

# Lana e comfort termico: un'esperienza concreta in Toscana



**Marco Morabito**

**Istituto di Biometeorologia - Consiglio  
Nazionale delle Ricerche**



**Centro Interdipartimentale di  
Bioclimatologia - Università di Firenze**



- **COMfort e SOstenibilità Lane Autoctone TOscane (COM.SO.L.A.TO)**

**Obiettivo:** migliorare e valorizzare il prodotto lana, trasferendo ai produttori (pastori, allevatori, ecc.) informazioni e conoscenze aggiornate relative alle attività di raccolta, selezione, cernita, conservazione e lavorazioni della lana da essi prodotta.



- **Filiera del tessile Sostenibile II Fase**

**Obiettivo:** valutare l'utilizzo di lane da razze ovine locali per la creazione di tessuti con diverse caratteristiche e finalizzati a diversi settori d'impiego.



Accademia dei Georgofili - Logge Uffizi Corti 1  
Firenze, Mercoledì 8 Aprile 2015

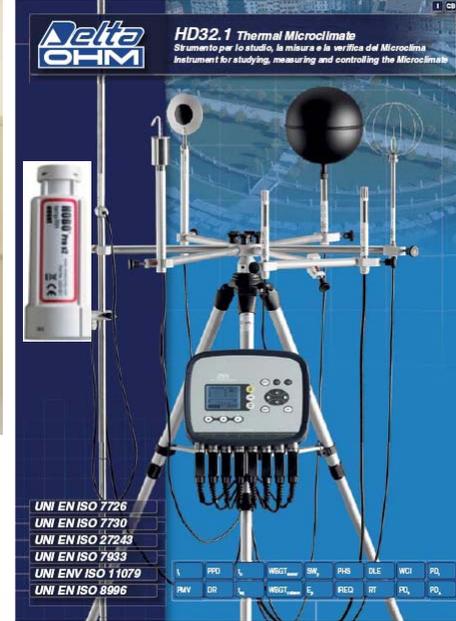


# Strumenti per l'innovazione del comfort termico legato all'abbigliamento

## Misure di resistenza termica dei tessuti



## Misurazioni microclimatiche



## Questionari di valutazione soggettiva comfort termico

CIBIC UNIFI - IRIME / CNR  
**Ibimet**  
 Thermal Comfort Test (TCT): Metodologia per la valutazione del comfort termico

Nome: \_\_\_\_\_  
 Cognome: \_\_\_\_\_  
 Data (giorno/mese/anno): \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_  
 Luogo: \_\_\_\_\_  
 Ora (1-24): \_\_\_\_ minuti (0-60): \_\_\_\_  
 Attività in svolgimento: \_\_\_\_\_  
 Situazione Indoor o outdoor?  In  Out

Descrizione accessori indossati		
(Indicare con una X nella cella)		
Accessori	SI	NO
Calzini corti		
Calzini lunghi		
Calze o calzoncchia		
Giacca		
Capello		
Scarpe		

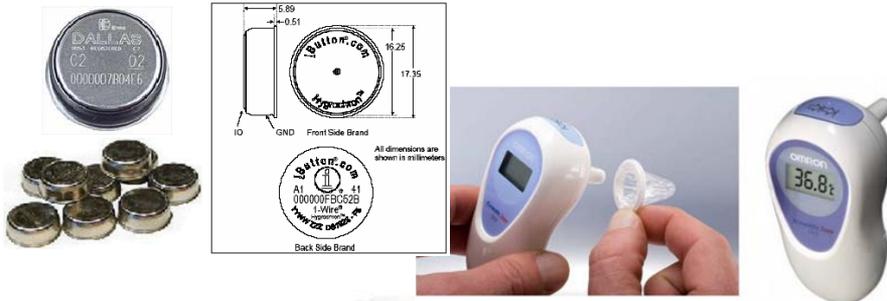
Descrizione strati di abbigliamento indossati (Indicare con una X nella cella)				
Strati di abbigliamento	TORSO		GAMBE	
	SI	NO	SI	NO
1° Strato				
2° Strato				
3° Strato				
4° Strato				
5° Strato				

Questionario COMFORT TERMICO (Indicare con una X la classe di risposta sotto)  
 Scala della risposta

Disagio da freddo	Assenza disagio		Disagio da caldo					
	Intenso	Moderato	Leggero	Intenso				
1	2	3	4	5				
1. Che livello di sensazione termica generale prova in questo momento?	1	2	3	4	5			
2. Che livello di sensazione termica locale prova in questo momento?	1	2	3	4	5			
	FACCIA	1	2	3	4	5	6	7
	SCHIENA	1	2	3	4	5	6	7
	PETTO	1	2	3	4	5	6	7
	ADDOME	1	2	3	4	5	6	7
	BRACCIA	1	2	3	4	5	6	7
	MANI	1	2	3	4	5	6	7
	GAMBE	1	2	3	4	5	6	7
	PIEDI	1	2	3	4	5	6	7

3. Ha un livello di sudorazione che le determina disagio?  SI  NO  
 4. Ha brividi?  SI  NO

## Misurazioni termofisiologiche



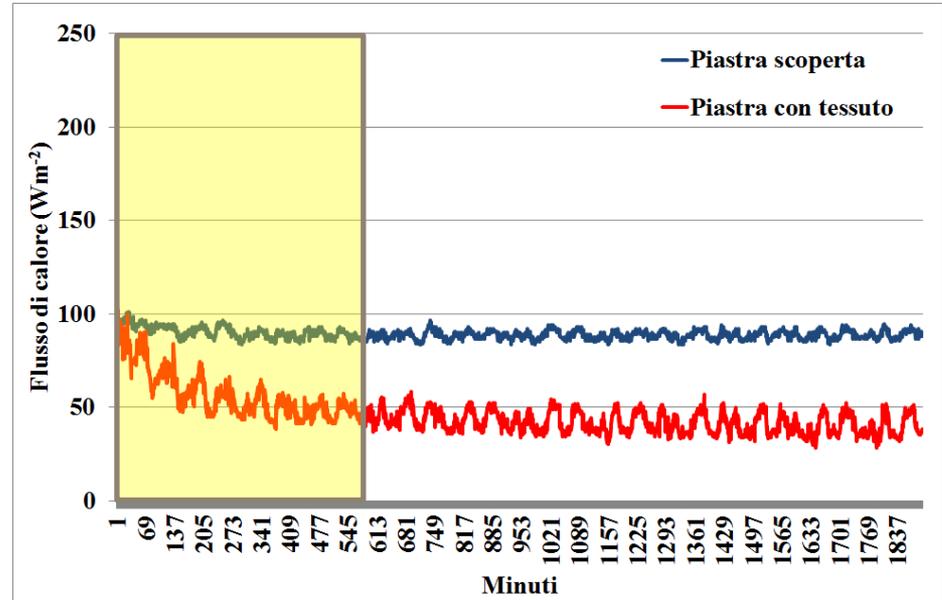
## Mapping termografico



# Valutazione proprietà termiche dei tessuti (1)

## Test su tessuti di lana sarda

## Risultati dei test su tessuti di lana sarda



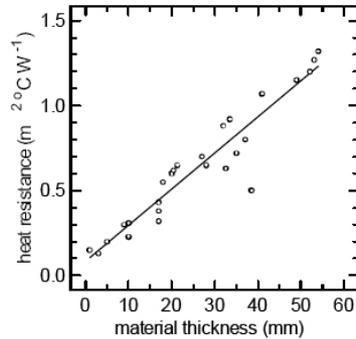
Articolo	% lana	% poliestere
S,1 DIS.2	70	30
S,1 DIS.4	70	30
S,1 DIS.5	70	30
S,1 DIS.13	70	30
S,1 DIS.8	70	30
S,1-2 DIS.3	80	20
S,2 DIS.5	87	13
S,2 DIS.6	87	13
S,2 DIS.7	87	13
S,3 DIS.10	88	12
S,3 DIS.11	88	12
S,3 DIS.12	88	12

Tessuti	T piastra (°C)	T IR (°C)	Ta (°C)	RH (%)	Sample Flux (Wm <sup>-2</sup> )	Reference flux (Wm <sup>-2</sup> )	clo (1 clo = 0.155 m <sup>2</sup> C/W)
S,1 DIS.2	33.3 (±0.0)	28.7 (±0.3)	15.0 (±0.1)	45.7 (±0.2)	100.9 (±10.9)	123.1 (±2.9)	0.30 (±0.04)
S,1 DIS.4	33.3 (±0.0)	28.2 (±0.3)	15.2 (±0.1)	45.1 (±0.2)	93.2 (±10.0)	122.3 (±2.8)	0.35 (±0.04)
S,1 DIS.5	33.3 (±0.0)	27.7 (±0.4)	14.7 (±0.3)	46.3 (±0.7)	112.6 (±11.7)	124.6 (±3.2)	0.32 (±0.04)
S,1 DIS.13	33.3 (±0.0)	28.5 (±0.3)	15.3 (±0.2)	43.6 (±0.2)	88.9 (±8.6)	121.2 (±2.9)	0.35 (±0.04)
S,1 DIS.8	33.3 (±0.0)	29.2 (±0.3)	18.9 (±0.1)	51.5 (±0.1)	56.6 (±5.8)	92.0 (±2.3)	0.48 (±0.06)
S,1-2 DIS.3	33.3 (±0.0)	29.0 (±0.2)	18.9 (±0.1)	51.4 (±0.1)	62.8 (±5.9)	91.8 (±2.0)	0.44 (±0.05)
S,2 DIS.5	33.3 (±0.0)	28.8 (±0.2)	18.6 (±0.1)	50.5 (±0.2)	58.3 (±6.3)	93.1 (±2.6)	0.50 (±0.06)
S,2 DIS.6	33.3 (±0.0)	28.6 (±0.3)	18.7 (±0.1)	51.4 (±0.1)	51.9 (±6.1)	90.2 (±2.4)	0.59 (±0.08)
S,2 DIS.7	33.3 (±0.0)	27.7 (±0.3)	14.8 (±0.2)	46.3 (±0.4)	97.9 (±10.3)	126.4 (±2.4)	0.37 (±0.04)
S,3 DIS.10	33.3 (±0.0)	27.1 (±0.3)	18.5 (±0.1)	51.0 (±0.1)	41.7 (±5.7)	88.8 (±2.3)	0.98 (±0.14)
S,3 DIS.11	33.3 (±0.0)	27.5 (±0.3)	18.6 (±0.1)	51.0 (±0.2)	43.9 (±5.7)	89.5 (±2.6)	0.87 (±0.12)
S,3 DIS.12	33.3 (±0.0)	27.3 (±0.3)	18.5 (±0.1)	50.1 (±0.1)	44.0 (±5.3)	90.5 (±2.4)	0.89 (±0.12)



# Valutazione proprietà termiche dei tessuti (2)

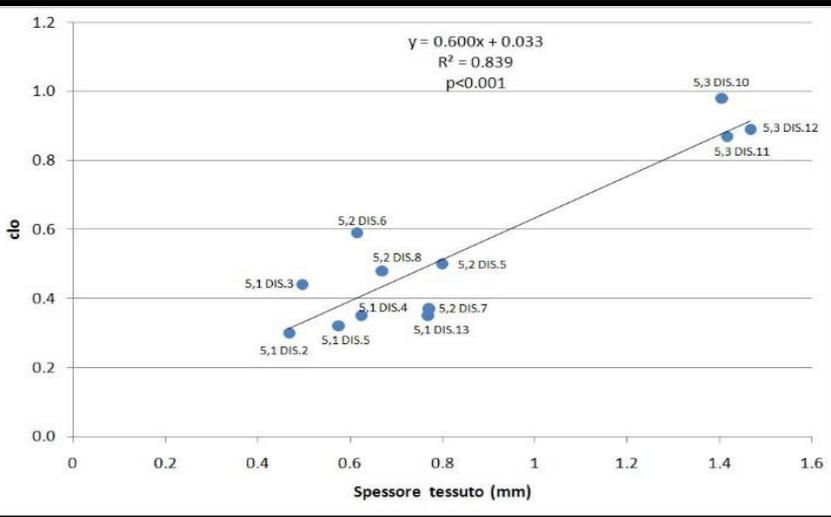
Relazione tra spessore e valore di resistenza termica di tessuti in lana sarda



## Test su tessuti di lana zerasca



Tessuto	Composizione tessuto
Tessuto 1	Lana zerasca + juta
Tessuto 2	Solo lana zerasca
Tessuto 3	Lana zerasca + canapa
Tessuto 4	Lana zerasca + cotone



## Risultati dei test su tessuti di lana zerasca

Tessuti	T piastra (°C)	T IR (°C)	Ta (°C)	RH (%)	Sample Flux (Wm <sup>-2</sup> )	Reference flux (Wm <sup>-2</sup> )	clo (1 clo = 0.155 m <sup>2</sup> C W <sup>-1</sup> )
<u>Tes. 1</u>	33.5 (±0.0)	29.2 (±0.4)	18.6 (±0.2)	44.4 (±0.3)	66.6 (±14.4)	93.8 (±4.6)	0.45 (±0.09)
<u>Tes. 2</u>	33.5 (±0.0)	28.6 (±0.4)	17.2 (±0.1)	45.3 (±0.2)	84.9 (±16.5)	111.2 (±5.3)	0.39 (±0.08)
<u>Tes. 3</u>	33.5 (±0.0)	28.3 (±0.4)	17.6 (±0.2)	45.2 (±0.6)	78.9 (±17.0)	108.8 (±5.2)	0.44 (±0.10)
<u>Tes. 4</u>	33.4 (±0.0)	29.2 (±0.3)	16.7 (±0.3)	47.0 (±0.6)	102.2 (±16.5)	112.6 (±4.3)	0.28 (±0.05)



# Valutazione del comfort termico durante test effettuati con capi di abbigliamento realizzati con lane provenienti da allevamenti locali di razza sarda (1)

## Test effettuati

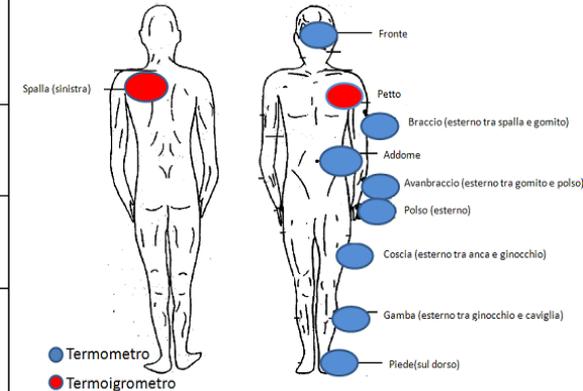
Luogo	Ambiente riscaldato	N. soggetti coinvolti
Università di Agraria	SI	6
Università di Agraria	NO	5
Consiglio Nazionale delle Ricerche	SI	3
Consiglio Nazionale delle Ricerche	NO	3



## Protocollo test

Durata test	2 ore Il test andrebbe effettuato al mattino (tra le 8:00 e le 13:00) dopo aver fatto colazione. Durante il test non si deve mangiare e se si beve va annotato sul questionario. Bisogna svolgere "tranquilla" attività d'ufficio, meglio se a sedere (anche questo andrà specificato nel questionario)
Abbigliamento uomo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maglietta intimo (cotone) a maniche corte</li> <li>• Maglia in microfibra (le fornirà la Martina)</li> <li>• Giacca (o Gilet) (quella da testare)</li> <li>• Jeans</li> <li>• Calzini lunghi cotone</li> </ul>
Abbigliamento donna	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maglietta intimo cotone</li> <li>• Maglia in microfibra (le fornirà la Martina)</li> <li>• Giacca (quella da testare)</li> <li>• Jeans</li> <li>• Calzini lunghi cotone</li> </ul>
Sensori Skin temperature	10 sensori: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Addome (termoigrometro)</li> <li>• Spalla (termoigrometro)</li> <li>• Petto sx (termometro)</li> <li>• Braccio sx (termometro tra spalla e gomito, sull'esterno)</li> <li>• Avambraccio sx (termometro tra gomito e polso, sull'esterno)</li> <li>• Polso sx (termometro sull'esterno)</li> <li>• Fronte (termometro)</li> <li>• Coscia (termometro)</li> <li>• Gamba (termometro)</li> <li>• Piede (termometro)</li> </ul>
Misura temperatura timpanica	Misurazione ogni 30 minuti
Termografia	3 volte: immagine frontale; laterale; dorsale <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inizio test</li> <li>• 1 h</li> <li>• 2 h (fine test)</li> </ul>
Questionario	Da compilare 3 volte (oltre a riportare il range orario in cui si è stati a sedere e in piedi e se si è bevuto). <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inizio test</li> <li>• 1 h</li> <li>• 2 h (fine test)</li> </ul>
Monitoraggio ambientale	1 Hobo per postazione + stazione microclimatica (per misura temperatura media radiante!)

## Posizionamento sensori misura temperatura della pelle



## Calcolo della temperatura media della pelle (Colin and Houdas 1967)

$$0.06t_{sk, A} + 0.12t_{sk, C} + 0.12t_{sk, E} + 0.12t_{sk, M} + 0.08t_{sk, D} + 0.06t_{sk, F} + 0.05t_{sk, G} + 0.19t_{sk, H} + 0.13t_{sk, J} + 0.07t_{sk, K}$$



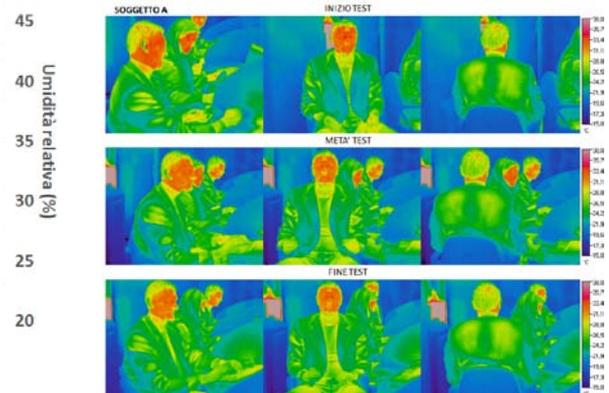
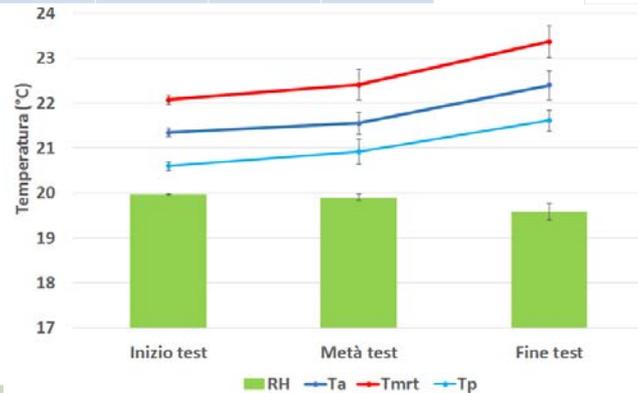
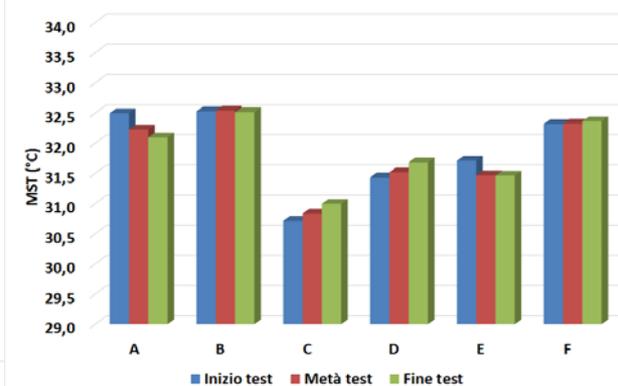
# Valutazione del comfort termico durante test effettuati con capi di abbigliamento realizzati con lane provenienti da allevamenti locali di razza sarda (2)

## Temperatura della pelle nei vari segmenti corporei

Parti del corpo	Variabili	Soggetti					
		A	B	C	D	E	F
Addome	Ta	31.8±(0.2)	34.2±(0.5)	32.7±(1.0)	35.1±(0.8)	33.8±(0.4)	33.5±(0.6)
	RH	88.8±(0.7)	73.8±(2.5)	68.3±(2.7)	68.6±(1.0)	70.6±(1.4)	72.4±(2.2)
Spalla	Ta	34.8±(0.1)	33.6±(0.2)	34.4±(0.4)	34.4±(0.3)	33.5±(0.3)	33.9±(0.3)
	RH	89.0±(0.8)	52.6±(4.4)	68.9±(3.7)	64.6±(1.6)	63.6±(3.9)	84.4±(4.1)
Fronte	Ta	33.7±(0.3)	33.1±(0.2)	33.5±(0.3)	33.3±(0.2)	33.8±(0.2)	33.6±(0.3)
Petto	Ta	34.7±(0.2)	34.4±(0.2)	34.8±(0.4)	34.6±(0.2)	34.3±(0.3)	35.0±(0.3)
Braccio	Ta	33.0±(0.5)	34.1±(0.1)	30.1±(0.5)	31.1±(0.5)	31.7±(0.2)	33.3±(0.4)
Avambraccio	Ta	33.7±(0.3)	33.6±(0.2)	29.6±(0.4)	32.2±(0.5)	33.4±(0.3)	34.9±(0.2)
Mano	Ta	28.0±(0.7)	28.2±(0.3)	28.4±(0.3)	28.3±(0.6)	28.2±(0.4)	29.4±(0.8)
Coscia	Ta	31.0±(0.6)	31.2±(0.1)	28.3±(0.3)	29.5±(0.3)	30.0±(0.3)	30.3±(0.2)
Gamba	Ta	30.6±(0.6)	31.6±(0.3)	28.2±(0.5)	29.4±(0.4)	29.8±(0.7)	33.0±(0.4)
Piede	Ta	30.7±(1.0)	29.9±(0.7)	27.7±(0.9)	25.5±(0.9)	25.9±(1.4)	25.0±(1.3)

Soggetti	Temperatura timpanica (°C)				
	Inizio test	30 min	60 min	120 min	180 min
A	36.6±(0.1)	36.6±(0.2)	36.7±(0.1)	36.6±(0.3)	36.6±(0.2)
B	36.6±(0.2)	36.7±(0.2)	36.4±(0.2)	36.5±(0.1)	36.5±(0.1)
C	36.8±(0.1)	36.9±(0.3)	36.5±(0.2)	36.8±(0.2)	37.0±(0.1)
D	36.3±(0.1)	36.2±(0.1)	35.8±(0.2)	36.3±(0.1)	36.4±(0.1)
E	36.5±(0.3)	36.7±(0.2)	36.5±(0.1)	36.7±(0.3)	36.5±(0.3)

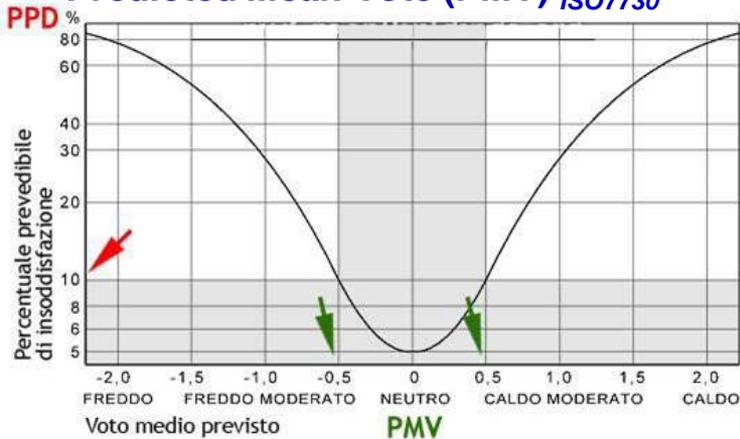
Andamento della temperatura media della pelle (MST) nei vari soggetti e nelle varie fasi del test



# Valutazione del comfort durante test effettuati con capi di abbigliamento realizzati con lane provenienti da allevamenti locali di razza sarda (3)

Applicazione di indici biometeorologici per la valutazione oggettiva del comfort termico globale

## Applicazione dell'indice Predicted Mean Vote (PMV) ISO7730



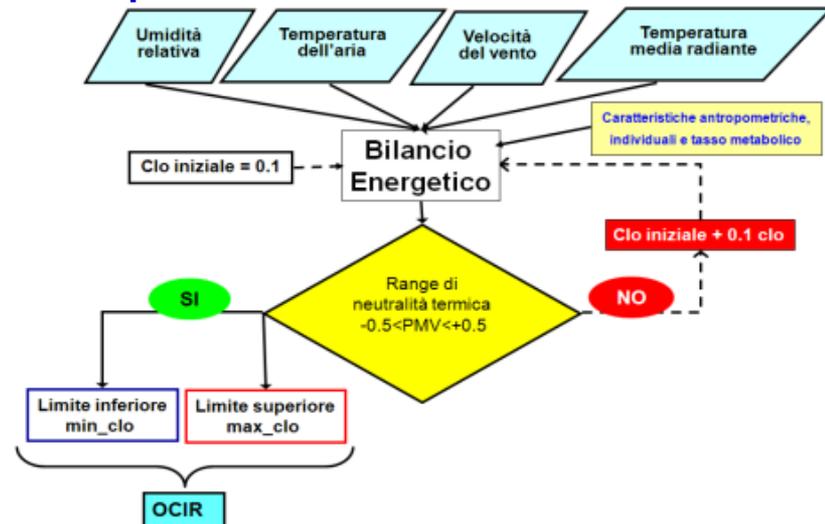
Voto	Sensazione termica
+3	Molto caldo
+2	Caldo
+1	Leggermente caldo
0	Neutro
-1	Leggermente fresco
-2	Fresco
-3	Freddo

Tasso metabolico fissato a **130 W**  
 "basso tasso metabolico"  
 leggere attività d'ufficio

## Valori di resistenza termica delle giacche e complessivi dei capi indossati ISO9920

Soggetto	Abbigliamento	Tessuto	Composizione tessuto	clo	Soggetto	Test	clo
A	Giacca	S,1 DIS. 5	70% lana e 30% poliestere	0,160	A	15/01/2013 – 28/01/2013	0,533
A	Gilet	S,2 DIS. 7	87% lana e 13% poliestere	0,078	A	14/02/2013 – 15/02/2013	0,597
B	Giacca	S,1 DIS. 8	70% lana e 30% poliestere	0,240	B	15/01/2013 – 28/01/2013	0,599
B	Gilet	S,3 DIS. 12	88% lana e 12% poliestere	0,187	B	14/02/2013 – 15/02/2013	0,752
C	Giacca	S,3 DIS. 11	88% lana e 12% poliestere	0,435	C	15/01/2013 – 28/01/2013	0,767
C	Giacca	S,3 DIS. 10	88% lana e 12% poliestere	0,490	C	14/02/2013 – 15/02/2013	0,812
D	Giacca	S,1-2 DIS. 3	80% lana e 20% poliestere	0,220	D	15/01/2013 – 28/01/2013	0,590
E	Giacca	S,1-2 DIS. 3	80% lana e 20% poliestere	0,220	E	15/01/2013 – 28/01/2013	0,590
F	Giacca	S,3 DIS. 12	88% lana e 12% poliestere	0,445	F	15/01/2013	0,775

## Calcolo del range ottimale di isolamento termico del vestiario necessario per rimanere in condizioni di neutralità termica



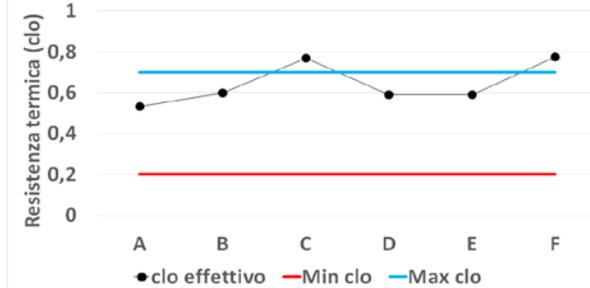
# Valutazione del comfort durante test effettuati con capi di abbigliamento realizzati con lane provenienti da allevamenti locali di razza sarda (4)

## Applicazione di indici biometeorologici per la valutazione oggettiva del comfort termico globale

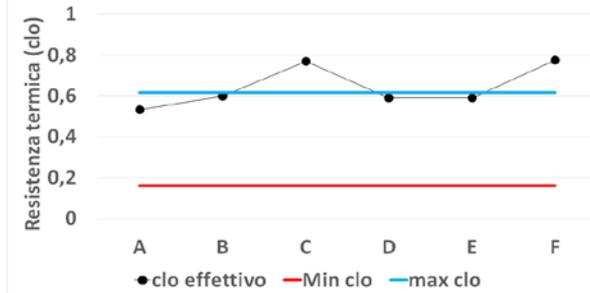
VALUTAZIONE DEL COMFORT TERMICO (PMV)  
DURANTE IL PRIMO TEST



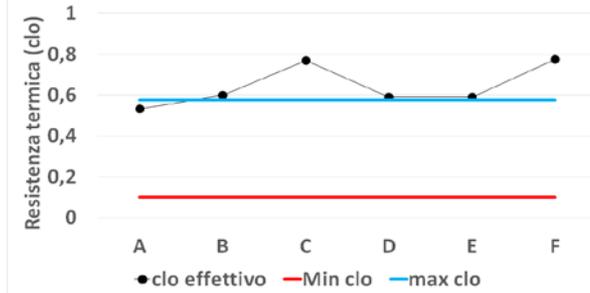
Optimal Clothing Insulation Range a  
inizio test



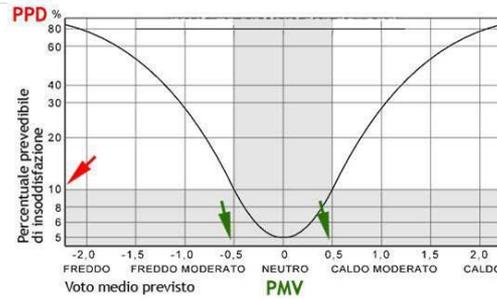
metà test



fine test



Voto	Sensazione termica
+3	Molto caldo
+2	Caldo
+1	Leggermente caldo
0	Neutro
-1	Leggermente fresco
-2	Fresco
-3	Freddo



# Conclusioni relative alla valutazione del comfort durante i test

- L'indice PMV è aumentato progressivamente (verso condizioni di leggero disagio da caldo) durante le varie fasi in tutti i test, con un aumento significativo dall'inizio alla fine del test.
- In molti test i soggetti indossavano abiti con un livello di resistenza termica ottimale nella fase iniziale del test, ma che diventava troppo alto (soggetti troppo vestiti) nelle fasi intermedie e soprattutto finali dei test.
- Capi sviluppati con lana proveniente da allevamenti locali di razza sarda possono, con alcuni accorgimenti comportamentali (ad es. alleggerendo il numero di capi nel corso della mattinata), essere utilizzati efficacemente durante attività lavorative di ufficio nel periodo invernale.

***La biometeorologia,  
anche attraverso le ricerche nel campo del comfort termico,  
può fornire un valore aggiunto mirato alla valorizzazione  
della lana, e delle fibre naturali in genere, fornendo un valido  
contributo al servizio delle imprese e dei consumatori.***



# Vi ringrazio per l'attenzione!

*Per informazioni:*

*Marco Morabito*

*Ricercatore Istituto di Biometeorologia -Consiglio Nazionale delle Ricerche*

*[m.morabito@ibimet.cnr.it](mailto:m.morabito@ibimet.cnr.it); [marco.morabito@unifi.it](mailto:marco.morabito@unifi.it)*

