

# Valutazione dello stress termico per lavoratori sottoposti ad alti carichi, in regime di non applicabilità delle metodiche WBGT e PHS

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

**CeSNIR**

Convegno Nazionale sulla tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro

Quartiere Fieristico di Bologna  
Mercoledì 17 ottobre 2018

# stress termico rischio sottodimensionato?



The image shows a screenshot of a news article from Le Figaro Premium. The top navigation bar is dark blue with white icons and text for 'Menu', 'En direct' (with a red '5' badge), 'Le journal', 'LE FIGARO PREMIUM', 'Suivre', 'Recherche', and 'Connexion'. The main headline is in large, bold, dark blue font. Below it, the author and update information are in a smaller, grey font. The introductory paragraph is in a dark blue font, and the article source is in an italicized dark blue font. The final sentence is in a dark blue font.

Menu En direct 5 Le journal **LE FIGARO PREMIUM** Suivre Recherche Connexion

## 2003, la canicule en France tue 11 435 personnes en deux semaines

Par Catherine Petitnicolas | Mis à jour le 23/09/2013 à 16:06 / Publié le 20/09/2013 à 15:53

VIDÉO - L'Institut national de veille sanitaire a fourni son premier recensement exhaustif des décès dus à la vague de chaleur qui a sévi en France durant la première quinzaine d'août 2003.

*Article paru dans Le Figaro du 30 août 2003.*

C'est une catastrophe sanitaire sans précédent: 11 435 personnes sont mortes dans l'Hexagone durant les seules deux premières semaines du mois d'août des

# oggetto del lavoro

Valutazione dello stress termico dei **lavoratori che indossano abbigliamento protettivo ad alto isolamento**

- *first responders*: forze dell'ordine e militari, vigili del fuoco, sanitari, ...
- addetti ai forni delle **acciaierie** e delle **vetrerie**
- sivieristi
- **saldatori** pipeline
- lavorazioni senza ricambi d'aria (**ambienti confinati**)



# non applicabilità 7243 e 7933

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  $\Delta t$  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 protettivo o altri DPI che possono incidere sull'ambiente termico personale.

# esempio 1

## acciaieria: siviierista



# esempio 1

## acciaieria: sivierista

attività alternate:

1. 20 min di sforzo moderato, con abbigliamento protettivo in ambiente molto caldo
2. 100 min di sforzo basso, senza abbigliamento protettivo in ambiente poco caldo

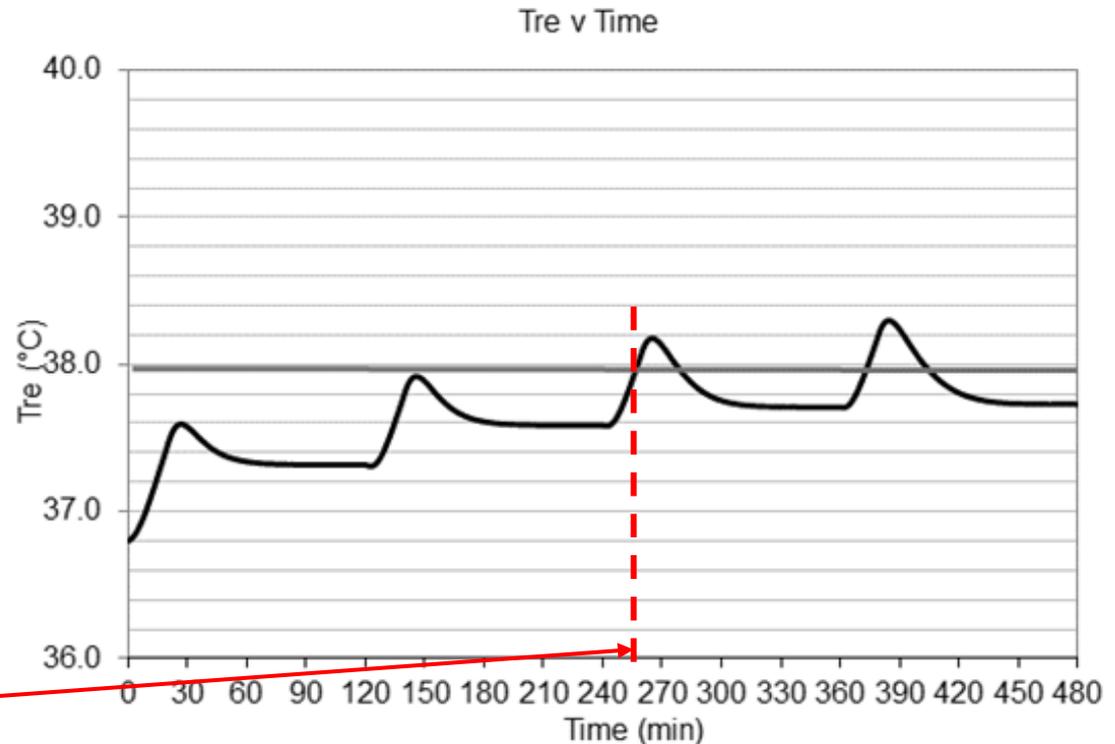
parametro	attività 1	attività 2
M (W/m <sup>2</sup> )	155	115
I <sub>cl</sub> (clo)	1.82	0.75
t <sub>a</sub> (°C)	49	27
t <sub>g</sub> (°C)	58	27
RH (%)	15	40
v <sub>a</sub> (m/s)	0.1	0.2

# esame con procedura PHS

PHS senza correzioni BS 7963

Risultati

$T_{re, \max}$	38.3 °C
$T_{re, \text{finale}}$	37.7 °C
t limite	258 min



# PHS con correzioni BS 7963

Parametri modificati secondo BS 7963

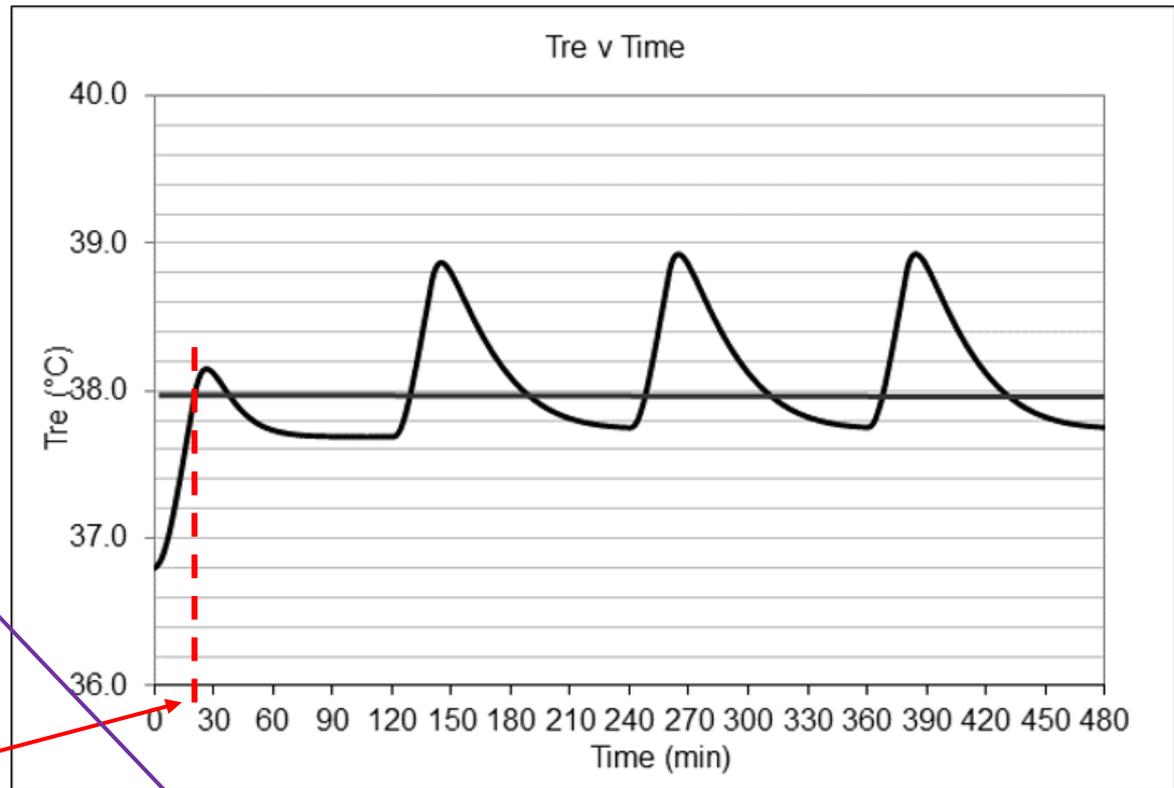
$I_{cl} + 20\% = 2.18 \text{ clo}$   
 $Met = 195 \text{ W/m}^2$   
 (155  $\text{W/m}^2 + 50 \text{ W/m}^2$ )  
 $i_{mst} = 0.19$

## Risultati

$T_{re, \text{ picco}} = 39.0 \text{ }^\circ\text{C}$

$T_{re, \text{ finale}} = 37.8 \text{ }^\circ\text{C}$

$t \text{ limite} = 20 \text{ min}$



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

PPE item	Resting	Low metabolic rate	Moderate metabolic rate	High metabolic rate	Very high metabolic rate
	Chemical protective water vapour impermeable ensemble [e.g. polyvinyl chloride (PVC)] with hood, gloves and boots	10	25	50	80

# esempio 2

## pulizia stiva nave, settore chimico



# 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 <sup>2</sup> )	165	115
I <sub>cl</sub> (clo)	2.00	0.80
t <sub>a</sub> (°C)	18	20
t <sub>g</sub> (°C)	18	20

# esame con procedura PHS

## PHS senza correzioni BS 7963

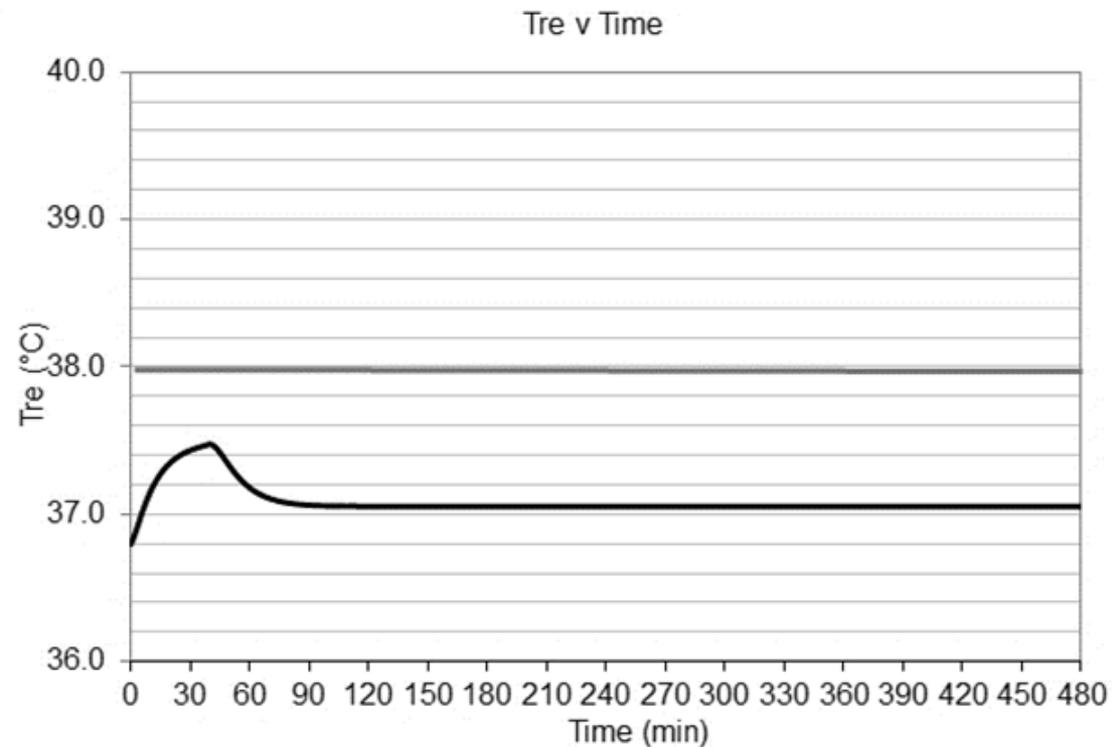
### Risultati

$T_{re, \text{picco}}$  37.5 °C

$T_{re, \text{finale}}$  37.1 °C

t limite

--



# PHS con correzioni BS 7963

Parametri modificati secondo BS 7963

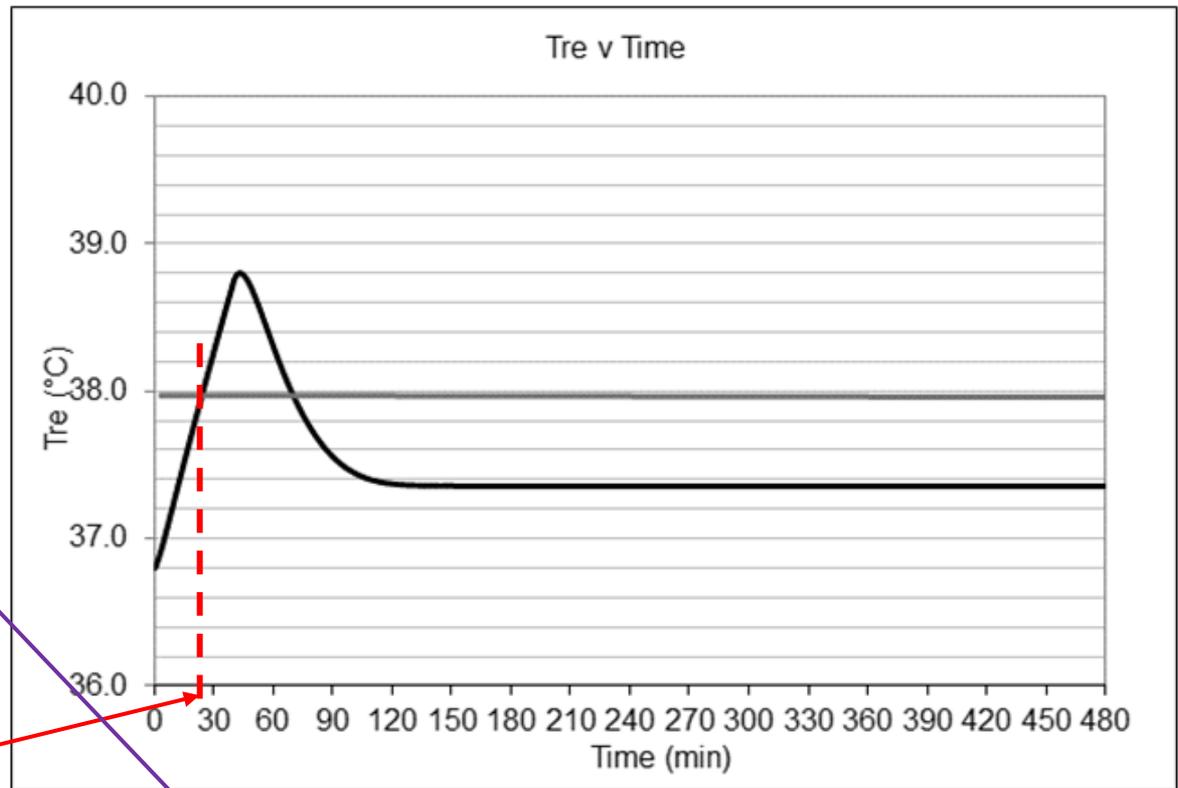
$I_{cl} + 20\% = 2.4 \text{ clo}$   
 $Met = 275 \text{ W/m}^2$   
 (165 W/m<sup>2</sup> + 110 W/m<sup>2</sup>)  
 RH = 100%

Risultati

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

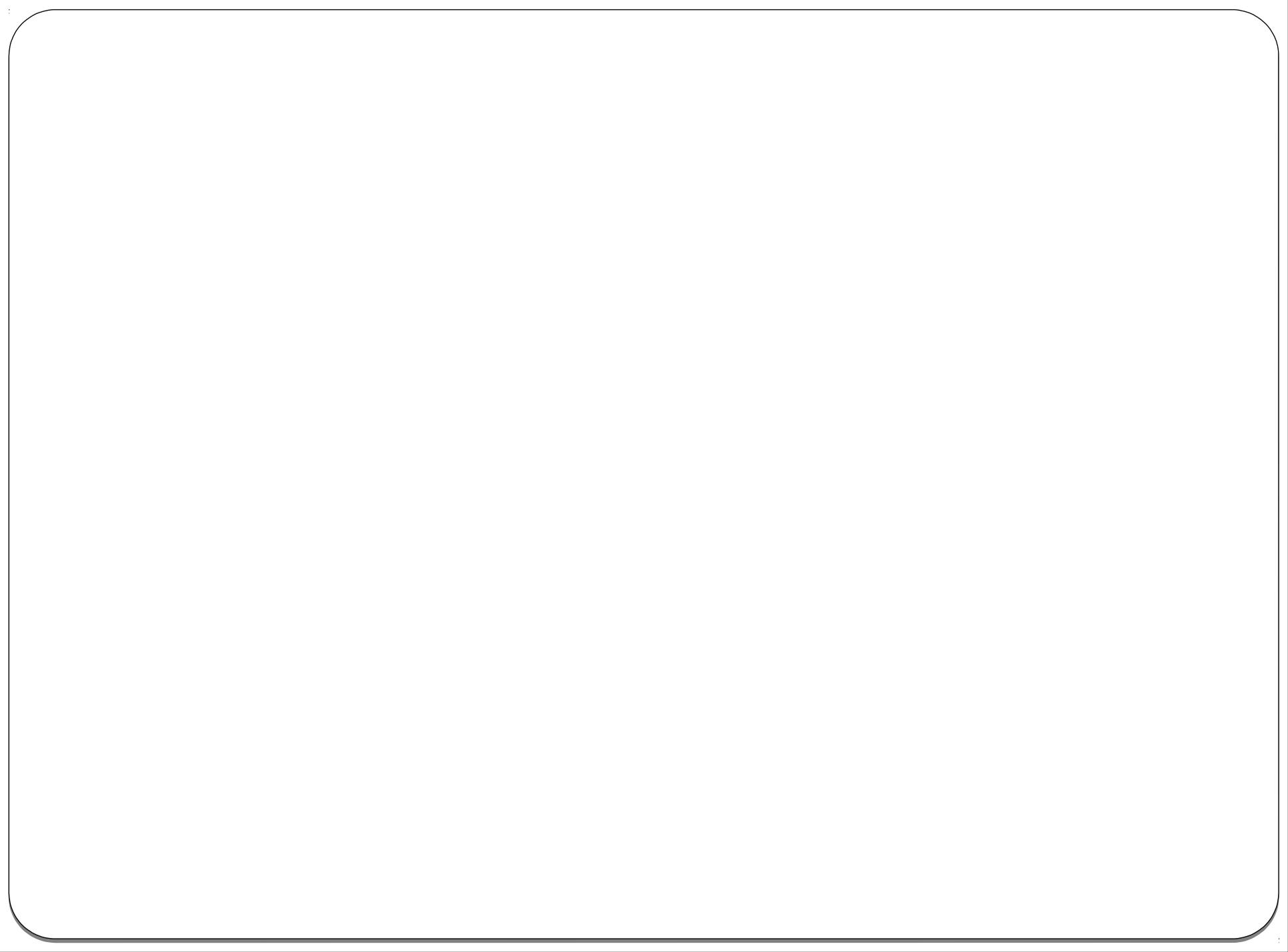
$T_{re, \text{ finale}} = 37.4 \text{ }^\circ\text{C}$

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

$\Delta HR_M$ : incremento connesso con il lavoro muscolare dinamico

$\Delta HR_S$ : incremento connesso con il lavoro muscolare statico

$\Delta HR_T$ : incremento dovuto allo stress termico cui è sottoposto il soggetto

$\Delta HR_N$ : incremento correlato con fattori psicologici

$\Delta HR_\epsilon$ : incremento residuo correlato al ritmo della respirazione, ritmo circadiano,

Limite:

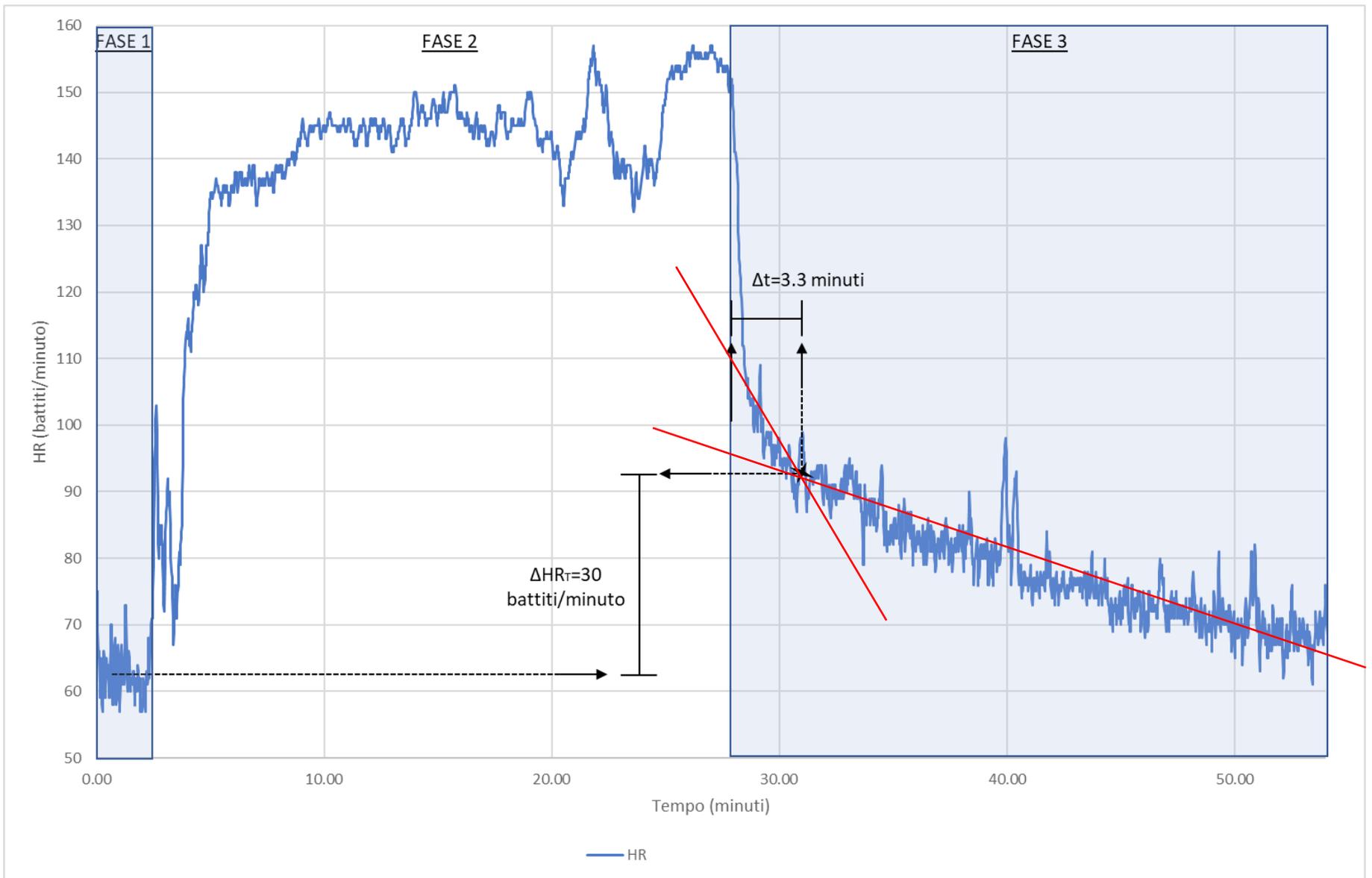
$$\Delta HR_{T,max} = 33 \text{ battiti/min}$$

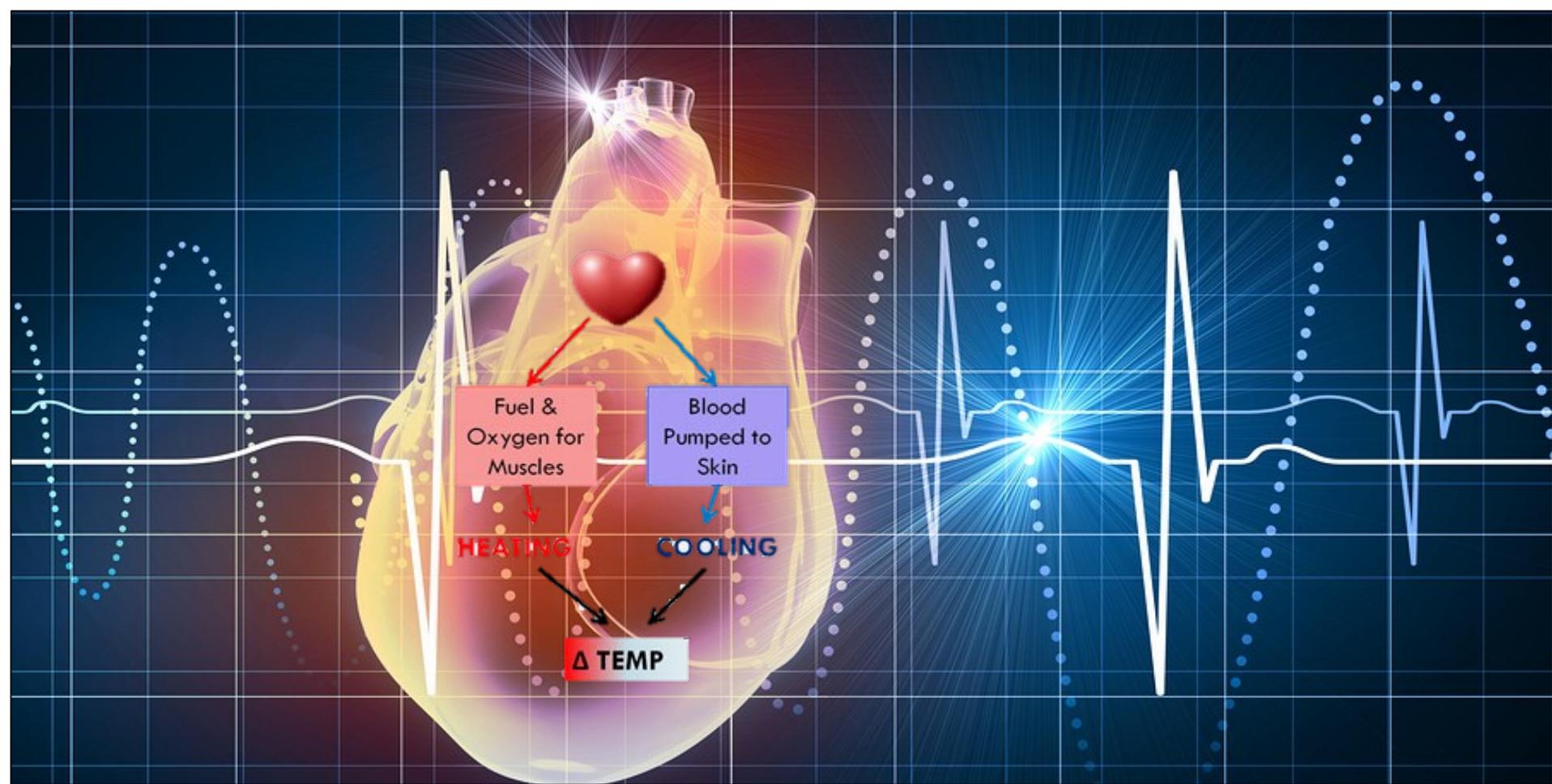
# esempio

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

- fase 1 (3 min ca.):
  - soggetto a riposo, seduto, in condizioni di neutralità termica per poter determinare la HR0
- fase 2 (24 min ca.):
  - intensa attività fisica sulla cyclette con esposizione diretta al sole;
  - $t_a = 29.5 \text{ }^\circ\text{C}$  (simulazione di condizioni lavorative in ambiente caldo);
  - vestiario: pantalone lungo e giacca protettiva coprente e non traspirante (simulazione abbigliamento protettivo incapsulante);
  - 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

# $T_{\text{core}}$ come funzione di HR

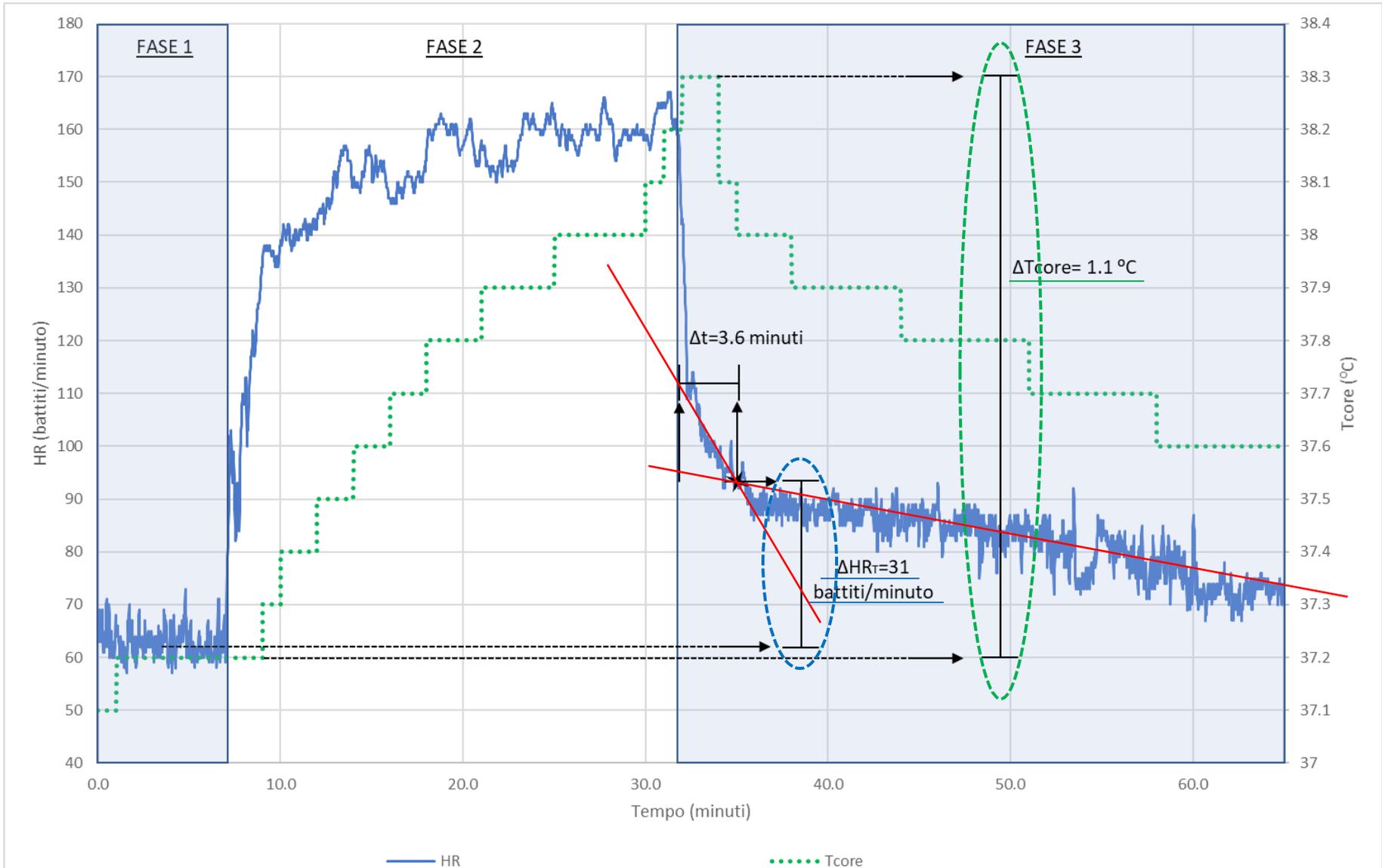
metodo elaborato da Mark J. Buller e colleghi nel 2013, i quali hanno dimostrato che la frequenza cardiaca **HR** può essere letta **come una funzione della temperatura del nucleo  $t_{\text{cr}}$ , distorta da rumore e filtrata con un filtro Kalman**

# esempio

Condizione di lavoro con sforzi elevati in condizioni di alto carico termico ambientale ( $t_a \cong 28 \text{ }^\circ\text{C}$  + soleggiamento)

- fase 1 (8 min ca.):
  - soggetto a riposo, seduto, in condizioni di neutralità termica per poter determinare la HR0
- fase 2 (23 min ca.):
  - intensa attività fisica sulla cyclette con esposizione diretta al sole;
  - $t_a = 28.0 \text{ }^\circ\text{C}$  (simulazione di condizioni lavorative in ambiente caldo);
  - vestiario: pantalone lungo e giacca protettiva coprente e non traspirante (simulazione abbigliamento protettivo incapsulante);
  - 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.

# andamento di HR e $t_{\text{core}}$ vs tempo





conclusioni

# BS 7963

1. La disamina del metodo inglese (**BS 7963**) conferma 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.

Abbiamo mostrato come una situazione valutata entro i gradi di libertà concessi dalla UNI EN ISO 7933 (PHS), rivalutata con i criteri della BS 7963, possa restituire esiti opposti, passando da un livello di rischio trascurabile ad uno elevato

# 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  $\Delta HR_T$
- si deve prevedere l'interruzione dal lavoro del soggetto esposto, per studiare l'andamento di  $HR(t)$

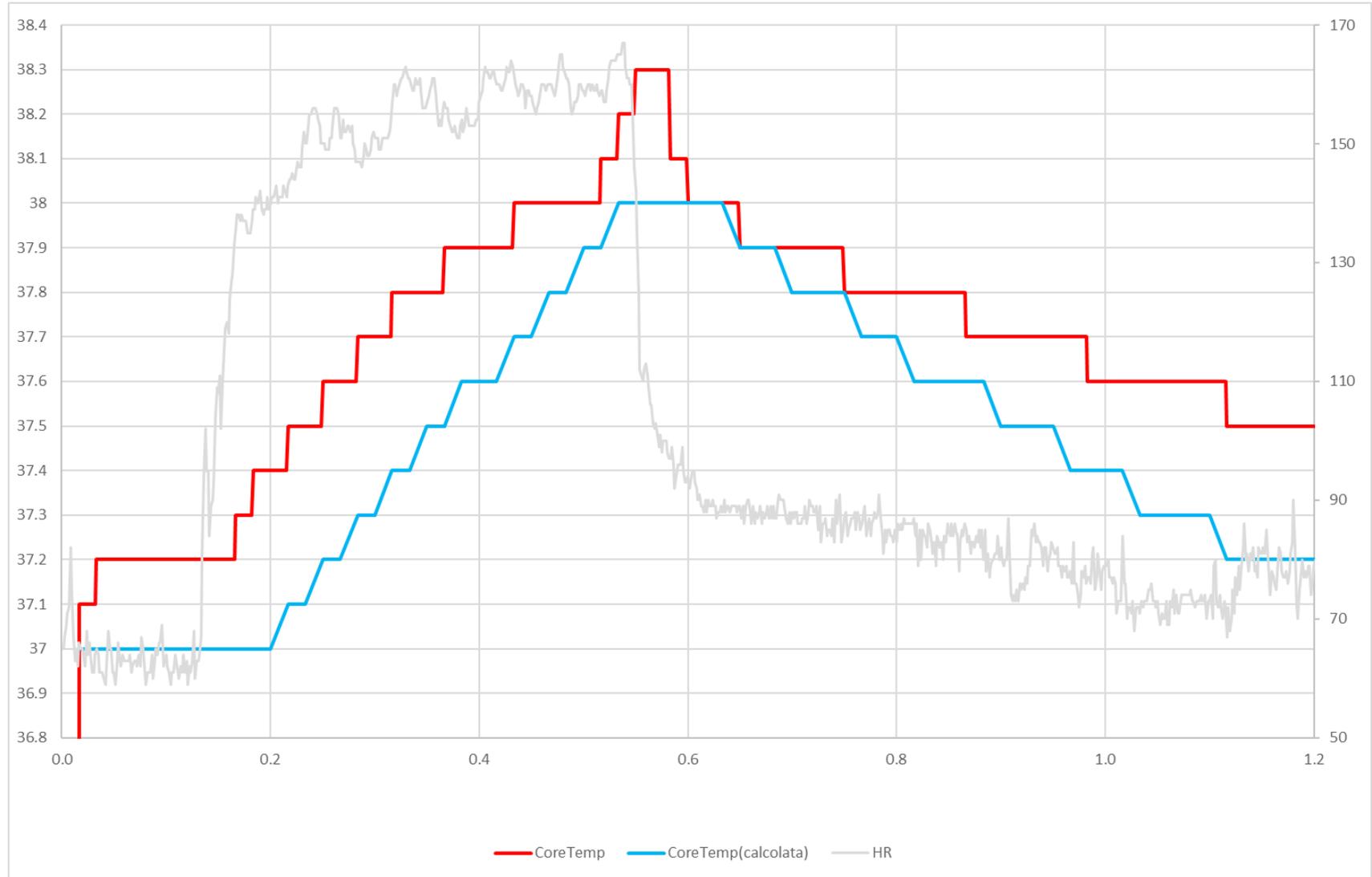
# l'alternativa "Buller"

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).

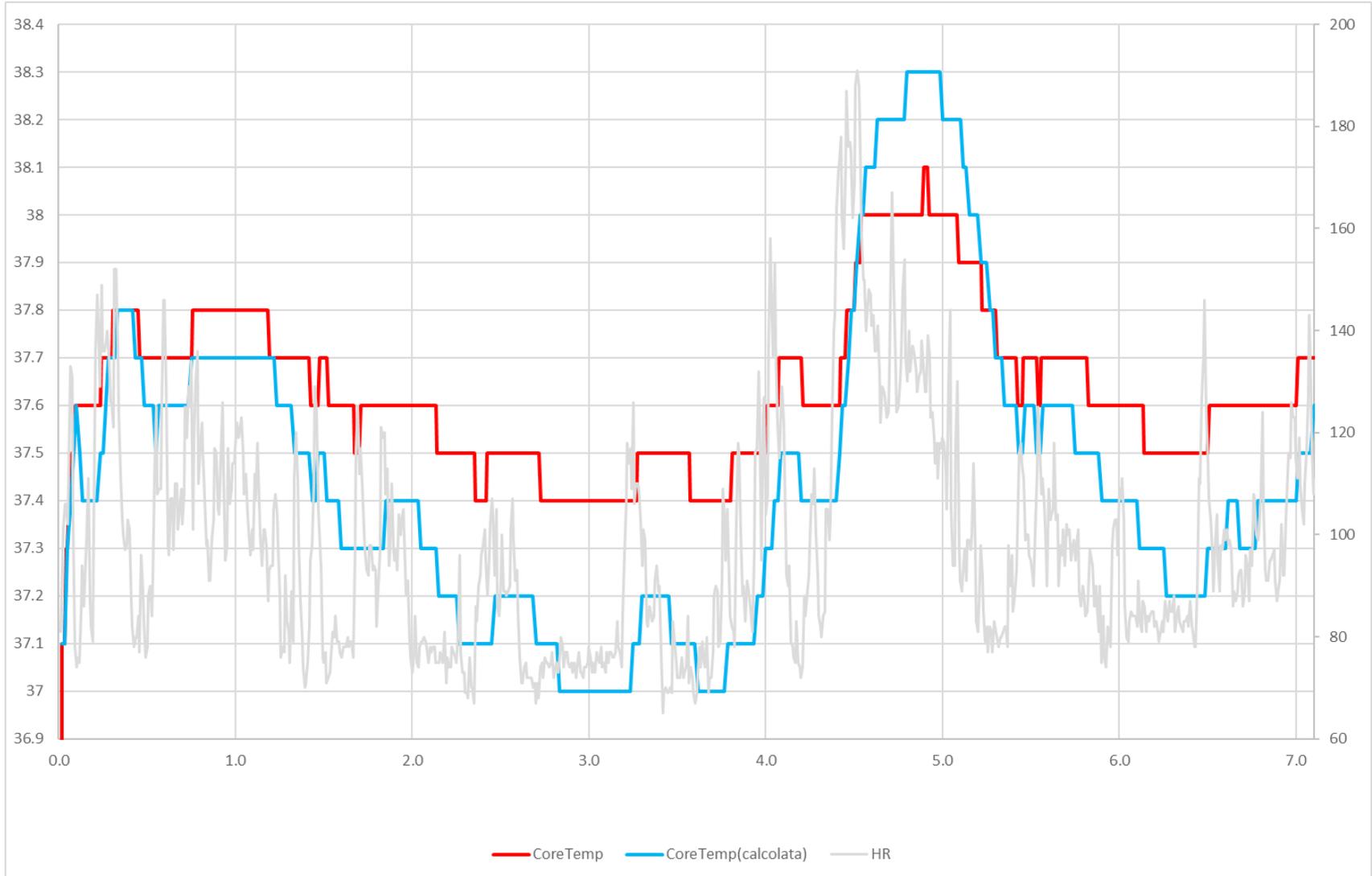
Nonostante sia una metodologia ai suoi albori, risulta **prezioso già oggi per esaminare i casi maggiormente critici**.

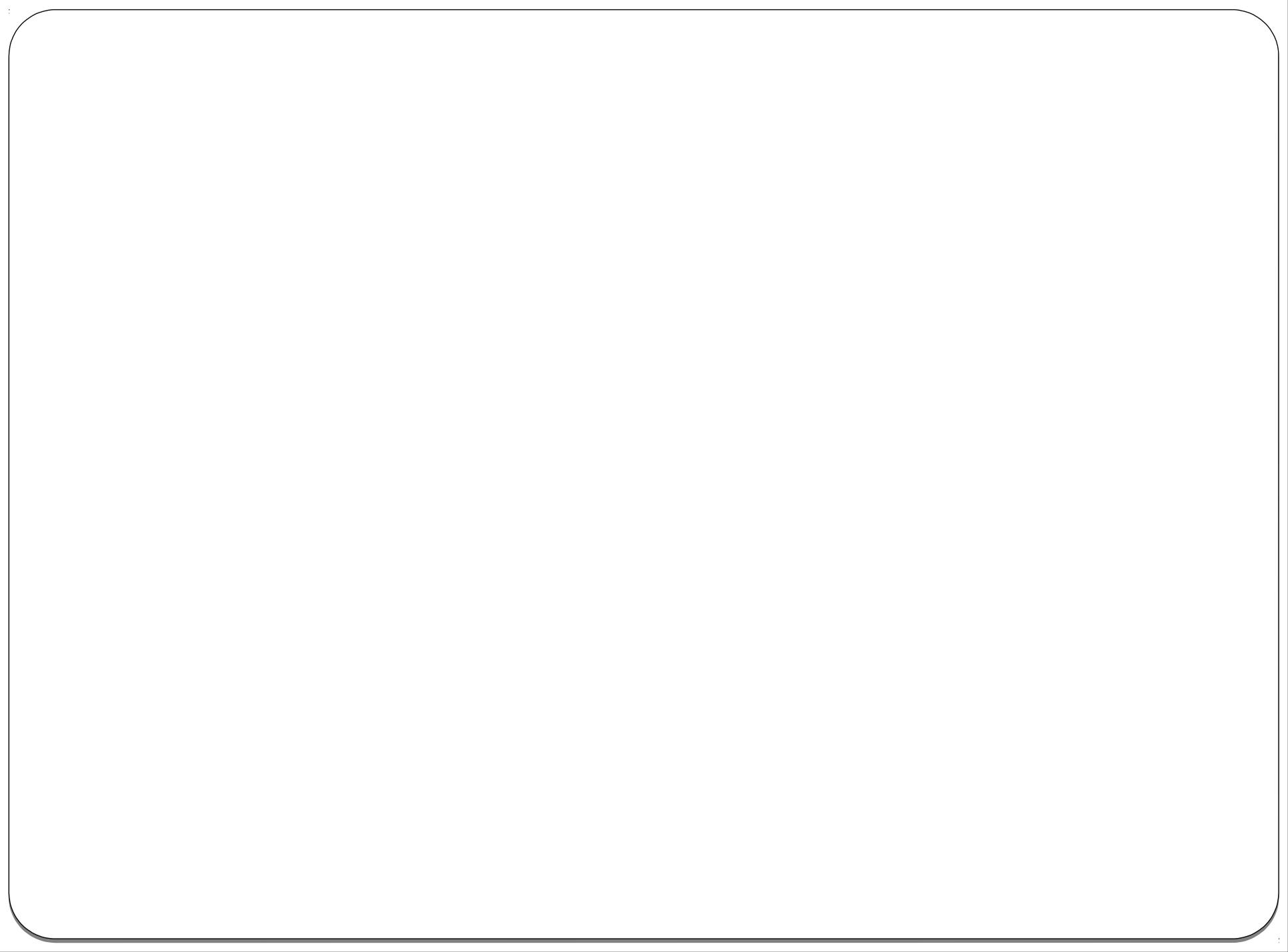
In merito ai **dispositivi adottabili**, al momento bisogna rivolgersi a prodotti commerciali pensati per lo sport (alcuni calcolano la  $t_{\text{core}}$ ). Non siamo in grado, per ora, di fare considerazioni sulla loro affidabilità.

# confronto tra $t_{core}$ strumento e $t_{core}$ calcolata a partire dai valori HR



# confronto tra $t_{\text{core}}$ strumento e $t_{\text{core}}$ calcolata a partire dai valori HR







... soluzione n. 4 .....

Grazie per l'attenzione

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

*Gianluca Gambino, Daniele Meda, Gabriele Quadrio*