

Valutazione e prevenzione del rischio da microclima: aggiornamenti tecnici e normativi

**INAIL**

ISTITUTO NAZIONALE PER L'ASSICURAZIONE  
CONTRO GLI INFORTUNI SUL LAVORO



## Strumenti tecnologici innovativi – i risultati dei test con giacche ventilate in camera climatica

Simona Del Ferraro

*INAIL - Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro ed Ambientale (DiMEILA)*

*Laboratorio di Ergonomia e Fisiologia*



11 maggio 2022

## Prima giornata

Edizione Data	Orario	Sede	Docente	Contenuti	Metodi apprendimento insegnamento	
10 maggio 2022	9:30	Fad-sincrona	Alessandro Marinaccio INAIL	Iniziativa dell'Inail per la ricerca scientifica e la prevenzione dei rischi sul lavoro correlati allo stress termico. Presentazione del progetto WORKLIMATE	Relazione su tema preordinato	
	10:00		Miriam Levi AUSL Toscana Centro	Le evidenze epidemiologiche disponibili sull'impatto dello stress da caldo nei luoghi di lavoro		
	10:30		Francesca De' Donato DEP Lazio	Fattori di vulnerabilità caldo-correlati individuali applicabili in ambito occupazionale		
	11:00		Michela Bonafede – INAIL	Percezione dello stress termico: risultati delle web survey condotte in ambito nazionale		
	11:30		Marco Morabito IBE-CNR	Impatto dello stress termico ambientale sulla salute e produttività dei lavoratori: strumenti e strategie messe a punto nell'ambito del progetto WORKLIMATE		
			Daniele Grifoni Consorzio LaMMA	Valutazione delle performance dei modelli meteorologici e descrizione di quello utilizzato nella catena operativa previsionale WORKLIMATE		
	12:00					
	12.30		Termine della prima giornata			

## Seconda giornata

Edizione Data	Orario	Sede	Docente	Contenuti	Metodi apprendimento insegnamento
11 maggio 2022	9:30	Fad-sincrona	Vincenzo Molinaro INAIL	Metodi di valutazione degli ambienti termici severi caldi; rischi per la salute e la sicurezza nell'interazione lavoratore-ambiente severo caldo	Relazione su tema preordinato
	10:00		Alessandro Messeri CNR-IBE	Monitoraggi meteo-climatici in un campione di aziende e test fisiologici nel settore agricolo e in quello delle costruzioni	Presentazione casi studio
	10:30		Simona Del Ferraro INAIL	Strumenti tecnologici innovativi – i risultati dei test con giacche ventilate in camera climatica	Relazione su tema preordinato
	11:00		Andrea Bogi, Iole Pinto Az. USL Toscana Sud Est	Le indicazioni operative per la prevenzione del rischio da agenti fisici e il Portale Agenti Fisici.	Lezione Frontale
			Gruppo WORKLIMATE	Discussione finale	
	11:30				
	12.30		Conclusione e termine dei lavori		

# Introduzione – Le misure di prevenzione e protezione



TITOLO VIII - AGENTI FISICI

D.Lgs. 09 aprile 2008 n. 81

## TITOLO VIII - AGENTI FISICI

### CAPO I - DISPOSIZIONI GENERALI

#### Articolo 180 - Definizioni e campo di applicazione

1. Ai fini del presente Decreto Legislativo per **agenti fisici** si intendono il rumore, gli ultrasuoni, gli infrasuoni, le vibrazioni meccaniche, i campi elettromagnetici, le radiazioni ottiche, di origine artificiale, il microclima e le atmosfere iperbariche che possono comportare rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori.

2. Fermo restando quanto previsto dal **presente capo**, per le attività comportanti esposizione a rumore si applica il **capo II**, per quelle comportanti esposizione a vibrazioni si applica il **capo III**, per quelle comportanti esposizione a campi elettromagnetici si applica il **capo IV**, per quelle comportanti esposizione a radiazioni ottiche artificiali si applica il **capo V**.

3. La protezione dei lavoratori dalle radiazioni ionizzanti è disciplinata unicamente dal Decreto Legislativo 17 marzo 1995, n. 230<sup>del</sup>, e sue successive modificazioni.

*Note all'Art. 180*

#### Articolo 181 - Valutazione dei rischi

1. Nell'ambito della valutazione di cui all'**articolo 28**, il datore di lavoro valuta tutti i rischi derivanti da esposizione ad agenti fisici in modo da identificare e adottare le opportune misure di prevenzione e protezione con particolare riferimento alle norme di buona tecnica ed alle buone prassi.

2. La valutazione dei rischi derivanti da esposizioni ad agenti fisici è programmata ed effettuata, con cadenza almeno quadriennale, da personale qualificato nell'ambito del servizio di prevenzione e protezione in possesso di specifiche conoscenze in materia. La valutazione dei rischi è aggiornata ogni qual volta si verifichino mutamenti che potrebbero renderla obsoleta, ovvero, quando i risultati della sorveglianza sanitaria rendano necessaria la sua revisione. I dati ottenuti dalla valutazione, misurazione e calcolo dei livelli di esposizione costituiscono parte integrante del documento di valutazione del rischio.

3. Il datore di lavoro nella valutazione dei rischi precisa quali misure di prevenzione e protezione devono essere adottate. La valutazione dei rischi è riportata sul documento di valutazione di cui all'**articolo 28**, essa può includere una giustificazione del datore di lavoro secondo cui la natura e l'entità dei rischi non rendono necessaria una valutazione dei rischi più dettagliata.

## INTERVENTI TECNICI

- Meccanizzare per ridurre l'intensità dell'attività lavorativa



- Schermi protettivi per ridurre il calore radiante

## INTERVENTI ORGANIZZATIVI

- Prevedere un programma di acclimatamento
- Ridurre la durata delle esposizioni all'ambiente caldo
- Prevedere pause in spazi ombreggiati o con aria condizionata e rendere disponibili bottiglie di acqua



- Promuovere reciproco controllo tra lavoratori
- (sistema compagno)

## FORMAZIONE ED INFORMAZIONE



- Corsi di formazione su:
  - il riconoscimento dei segnali e sintomi delle diverse patologie da caldo
  - L'effetto di fattori esterni non legati all'attività lavorativa
  - L'importanza di segnalare l'insorgenza di sintomi e segnali legati alle patologie da caldo
  - Le procedure di emergenza

## ABBIGLIAMENTO

- Abbigliamento riflettente



- Utilizzare cappelli a tesa larga e circolare per la protezione del capo, orecchie, naso e collo
- occhiali per protezione dai raggi solari
- abiti leggeri di colore chiaro e di tessuto traspirante
- Indumenti refrigeranti (cooling garment)

# Cooling garments

## Liquid cooling garments (LCGs)

basati su un sistema che fa circolare acqua/aria fredda attraverso una maglietta o un indumento foderato con un tubo



## Evaporative cooling garment (ECGs)

utilizzano il processo naturale di evaporazione. Vengono immersi in acqua per poi rilasciarla lentamente. L'acqua inizierà ad evaporare ed il calore di chi lo indossa verrà trasferito all'aria



## Phase Change Materials (PCMs)

assorbono energia termica quando passano dallo stato solido a quello liquido e rilasciano calore quando ritornano allo stato solido



## Ventilation jacket

Giacche dotate di due ventole



## Hybrid cooling garments (HCGs)

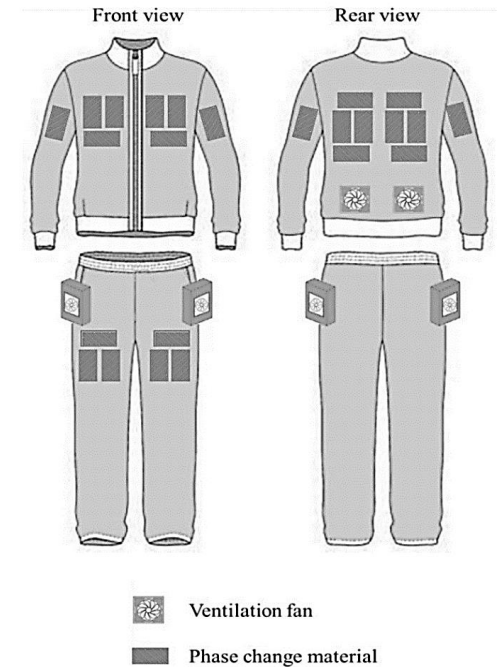
Combinazione di due o sistemi di raffreddamento



Article

**A Numerical Analysis of the Cooling Performance of a Hybrid Personal Cooling System (HPCS): Effects of Ambient Temperature and Relative Humidity**

Pengjun Xu <sup>1,†</sup>, Zhanxiao Kang <sup>2,†</sup>, Faming Wang <sup>3,\*</sup> and Udayraj <sup>4</sup>



# Le proprietà termiche dell'abbigliamento

## ISOLAMENTO TERMICO $I$

Resistenza al passaggio di calore secco tra due superfici

$$I = \frac{\text{gradiente di temperatura}}{\text{perdite di calore secco per unità di superficie corporea}}$$

in  $\text{m}^2 \times \text{K/W}$

$1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \times \text{K/W}$

### ISOLAMENTO TOTALE (statico)

Isolamento termico fra sup. corporea e ambiente

$$I_T = \frac{\bar{t}_{sk} - t_o}{H}$$

### ISOLAMENTO INTRINSECO (statico)

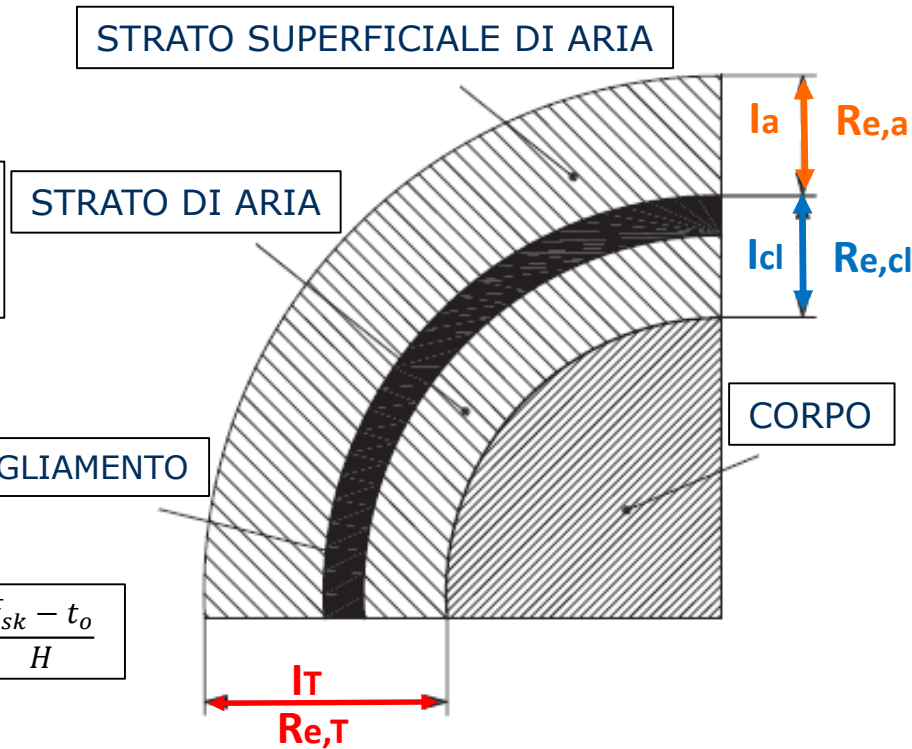
Isolamento termico fra sup. corporea e sup. dello strato più esterno dell'abbigliamento

$$I_{cl} = \frac{\bar{t}_{sk} - \bar{t}_{cl}}{H}$$

### ISOLAMENTO DELL'ARIA (statico)

Isolamento termico dello strato d'aria sup a contatto con lo strato più esterno dell'abbigliamento

$$I_a = \frac{\bar{t}_{cl} - t_o}{H}$$



## RESISTENZA AL VAPORE ACQUEO $R_e$ (O RESISTENZA EVAPORATIVA)

Resistenza al passaggio di vapore acqueo tra due superfici

$$R_e = \frac{\text{gradiente di pressione di vapore}}{\text{perdite di calore per evaporazione per unità di superficie corporea}}$$

in  $\text{m}^2 \times \text{KPa/W}$

### RESISTENZA EVAPORATIVA TOTALE (statica)

Resistenza evaporativa fra la superficie corporea e l'ambiente

### RESISTENZA EVAPORATIVA INTRINSECA (statica)

Resistenza evaporativa fra la superficie della pelle e la superficie dello strato più esterno dell'abbigliamento

### RESISTENZA EVAPORATIVA DELL'ARIA (statico)

Resistenza evaporativa dello strato d'aria sup a contatto con lo strato più esterno dell'abbigliamento

# Valutazione proprietà termiche

EUROPEAN STANDARD  
NORME EUROPÉENNE  
EUROPÄISCHE NORM

EN ISO 9920

June 2009

ICS 13.180; 61.020

Supersedes EN ISO 9920:2007

English Version

Ergonomics of the thermal environment - Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble (ISO 9920:2007, Corrected version 2008-11-01)

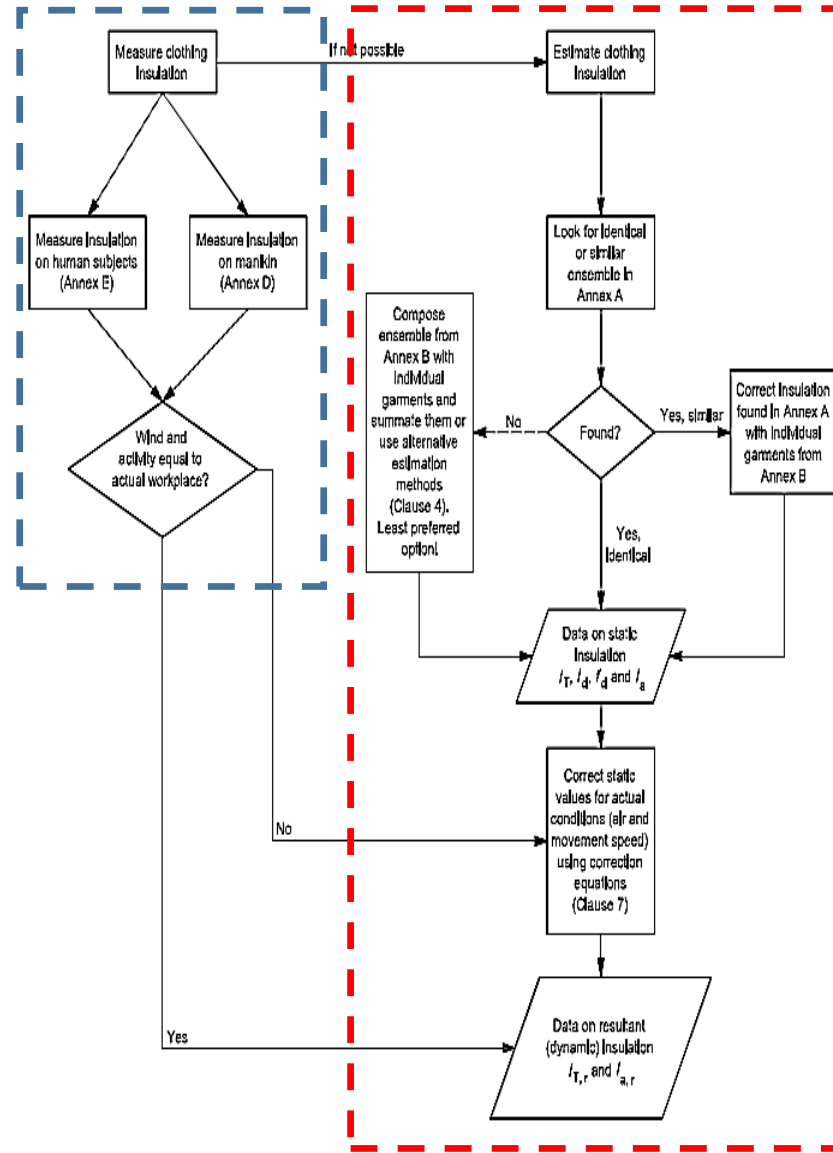


Table A.1 — Insulation values of typical clothing ensembles

Work clothing	$i_{cl}$		Daily wear clothing	
	clo	$m^2 \cdot KW^{-1}$	clo	$m^2 \cdot KW^{-1}$
Underpants, boiler suit, socks, shoes	0,7	0,11	Panties, T-shirt, shorts, light socks, sandals	0,3 0,05
Underpants, shirt, trousers, socks, shoes	0,75	0,115	Panties, petticoat, stockings, light dress with sleeves, sandals	0,45 0,07
Underpants, shirt, boiler suit, socks, shoes	0,8	0,125	Underpants, shirt with short sleeves, light trousers, light socks, shoes	0,5 0,08
Underpants, shirt, trousers, jacket, socks, shoes	0,85	0,135	Panties, stockings, shirt with short sleeves, skirt, sandals	0,55 0,085
Underpants, shirt, trousers, smock, socks, shoes	0,9	0,14	Underpants, shirt, lightweight trousers, socks, shoes	0,6 0,095
Underwear with short sleeves and legs, shirt, trousers, jacket, socks, shoes	1	0,155	Panties, petticoat, stockings, dress, shoes	0,7 0,105
Underwear with short legs and sleeves, shirt, trousers, boiler suit, socks, shoes	1,1	0,17	Underwear, shirt, trousers, socks, shoes	0,7 0,11
Underwear with long legs and sleeves, thermojacket, trousers, socks, shoes	1,2	0,185	Underwear, track suit (sweater and trousers), long socks, runners	0,75 0,115
Underwear with short sleeves and legs, shirt, trousers, jacket, thermojacket, socks, shoes	1,25	0,19	Panties, petticoat, shirt, skirt, thick knee socks, shoes	0,8 0,12
Underwear with short sleeves and legs, boiler suit, thermojacket and trousers, socks, shoes	1,4	0,22	Panties, shirt, skirt, roundneck sweater, thick knee socks, shoes	0,9 0,14
Underwear with short sleeves and legs, shirt, trousers, jacket, thermojacket and trousers, socks, shoes	1,55	0,225	Underpants, singlet with short sleeves, shirt, trousers, V-neck sweater, socks, shoes	0,95 0,145
Underwear with short sleeves and legs, shirt, trousers, jacket, heavy quilted outer jacket and overalls, socks, shoes	1,85	0,285	Panties, shirt, trousers, jacket, socks, shoes	1 0,155
Underwear with short sleeves and legs, shirt, trousers, jacket, thermojacket and trousers, socks, shoes	2	0,31	Panties, stockings, shirt, skirt, vest, jacket	1 0,155
Underwear with long sleeves and legs, thermojacket and trousers, thermojacket and trousers, socks, shoes	2,2	0,34	Panties, stockings, blouse, long skirt, jacket, shoes	1,1 0,17
Underwear with long sleeves and legs, thermojacket and trousers, parka with heavy quilting, socks, shoes, cap, gloves	2,55	0,395	Underwear, singlet with short sleeves, shirt, trousers, jacket, socks, shoes	1,1 0,17
			Underwear, singlet with short sleeves, shirt, trousers, vest, jacket, socks, shoes	1,15 0,18
			Underwear with long sleeves and legs, shirt, trousers, V-neck sweater, jacket, socks, shoes	1,3 0,2
			Underwear with short sleeves and legs, shirt, trousers, vest, jacket, coat, socks, shoes	1,5 0,23

Tabella dei capi

Table B.2 (continued)

No.	Garment	Type no.	Fabric no.	Garment mass g	clo	$i_{cl}$ $m^2 \cdot KW^{-1}$
Shirts						
50	Long sleeves, shirt collar	2	35	—	0,33	0,051
51	Long sleeves, shirt collar	2	36	—	0,31	0,048
52	Long sleeves, shirt collar	2	37	—	0,28	0,043
53	Short sleeves, shirt collar	3	36	—	0,25	0,039
54	Long sleeves, shirt collar	2	91	362	0,33	0,051
55	Long sleeves, shirt collar	2	93	446	0,33	0,051
56	Short sleeves, shirt collar	3	91	284	0,24	0,037
57	Short sleeves, shirt collar	3	93	651	0,25	0,039
58	Sleeveless, scoop neck	7	91	210	0,18	0,028
59	Sleeveless, scoop neck	7	93	470	0,17	0,026
60	Long-sleeve, buttoned	9	91	344	0,34	0,053
61	Long-sleeve blouse, bow tied	1	91	382	0,33	0,051
66	3/4-length sleeves, boat neck	5	1	142	0,27	0,042
67	Cap sleeves, boat neck	6	1	113	0,21	0,033
68	Sleeveless, scoop neck	7	1	117	0,13	0,02
69	Tube top	8	4	67	0,06	0,009
70	Long sleeves, shirt collar	2	59	370	0,29	0,045
71	Long sleeves, shirt collar	2	60	360	0,21	0,033
72	Long sleeves, shirt collar	2	—	190	0,16	0,023
73	Long sleeves, shirt collar	2	—	220	0,18	0,028
74	Long sleeves, bow at neck	1	1	206	0,25	0,039
75	Long sleeves, shirt collar	2	1	196	0,25	0,039
76	Long sleeves, shirt collar	2	2	309	0,34	0,053
77	Short sleeves, shirt collar	3	1	156	0,19	0,029
78	Long sleeves, shirt collar	2	—	245	0,26	0,04
79	Short sleeves, sport shirt	4	3	228	0,17	0,026

Tabella dei materiali

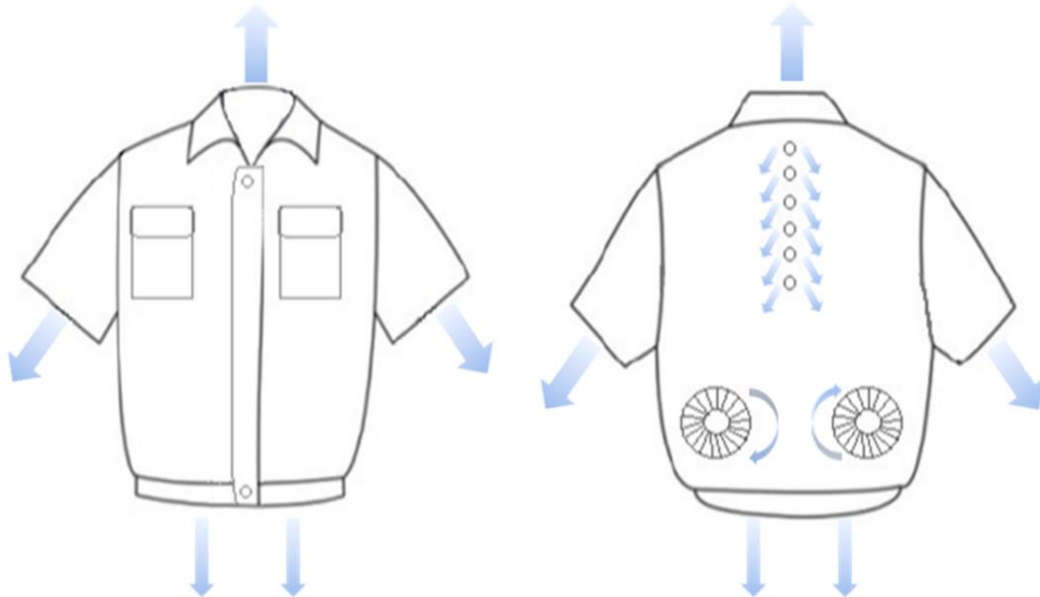
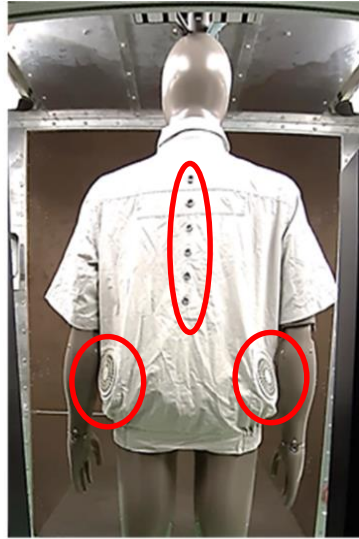
Table B.3 — Characteristics of various clothing materials used in garments listed in Table B.2

Code	Type/construction	Fibre content	Thickness <sup>1</sup> mm	Fabric insulation <sup>2</sup> $m^2 \cdot KW^{-1}$	Fabric surface density <sup>3</sup> $g \cdot m^{-2}$	Air permeability <sup>4</sup> $l \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$
01	Broadcloth/plain weave	65 % polyester, 35 % cotton	0,38	0,029	110	426
02	Flannel/plain weave	80 % cotton, 20 % polyester	1,08	0,045	160	355
03	Double knit/well knit	100 % cotton	0,96	—	—	426
04	Double knit/well knit	100 % polyester	1,06	0,022	—	1 453
05	Fleece-backed double knit	50 % polyester, 38 % cotton, 12 % viscose	2,23	—	—	1 072
06	Jersey/well knit	100 % acrylic	1,02	—	—	1 407
07	Jersey/well knit	85 % wool, 15 % nylon	3,55	—	—	1 631
08	Double knit/well knit	50 % cotton, 50 % polyester	1,1	—	—	1 727
09	Denim/hell weave	100 % cotton	0,8	0,023	206	246
10	Tweed/plain weave	50 % wool, 50 % polyester	1,27	0,04	310	899
11	Denim/hell weave	100 % cotton	1,16	—	467	25
12	Denim/hell weave	64 % cotton, 36 % polyester	1,17	—	480	123
13	Gabardine/hell weave	100 % cotton	0,91	—	390	50
14	Multi-component fabric shell: gabardine: kniting quilted	65 % polyester, 35 % cotton, 100 % nylon	4,32	—	—	126
15	Trot/warp knit	100 % nylon	0,31	0,009	90	25
16	Flannel/plain weave	100 % cotton	0,99	0,039	141	610
17	Print cloth/plain weave	100 % cotton	0,48	—	126	447
18	Fleece-backed double knit	100 % acrylic	3,34	—	241	1 661
19	Velour/brushed warp knit	80 % tricotatate, 20 % nylon	1,47	0,037	200	1 433
20	Terry cloth/warp stack tension plain weave	88 % cotton, 12 % polyester	3,13	0,071	335	681

INAIL

# I test in camera climatica - La giacca ventilata

## Caratteristiche della giacca



- Strato più esterno in **cotone**
- Nella parte posteriore è presente un secondo strato a **rete in poliestere**
- **2 ventole di diametro 8 cm** ciascuna alimentata da batterie agli ioni di Litio, con un voltaggio di 7.4V e capacità pari a 4400 mAh.  
Velocità delle ventole regolabile su **4 livelli**
- **8 aperture circolari aggiuntive** di diametro 1 cm sono presenti nella parte posteriore della giacca, poste a circa 4.5 cm di distanza (centro – centro)
- **2 tasche esterne e una zip** per tutta la lunghezza della giacca
- **Elastico** nella parte inferiore della giacca per far aderire la giacca nella zone dei glutei

# Dry tests e wet tests: i requirements delle F1291-16 e della F2370-16



Designation: F1291 - 16

Standard Test Method for  
Measuring the Thermal Insulation of Clothing Using a  
Heated Manikin<sup>1</sup>

## DRY TESTS

- **T<sub>a</sub>** < almeno 12 °C rispetto alla temperatura della superficie corporea del manichino (**T<sub>skin</sub>** = 35 °C)



**scambi di calore «secco»** (convezione, irraggiamento)

- **V<sub>a</sub>** = 0.4 ±0.1 m/s
- 30 % < **RH** < 70 % ± 5%, preferibilmente 50 %



I valori medi dei parametri ambientali in camera climatica sono stati:

- **T<sub>a</sub>** = 22.4 ±0.1 °C
- **v<sub>a</sub>** = 0.37 ± 0.03 m/s
- **RH** = 50.0 ± 1.6 %



Designation: F2370 - 16

Standard Test Method for  
Measuring the Evaporative Resistance of Clothing Using a  
Sweating Manikin<sup>1</sup>

## WET TESTS

- **T<sub>a</sub>** = **T<sub>skin</sub>** = 35 °C)



scambi di calore solo per **evaporazione**  
**Scambi di calore secco = 0**

- **V<sub>a</sub>** = 0.4 ±0.1 m/s
- **RH** = 40 ± 5%



I valori medi dei parametri ambientali in camera climatica sono stati:

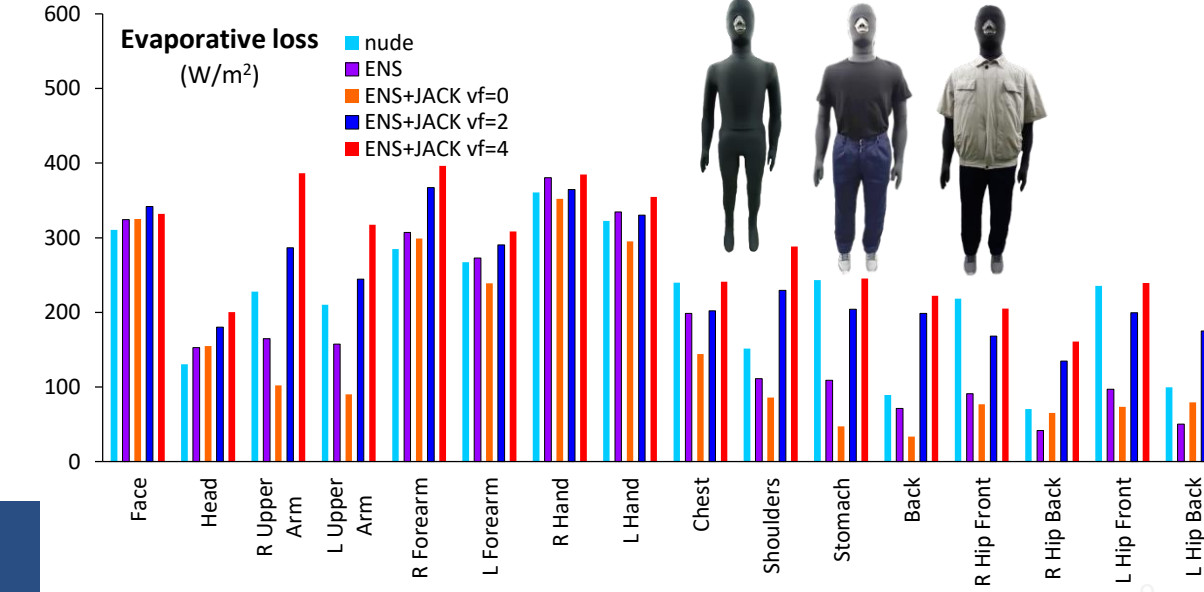
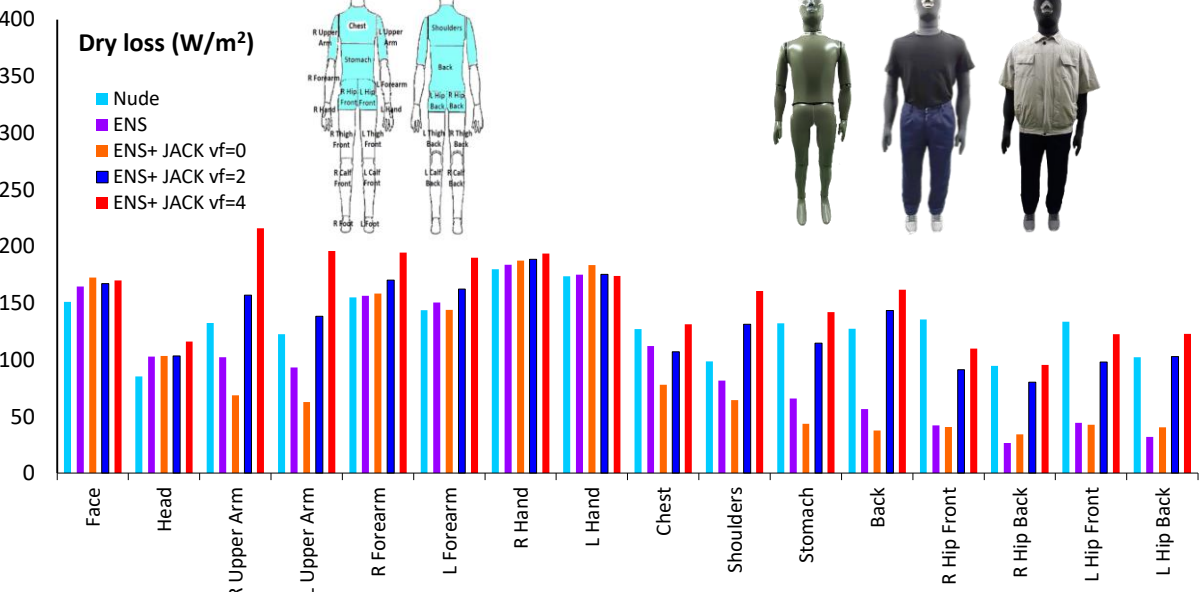
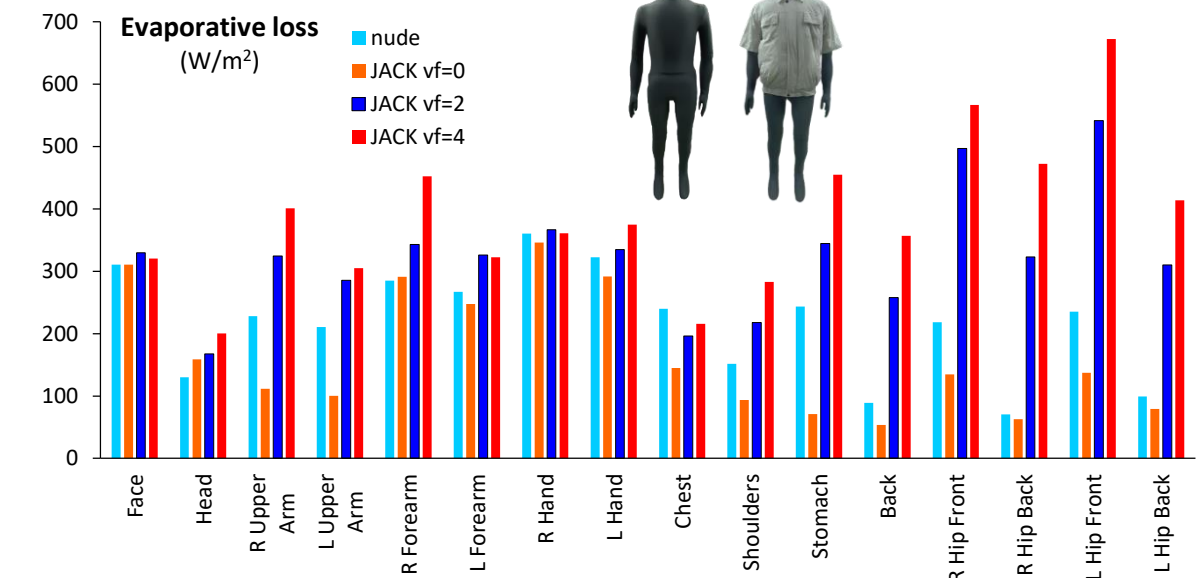
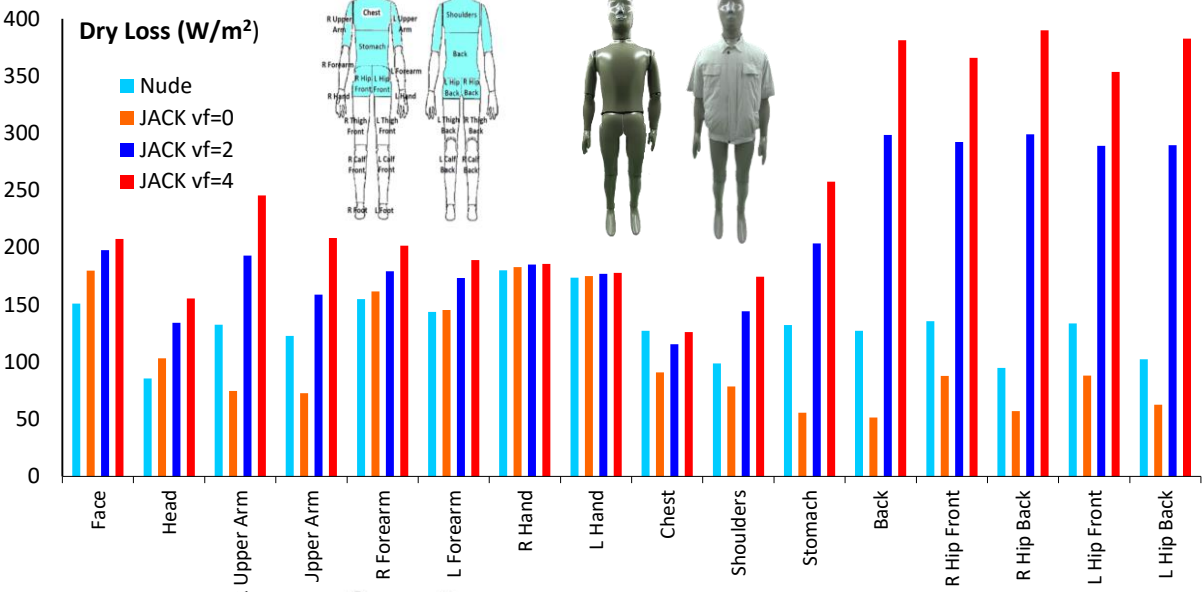
- **T<sub>a</sub>** = 35 ±0.3 °C
- **v<sub>a</sub>** = 0.35 ± 0.01 m/s
- **RH** = 40.0 ± 0.6 %



# Tests in camera climatica – risultati

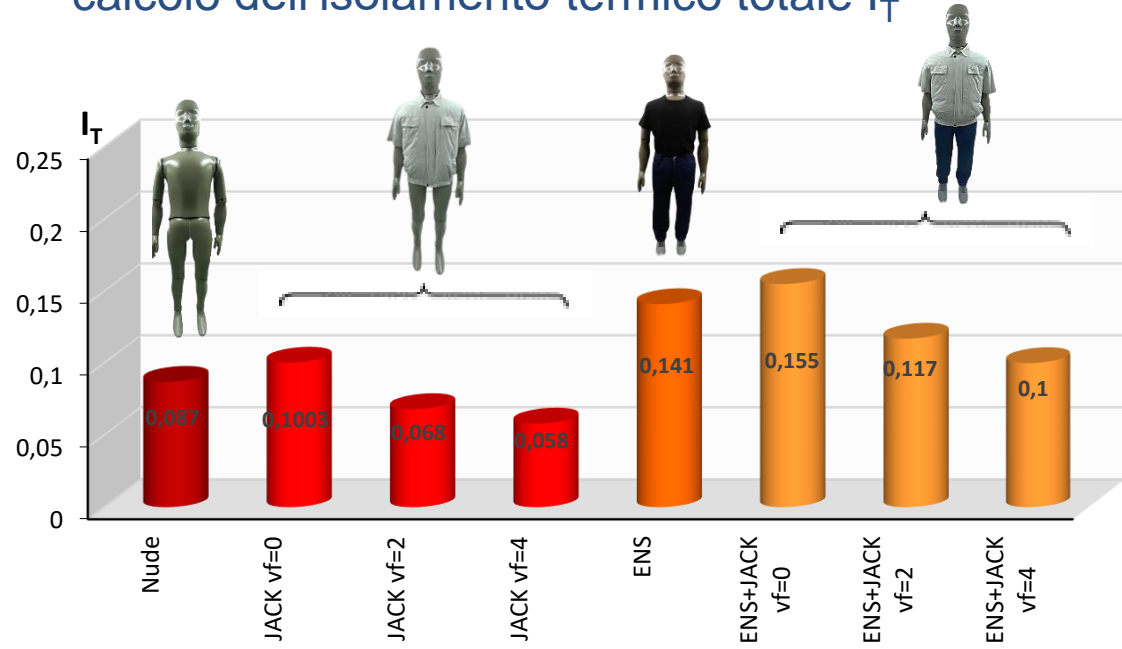
## DRY TESTS

## WET TESTS

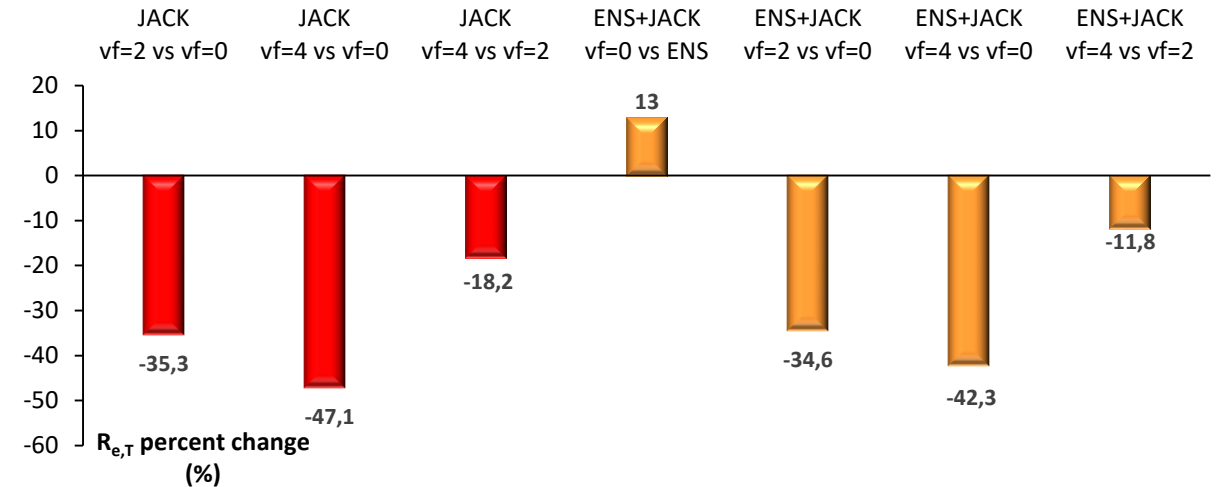
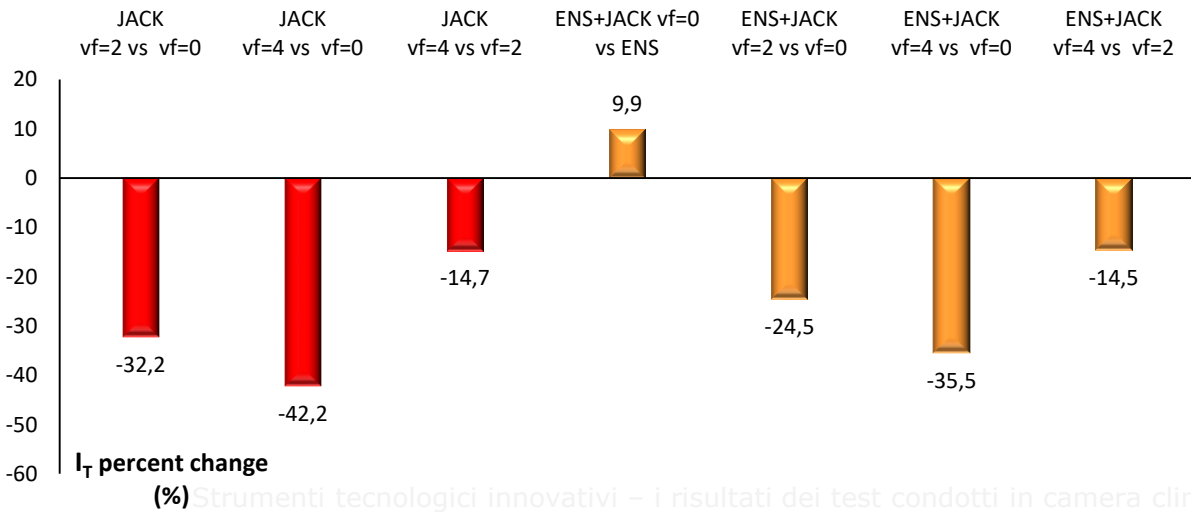
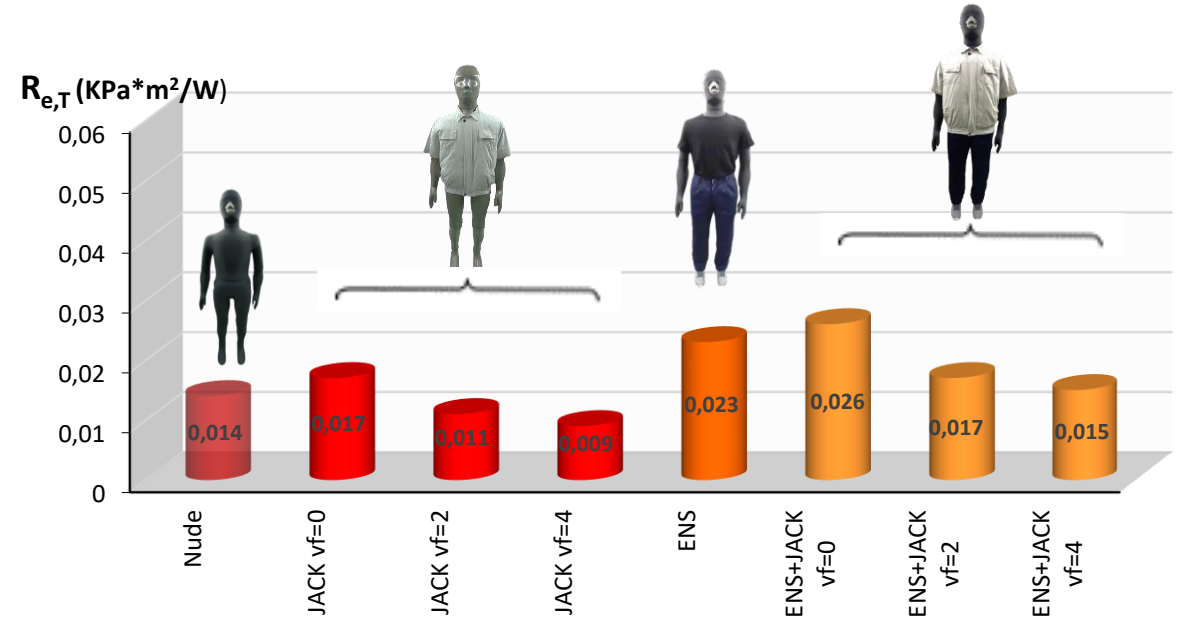


# Tests in camera climatica: risultati

## calcolo dell'isolamento termico totale $I_T$



## calcolo della resistenza evaporativa totale $R_{e,T}$



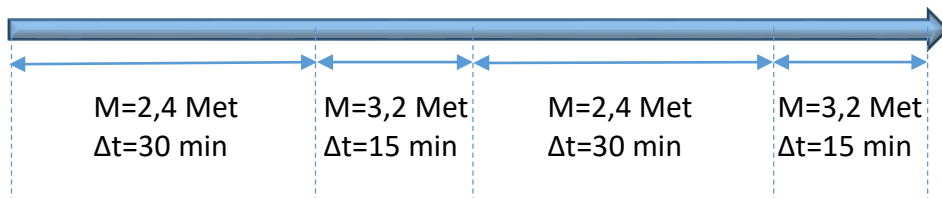
## Condizioni testate

### 2 livelli di temperatura:

- ✓  $t_a=30^{\circ}\text{C}$
- ✓  $t_a=34^{\circ}\text{C}$

### 3 livelli di metabolismo:

- ✓  $M=2,4\text{ Met}$
- ✓  $M=3,2\text{ Met}$
- ✓ workcycle



### 3 livelli di velocità delle ventole:

- ✓  $v = 0$
- ✓  $v = 2$
- ✓  $v = 4$



Test ventole spente



Test ventole accese



Test ventole spente

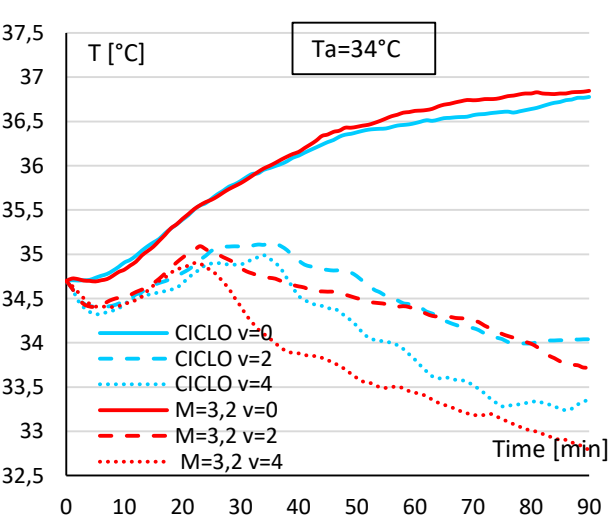
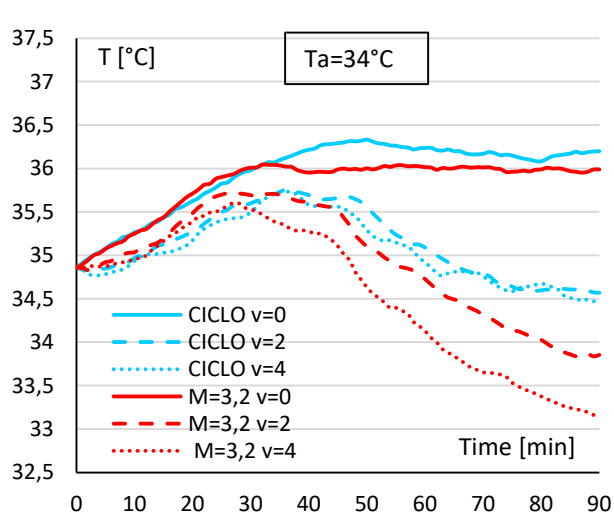
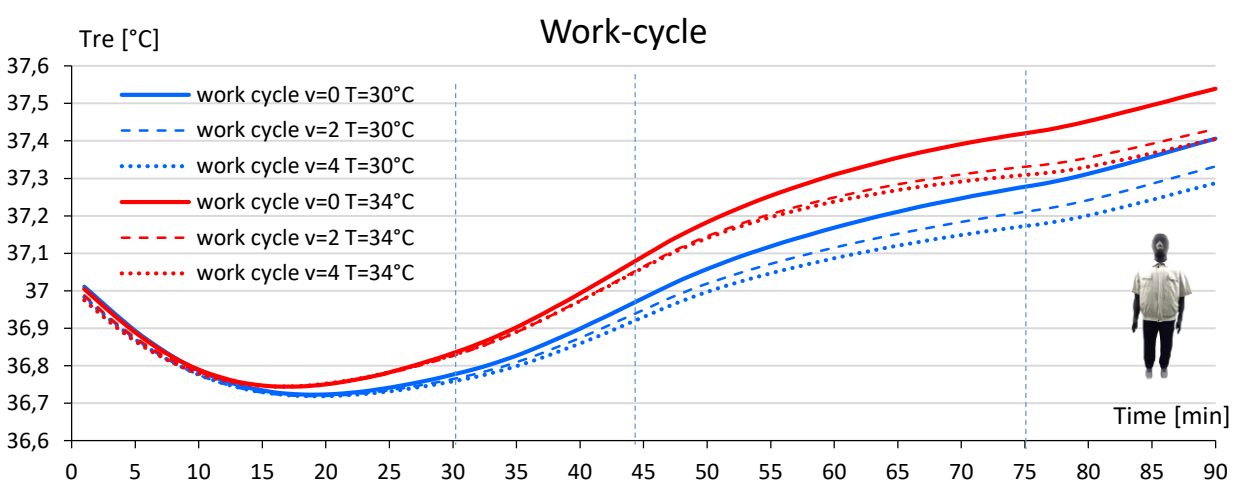
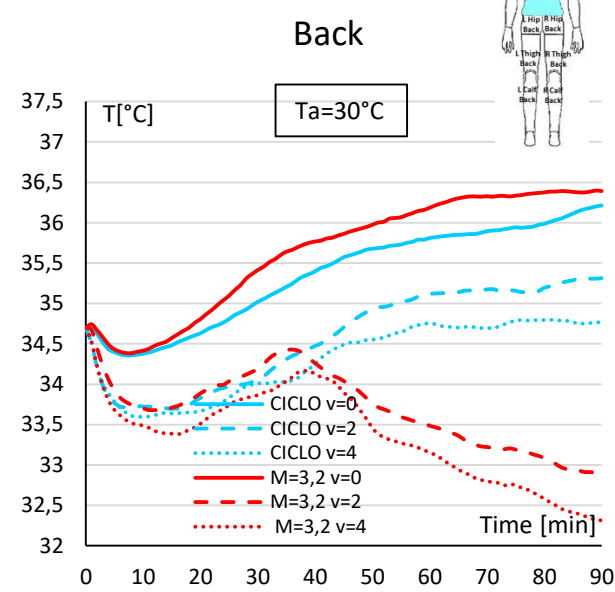
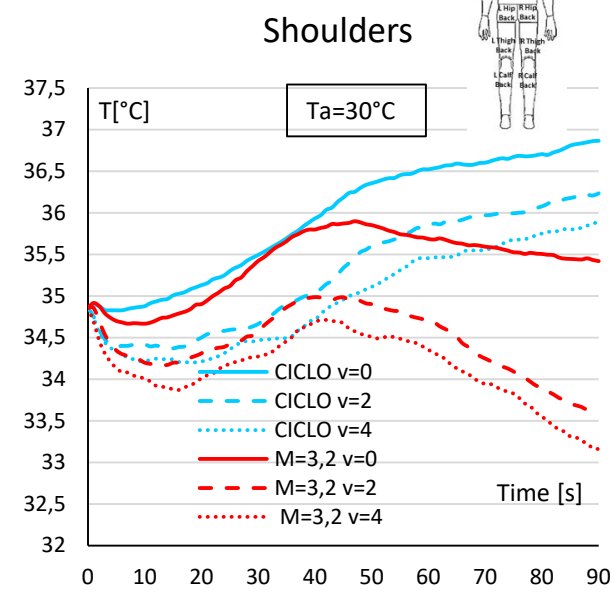
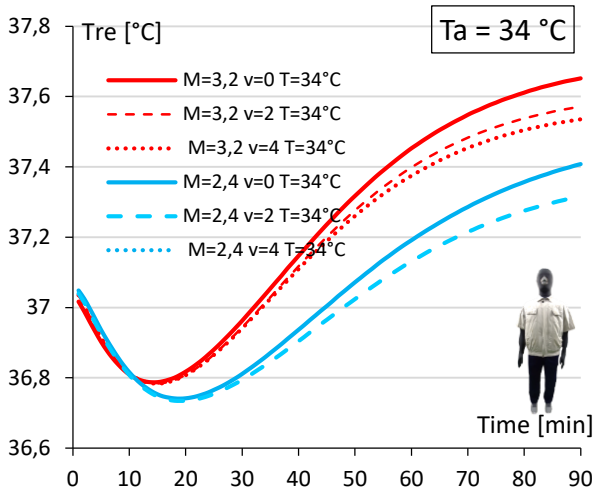
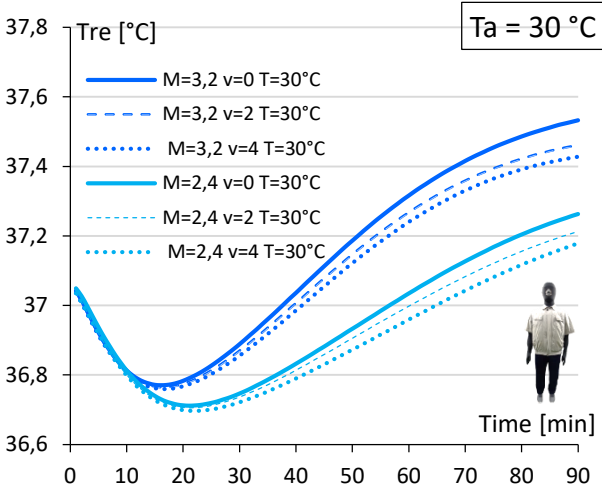


Test ventole accese

# Test fisiologici:



# Primissimi risultati



Strumenti tecnologici innovativi – i risultati dei test con giacche ventilate in camera climatica

Grazie per  
l'attenzione



International Journal of Industrial Ergonomics 86 (2021) 103230



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

International Journal of Industrial Ergonomics

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/ergon](http://www.elsevier.com/locate/ergon)



Cooling garments against environmental heat conditions in occupational fields: measurements of the effect of a ventilation jacket on the total thermal insulation

Simona Del Ferraro<sup>a,\*</sup>, Tiziana Falcone<sup>a,b</sup>, Marco Morabito<sup>c,d</sup>, Alessandro Messeri<sup>c,d</sup>, Michela Bonafede<sup>e</sup>, Alessandro Marinaccio<sup>e</sup>, Chuansi Gao<sup>f</sup>, Vincenzo Molinaro<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Laboratory of Ergonomics and Physiology, Department of Occupational and Environmental Medicine, Epidemiology and Hygiene, INAIL, Via Fontana Candida 1, 00073, Monte Porzio Catone (Rome), Italy

<sup>b</sup> Unit of Advanced Robotics and Human-Centred Technologies, Campus Bio-Medico University of Rome, Rome, Italy

<sup>c</sup> Institute of BioEconomy (IBE), National Research Council, Via Madonna Del Piano, 10, 50019, Sesto Fiorentino (FI), Italy

<sup>d</sup> Centre of Bioclimatology, University of Florence, Piazzale Delle Cascine 18, 50144, Florence, Italy

<sup>e</sup> Laboratory of Occupational and Environmental Epidemiology, Department of Occupational and Environmental Medicine, Epidemiology and Hygiene, INAIL, Via Stefano Gradi 55, 00143, Rome, Italy

<sup>f</sup> Thermal Environment Laboratory, Division of Ergonomics and Aerosol Technology, Department of Design Sciences, Faculty of Engineering, Lund University, Lund, Sweden