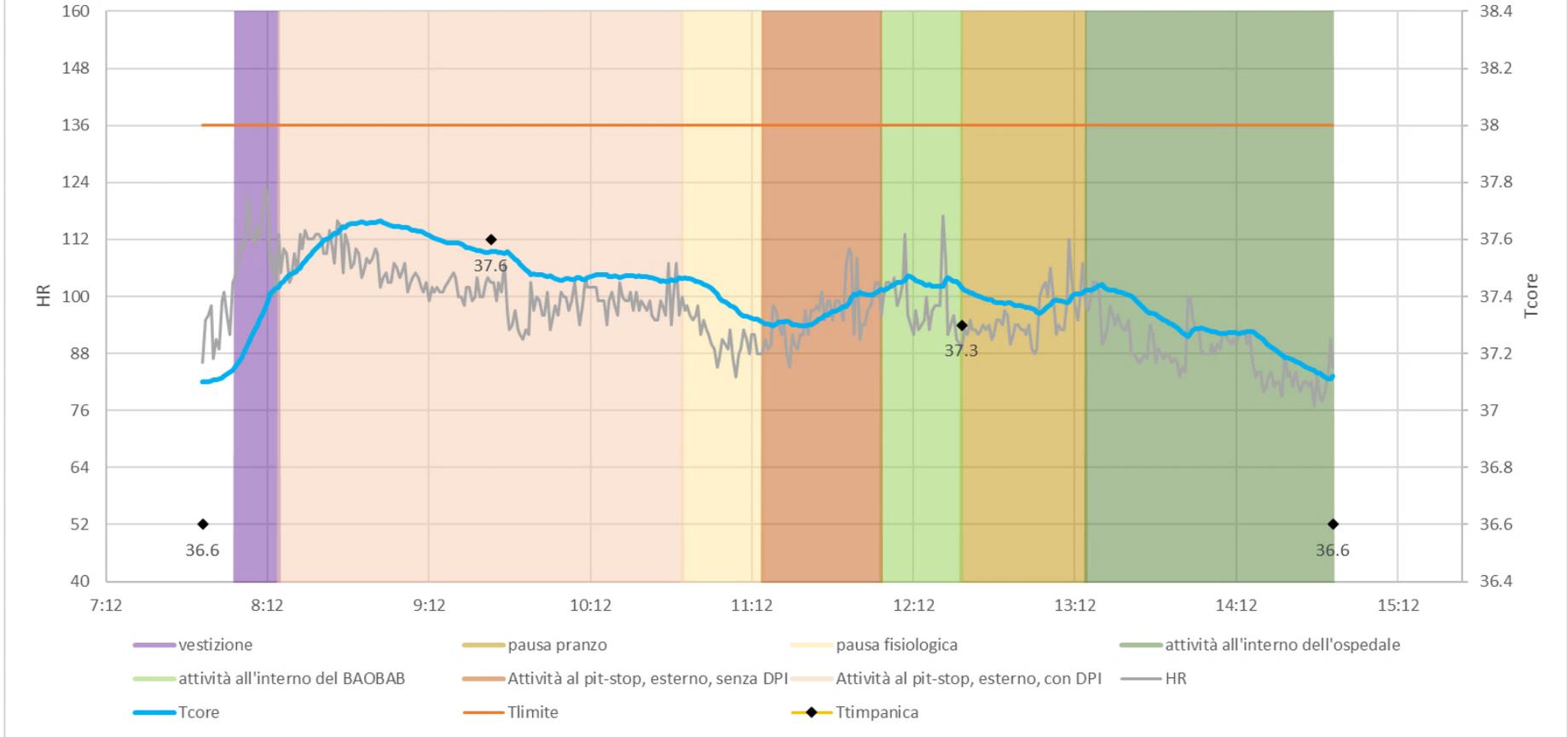
Evoluzione temporale degli indici di rischio (PHS) nel caso dell'applicazione delle correzioni A, B e C come da BS 7963:2000



rivalutazione tramite:

M. J Buller et al. (2013) *Estimation of human core temperature from sequential heart rate observations*, *Physiological Measurement*, 34, 781-798

B - 10/08/2020



Evoluzione temporale dei valori di frequenza cardiaca (misurata) e di temperatura rettale (calcolata) nel corso di un'intera giornata di lavoro.
+ misure puntuali della temperatura timpanica

Grazie per l'attenzione

Dr. Alessandro Merlino
(a.merlino@cesnir.com)

bibliografia

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

UNI EN ISO 9886:2004 “Valutazione degli effetti termici (thermal strain) mediante misurazioni fisiologiche”

INAIL (2018) *La valutazione del microclima*

A. Merlino, G. Gambino, D. Meda, G. Quadrio (2019) *Accertamenti di stress termico mediante monitoraggio della frequenza cardiaca degli esposti*, atti del convegno nazionale dBA 2019 (Bologna, 17 ottobre 2019)

A. Merlino, G. Gambino, D. Meda, G. Quadrio, N. Pasqualini, P. D'Aloia, G. Pellicciotta, P. Zani (2020) *Il rischio da stress termico per gli operatori sanitari impegnati in attività anti-covid all'aperto*, atti del convegno nazionale dBA 2020 (Bologna, 3 dicembre 2020)