

FIBRE SINTETICHE

nuovi prodotti e nuove performance



Il concetto di Comfort

IL CONCETTO DI COMFORT

Come passare dalla
sensazione ad una
valutazione oggettiva

Dr. Leopoldo Corsi
Ing. Luca Lombardi

Bilancio di calore (1)



- ➡ Il corpo deve essere mantenuto in equilibrio termico:
 - Al calore metabolico generato insieme con quello generato dalle sorgenti esterne deve corrispondere un'equivalente perdita di calore dal corpo**
- ➡ Se il calore guadagnato e quello perduto non sono in equilibrio, la temperatura corporea diminuirà o crescerà conducendo a gravi problemi per la vita

Bilancio di calore (2)



- ➡ L'efficienza dell'organismo umano è tale che, dell'energia presa dal cibo, solo il 15-30% è convertita in lavoro utile. Il rimanente 70-85% viene dispersa sotto forma di calore.
- ➡ Ogni livello di attività fisica al di sopra di quella necessaria per mantenere la temperatura corporea risulterà in un eccesso di calore che dovrà essere dissipato altrimenti la temperatura corporea aumenterà
- ➡ Un livello più basso di attività fisica condurrà ad un abbassamento della temperatura se il calore disponibile non è conservato dall'aumento dell'irraggiamento

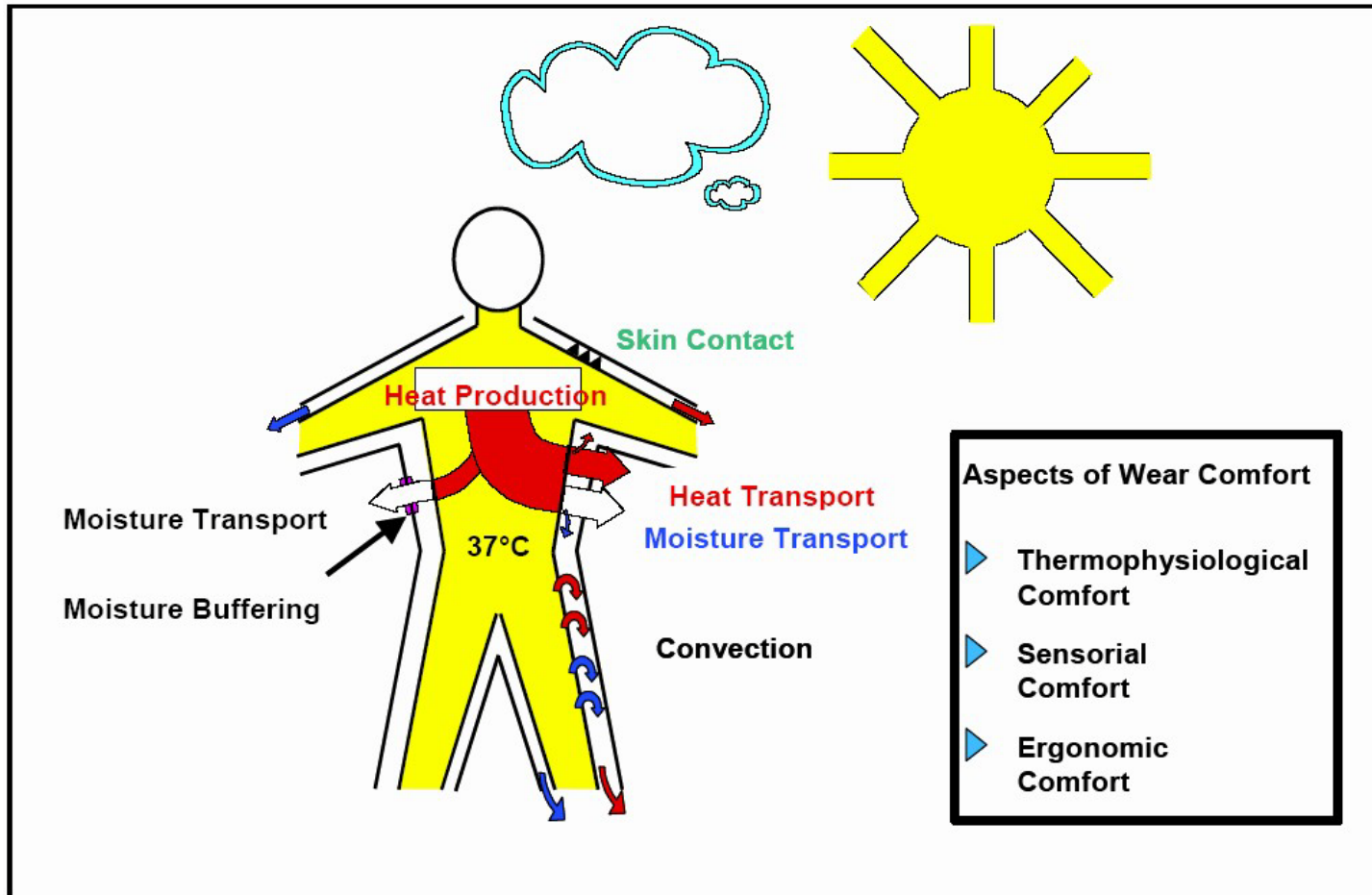
Bilancio energetico sul corpo umano



$$S = M - W - E_{res} - C_{res} - C - R - E - K \quad [W]$$

- S = accumulo di energia termica nell'unità di tempo o variazione di energia interna del corpo umano nell'unità di tempo;
- M = metabolismo energetico;
- W = potenza meccanica che il corpo umano cede all'ambiente;
- E_{res} = potenza termica dispersa nella respirazione come "calore latente";
- C_{res} = potenza termica dispersa nella respirazione come "calore sensibile";
- C = potenza termica dispersa per convezione;
- R = potenza termica dispersa per irraggiamento;
- E = potenza termica dispersa per evaporazione dalla pelle;
- K = potenza termica dispersa per conduzione.

Bilancio energetico sul corpo umano



Perdita di calore



$$S = M - W - E_{\text{res}} - C_{\text{res}} - C - R - E - K \quad [\text{W}]$$

Ci sono 4 meccanismi che permettono al corpo di cedere calore all'ambiente al fine di mantenere l'equilibrio termico.

1. **K - Conduzione:** contatto diretto con un'altra sostanza (la velocità dipende dalla differenza di temperatura)
2. **C - Convezione:** il calore è trasferito da un fluido in movimento (l'aria in contatto con il corpo è scaldata per conduzione ed è poi portata via dal corpo per convezione)
3. **R - Irraggiamento:** non prevede contatto diretto tra gli scambiatori e non necessita di un mezzo per propagarsi. Avviene sotto forma di onde elettromagnetiche. È trascurabile come meccanismo di perdita di calore.
4. **E - Evaporazione**

4. E - Evaporazione



- ➡ Il passaggio di fase da acqua liquida in vapore acqueo richiede una grande quantità di energia sotto forma di calore:

Ci vogliono 2024 J (580 calorie) per far evaporare un grammo di acqua alla temperatura corporea.

- ➡ Quando l'acqua evapora dalla superficie della pelle, l'energia richiesta è rimossa dalla pelle che così si raffredda.

Equilibrio termico ed abbigliamento



- ➡ L'abbigliamento gioca un ruolo importante nel mantenimento dell'equilibrio termico in quanto modifica le perdite di calore dalla superficie della pelle e nello stesso tempo ha un effetto secondario nell'alterare le perdite di umidità dalla pelle
- ➡ Comunque **nessun abbigliamento è adatto a tutte le occasioni**: un tipo di abbigliamento che di solito è adatto ad un clima è completamente inadatto per un altro.



Metodi di misura del comfort termofisiologico

- ➡ Metodo della piastra calda sudante (Sweating guarded hot plate o Skin Model): UNI EN ISO 31092:1996 e ASTM F1868.
- ➡ Partizione del corpo umano: stivale, guanto, torso etc. Ciascuna parte può essere sudante o no. Fare riferimento al manichino per le norme.
- ➡ Manichino, sia sudante che non: ASTM F1720:96 (sacchi a pelo), ASTM 1291:99 etc. Queste stesse norme possono essere impiegate per gestire l'utilizzo dei componenti separati (vedi punto precedente).

Skin Model (1)



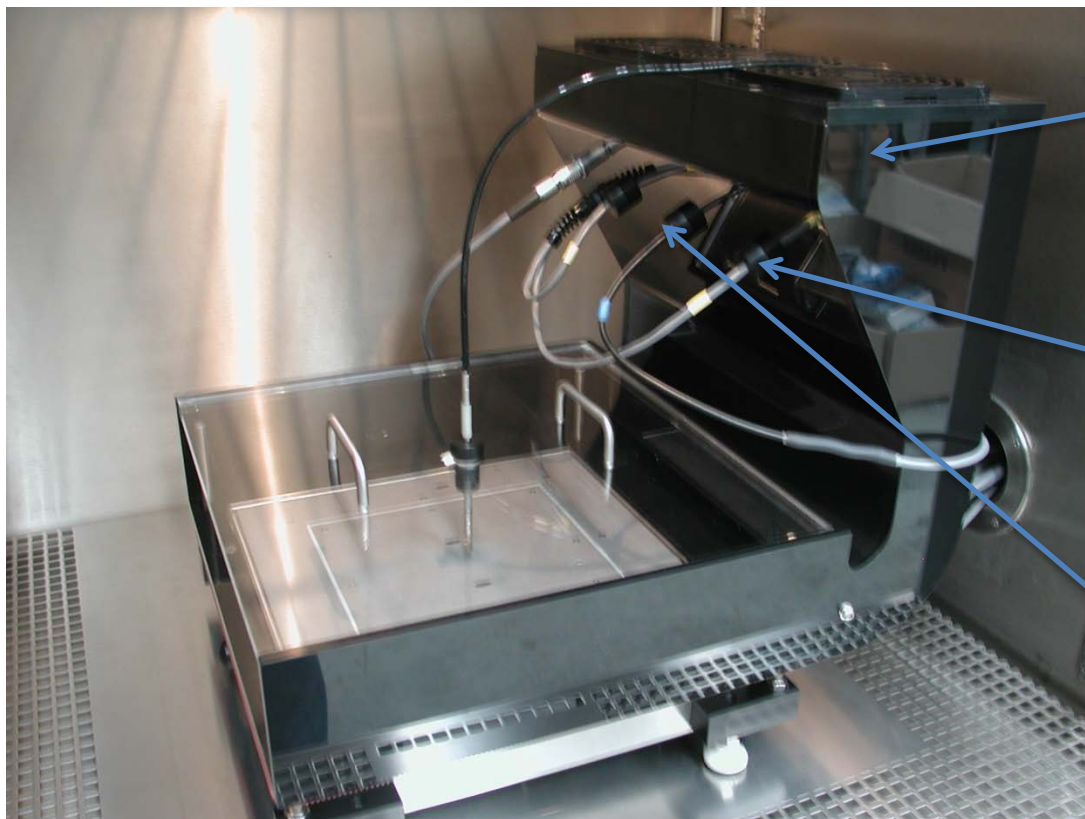
Il nome vero dell'apparecchio è “***Piastra sudante calda munita di guardia***” (traduzione di sweating guarded hot plate). La denominazione skin model per quanto ormai accettata da tutti non è corretta dato che l'apparecchio non è in grado di mimare al 100% la pelle umana. Inoltre con skin model si intende più spesso i modelli matematici su cui si basano le simulazioni realizzate con computers.

Skin Model (2)



- ➡ Lo skin model consente la misura di R_{ct} e R_{et} espresse rispettivamente in m^2K/W e m^2Pa/W .
- ➡ La misura deve avvenire in un ambiente in cui si possa controllare umidità relativa (UR%) e temperatura ($^{\circ}C$ o K).
- ➡ Le misure sono realizzate in accordo con la norma UNI EN ISO 31092:1996.

Lo strumento nel complesso (1)

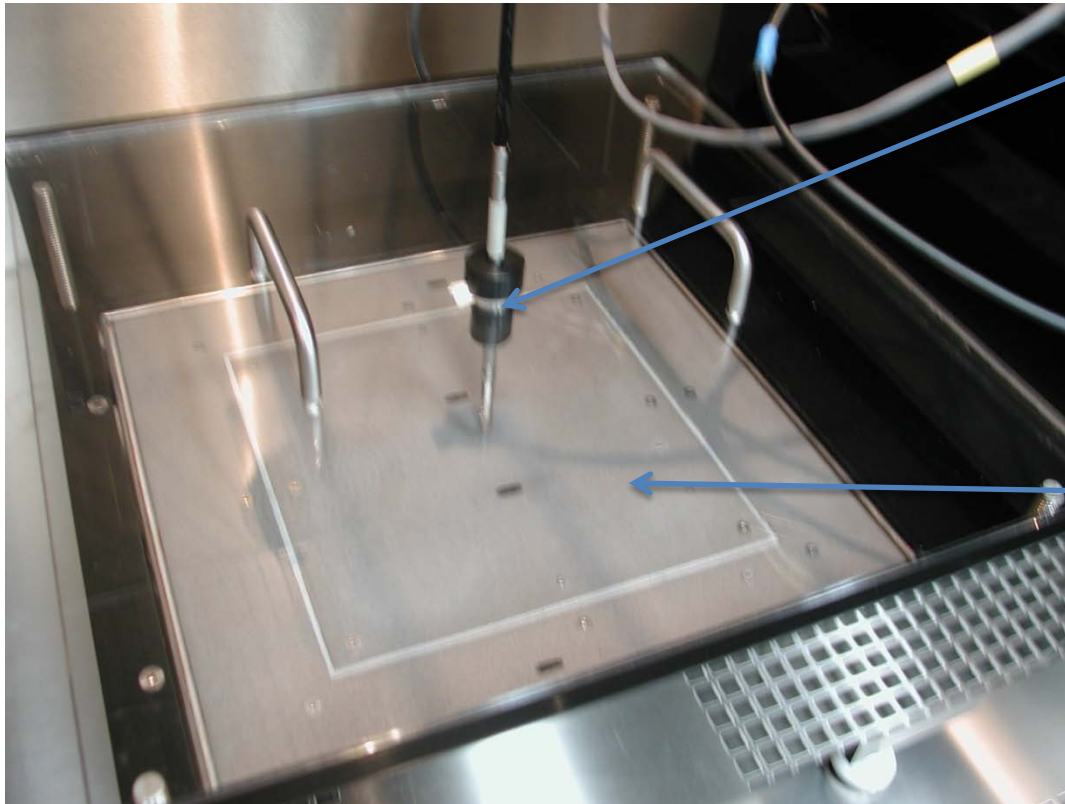


Dispositivo per la produzione della "lama" d'aria

Sensore temperatura

Sensore umidità

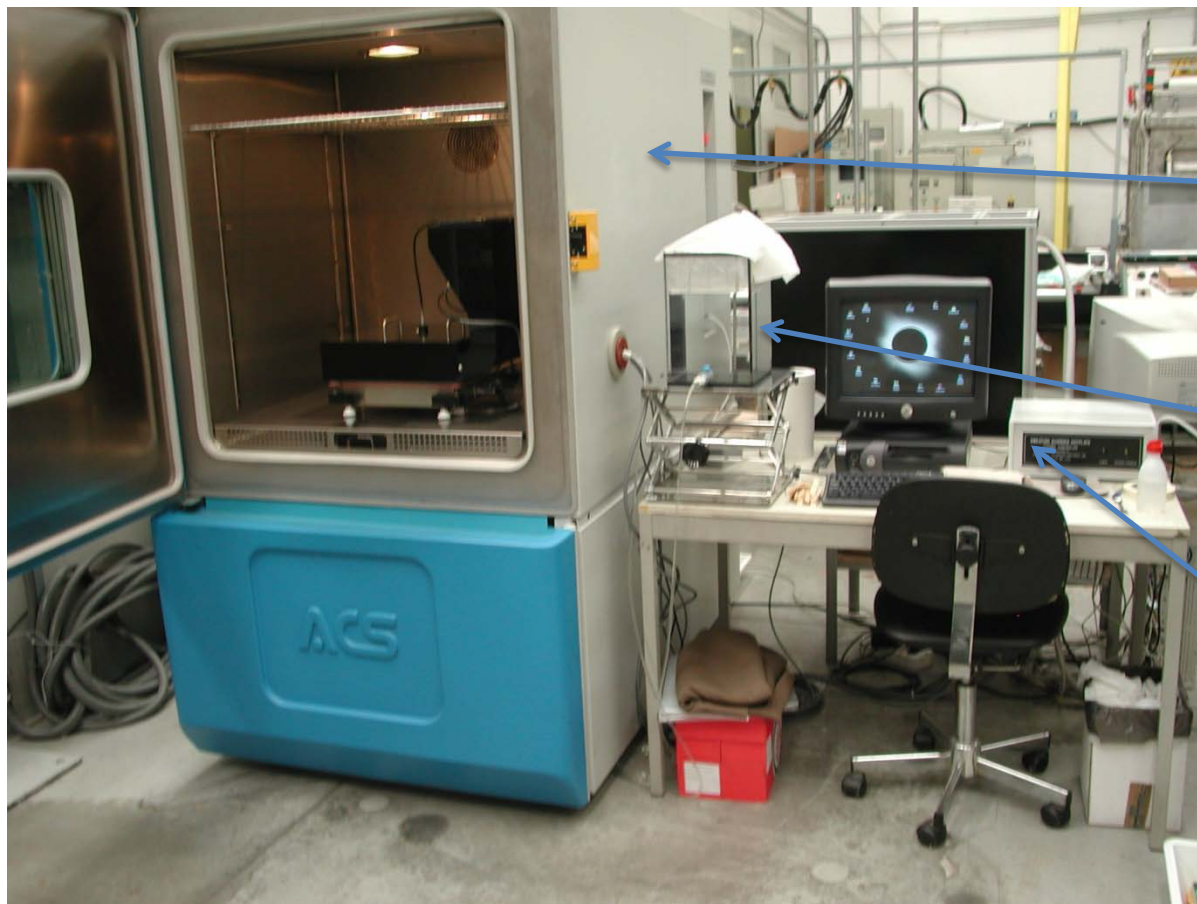
Lo strumento nel complesso (2)



Sensore velocità aria

Piastra su cui posizionare il campione. Il quadrato interno è la zona di misura, la cornice è la guardia.

Lo strumento nel complesso (3)



Camera
climatica

Riserva
d'acqua

PC di
controllo

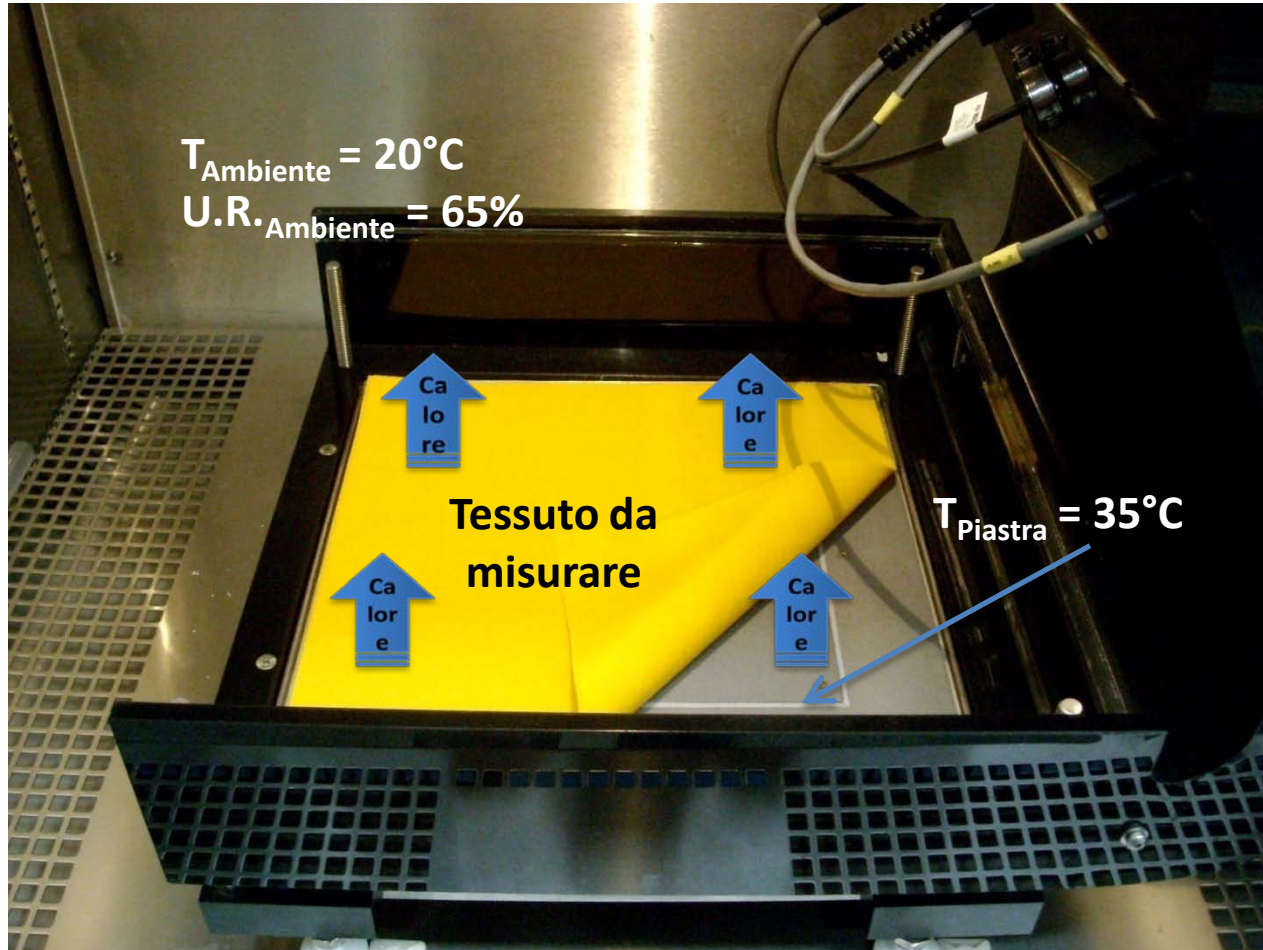


Definizione di R_{ct}

(estratto della norma UNI 31092)

*“**Resistenza termica, R_{ct}** : differenza di temperatura tra le due facce del materiale, divisa per il flusso di calore per unità di superficie nella direzione del gradiente. Il flusso di calore secco può consistere in una o più delle componenti conduttive, convettive e radianti. La resistenza termica è una quantità specifica dei materiali tessile e compositi che determina il flusso di calore secco attraverso una data superficie allorché sia applicato un gradiente di temperatura stabile nel tempo.”*

Rct



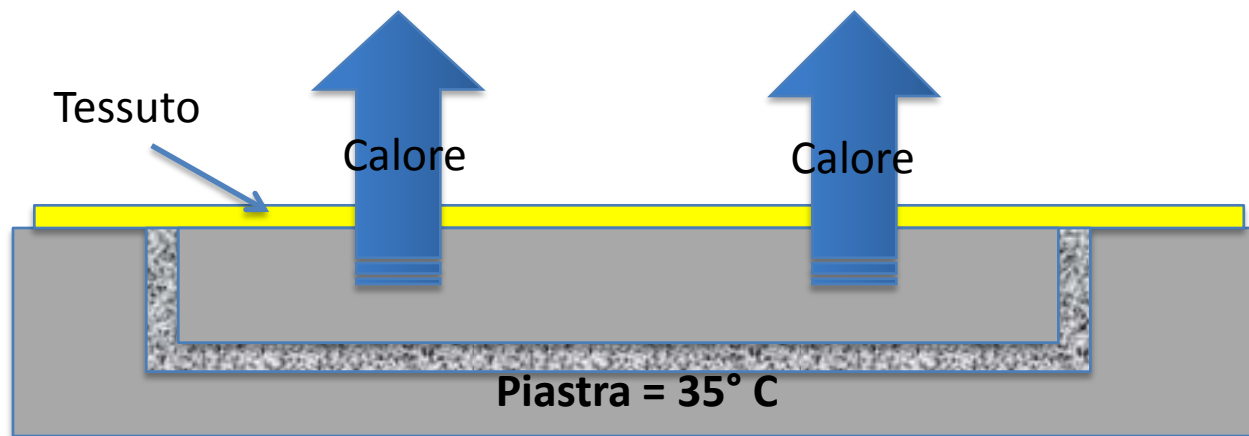
Rct



Ambiente: 20°C / 65% Umidità Relativa

$\Delta T = 15^\circ\text{C}$

Gradiente Termico



Descrizione della prova (Rct)



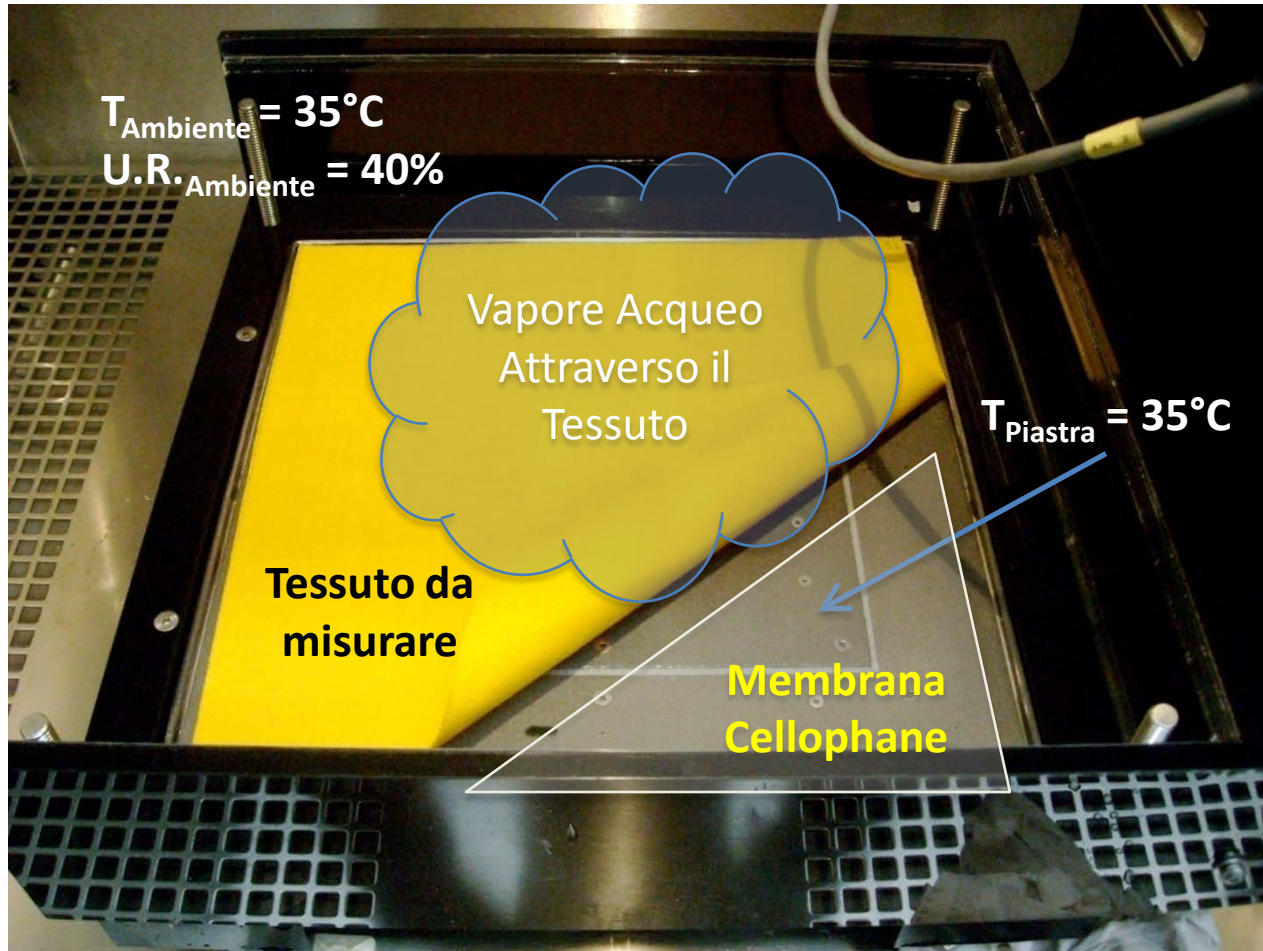
- ➡ Il campione è posizionato su una piastra riscaldata elettricamente e sulla sua superficie viene fatta fluire parallelamente dell'aria.
- ➡ Per determinare la resistenza termica si misura il flusso di calore attraverso il campione quando si sia raggiunto lo stato stazionario (quasi stato di equilibrio).
- ➡ Per ottenere il valore vero di R_{ct} si deve sottrarre dal valore ottenuto la resistenza termica della piastra su cui il campione appoggia ed il relativo strato d'aria.



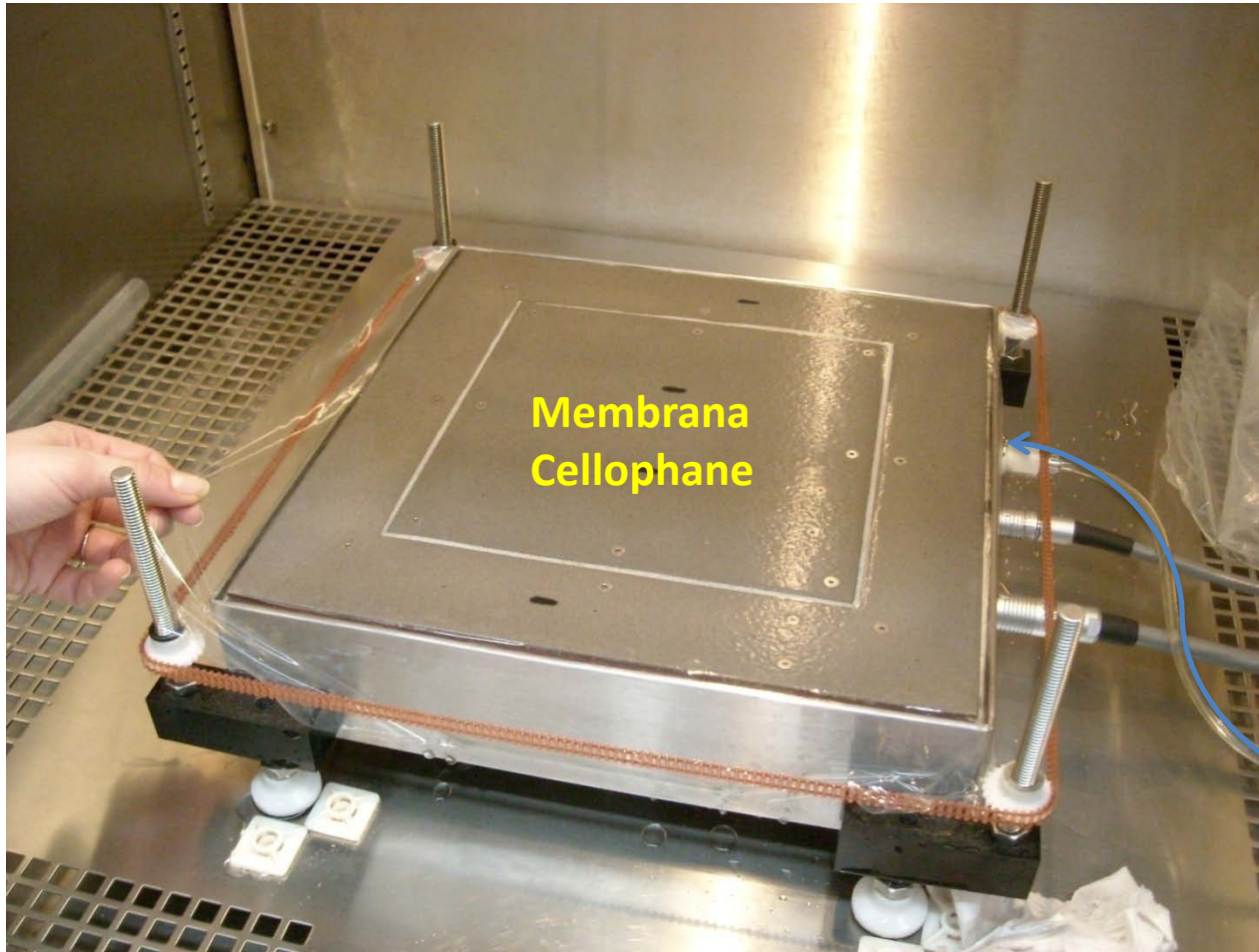
Definizione di R_{et} (estratto della norma UNI 31092)

*“**Resistenza al vapore d’acqua, R_{et}** : differenza della pressione di vapore d’acqua tra le due facce del materiale, divisa per il flusso di calore d’evaporazione per unità di superficie nella direzione del gradiente. Il flusso di calore di evaporazione può consistere in entrambe le componenti diffusive e convettive. La resistenza al vapore d’acqua è una quantità specifica dei materiali tessile e compositi che determina il flusso di calore latente di evaporazione attraverso una data superficie allorché sia applicato un gradiente di pressione di vapore d’acqua stabile nel tempo.”*

Ret



Ret



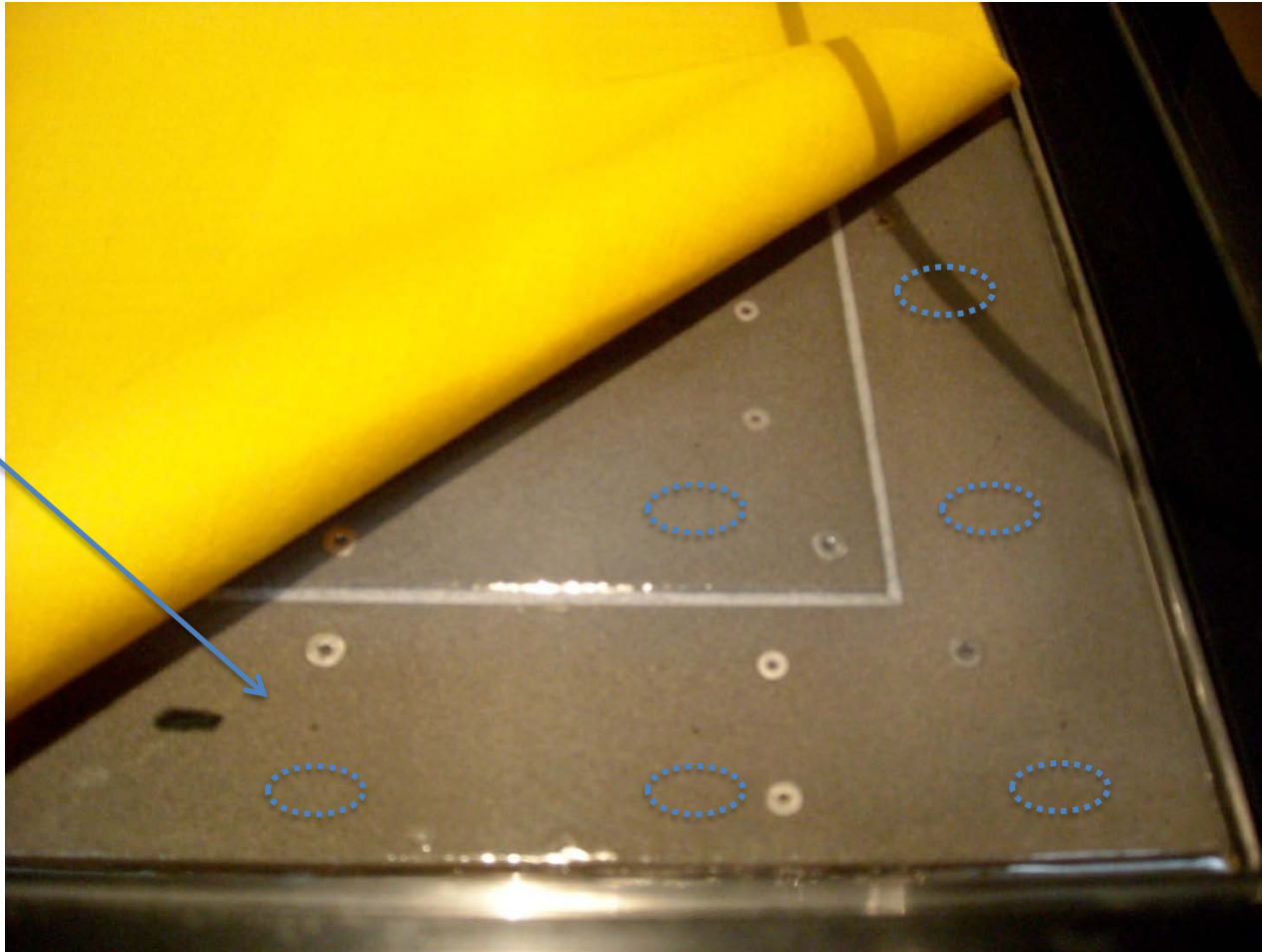
Membrana
Cellophane

Aliment.
Acqua

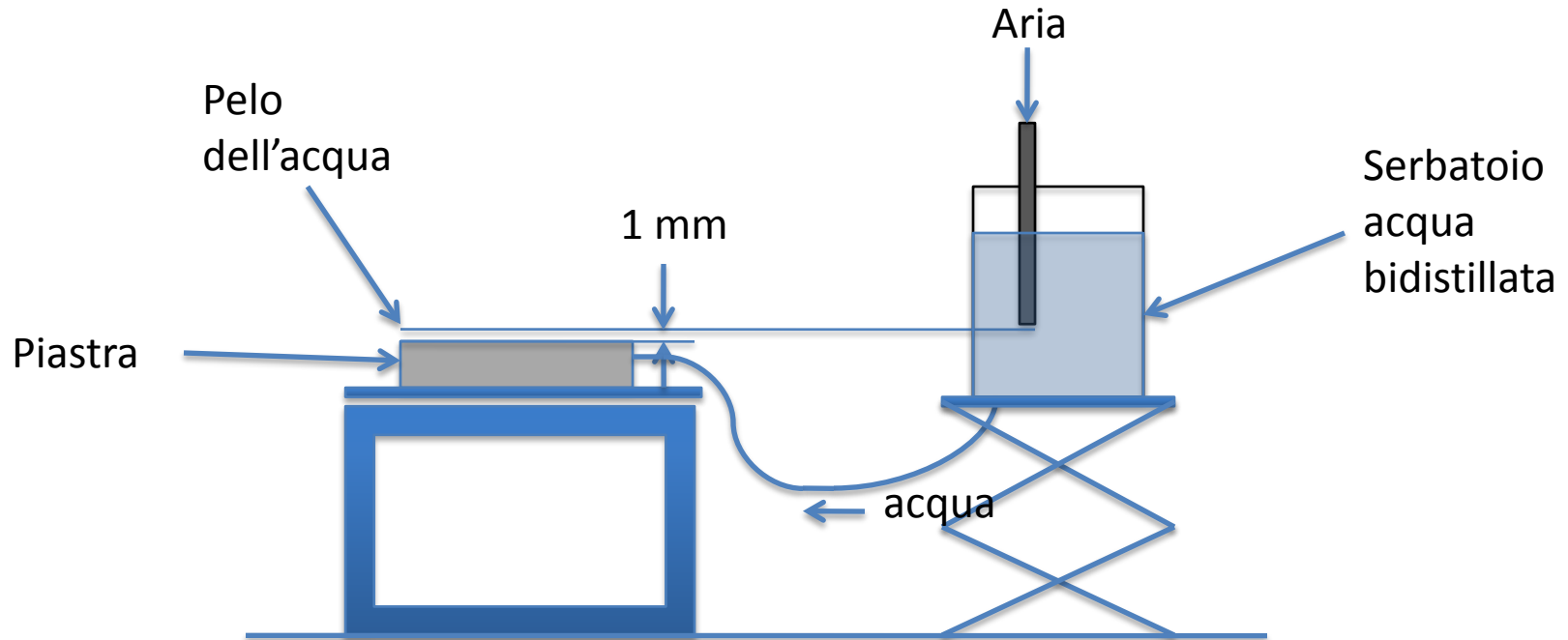
Ret



Fori
ingresso
acqua



Ret



- L'acqua arriva sulla superficie della piastra da un serbatoio esterno
- Il livello è raggiunto grazie al principio dei vasi comunicanti

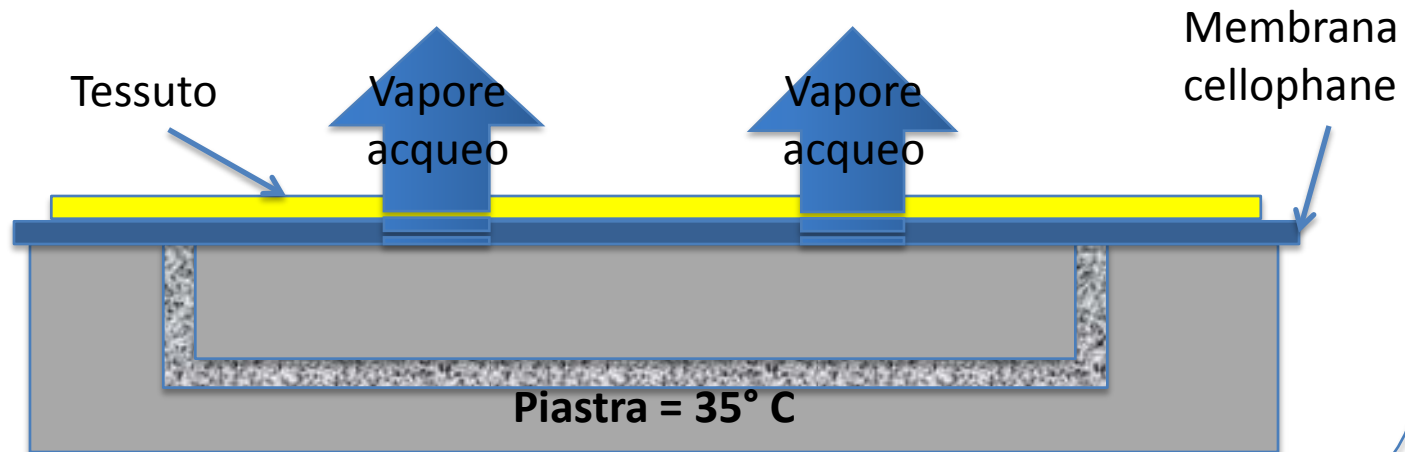
Ret



Ambiente: 35°C / 40% Umidità Relativa

$\Delta U.R. = 60\%$

Gradiente Umidità Relativa



Descrizione della prova (Ret)



- Per determinare la resistenza al vapore d'acqua il campione è posizionato sopra una piastra porosa riscaldata elettricamente e coperta da una membrana **permeabile al vapore ma impermeabile all'acqua liquida**.
- Nessun liquido deve entrare in contatto con il campione.
- Il flusso di calore necessario per mantenere la piastra ad una temperatura costante è in pratica una misura del flusso di evaporazione dell'acqua e permette di risalire al valore di resistenza evaporativa.
- Per ottenere il valore vero di R_{et} si deve sottrarre dal valore ottenuto la resistenza evaporativa della piastra su cui il campione appoggia ed il relativo strato d'aria.

Condizioni di misura



- ➡ R_{ct} : Camera climatica a $20^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ e $65\% \pm 3\%$
UR
- ➡ R_{et} : Camera climatica a $35^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ e $40\% \pm 3\%$
UR
- ➡ Piastra: $35^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$
- ➡ Velocità dell'aria $1\text{m/s} \pm 0.5\text{m/s}$
- ➡ Almeno 12h di condizionamento del campione nelle condizioni di misura

Osservazioni sulle condizioni di misura



- ➡ Durante la misura della resistenza termica è necessario un gradiente termico
- ➡ Durante la misura della resistenza evaporativa non si deve assolutamente avere un gradiente termico altrimenti la R_{et} risulterebbe contaminata da una percentuale di R_{ct} non quantificabile.
- ➡ Non posso avere del liquido a contatto con la superficie del campione

R_{ct} , R_{et} , W_d e i_{mt} (1)



- ➡ R_{ct} alta implica un materiale che conduce poco
- ➡ R_{et} alta implica un materiale poco traspirante
- ➡ Dalla resistenza evaporativa si ricava la permeabilità al vapor d'acqua W_d .
 $W_d = 1 / (R_{et} \cdot \Phi_{T_m})$ con Φ_{T_m} che è il calore latente di evaporazione dell'acqua alla temperatura di misura.

Per esempio: $\Phi_{T_m} = 0.672$ Wh/g a $T_m = 35^\circ\text{C}$

R_{ct} , R_{et} , W_d e i_{mt} (2)



W_d è espressa in $g/(m^2hPa)$

- Dalla combinazione di R_{ct} e R_{et} si ricava l'indice di permeabilità al vapor d'acqua i_{mt} .

$$i_{mt} = (R_{ct} / R_{et}) \cdot S \quad \text{con } S = 60 \text{ Pa/K}$$

i_{mt} è un numero puro il cui valore è compreso fra 0 e 1. Un materiale che possiede un valore di 0 ha una totale impermeabilità al vapor d'acqua. Un materiale con indice uguale ad 1 possiede la resistenza termica ed evaporativa di uno strato d'aria di uguale spessore.

i_{mt}



L'**indice di permeabilità** al vapor d'acqua (i_{mt}) è il parametro che più di ogni altro esprime la **traspirabilità** di un tessuto.

La traspirabilità deve tenere conto sia della resistenza termica che evaporativa.

Esistono diverse scale di valutazione della traspirabilità

Intervalli di traspirabilità



- ➡ L'Istituto Hohenstein, il primo a sviluppare lo skin model, ha stabilito 5 livelli di traspirabilità basati sul metodo della piastra calda traspirante per la determinazione della R_{et}

Categoria	Livello R_{et} [m^2Pa/W]
Estremamente traspirante	<6
Molto traspirante	7 ÷ 13
Traspirante	14 ÷ 20
Bassa traspirabilità	21 ÷ 30
Non Traspirante	>31



Fattori che governano la risposta termofisiologica di un tessuto (R_{ct})

I due elementi che influenzano maggiormente i valori di resistenza termica sono: **aria** ed **acqua**. Un ruolo importante è rivestito anche dal materiale che costituisce la fibra

La conducibilità termica è data da: $f = I \cdot \Delta T$, con f flusso di calore, I conducibilità termica e ΔT gradiente di temperatura.

$$I_{\text{acqua}} = 0.6 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}), I_{\text{aria}} = 0.025 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$



Fattori che governano la risposta termofisiologica di un tessuto (R_{ct})

La capacità termica è data da:

$$c_p \text{ (acqua)} = 4.2 \text{ kJ/(kgK)}$$

$$c_p \text{ (aria)} = 1 \text{ kJ/(kgK)}$$



Fattori che governano la risposta termofisiologica di un tessuto (R_{et})

La resistenza evaporativa è influenzata da:

1. Porosità del materiale e sue caratteristiche costruttive: armatura, finezza della fibra, titolo del filato e lo spessore
2. Idrofilicità/Idrofobicità del tessuto
3. Capacità di ventilazione del capo d'abbigliamento

Interpretazione di R_{ct} ed R_{et}



- ➡ Per una migliore comprensione dei valori di resistenza bisogna sempre conoscere la destinazione d'uso finale.
- ➡ Specificare se l'attività fisica svolta è bassa, media o alta dato che cambia la quantità di calore metabolico prodotto.
- ➡ Le condizioni ambientali giocano un ruolo fondamentale e spesso con effetti inaspettati (vedere esempio giacca da alta quota)

Alcuni esempi



1. Maglietta estiva, R_{ct} bassa, R_{et} bassa.
2. Le fibre cellulosiche conducono il calore più della lana.
3. Piumino: elevata resistenza termica, resistenza evaporativa bassa se si tiene conto dello spessore.
4. Lino più confortevole del cotone in un clima molto caldo.

Il Limite dello skin model (1)



- ➡ Il grande limite dello skin model è rappresentato dall'impossibilità di testare il campione nelle condizioni conformazionali reali.
- ➡ Il campione testato con la hot plate deve essere schiacciato sulla superficie della piastra.

Il Limite dello skin model (2)

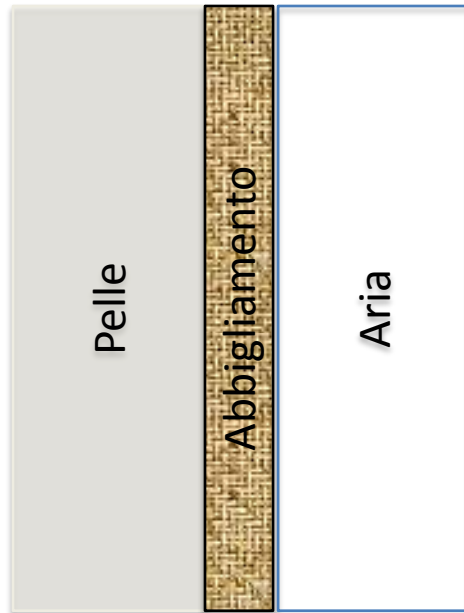


- ➡ Le proprietà termofisiche che influenzano il comfort sono quelle dell'abbigliamento nel suo complesso, cioè di un insieme di capi confezionati, eventualmente indossati uno sull'altro
- ➡ non è assolutamente possibile fare riferimento alle metodologie consolidate e comunemente usate per i tessuti.
- ➡ Tra le cause che determinano la differenza sostanziale tra l'influenza dei tessuti e quella dell'abbigliamento vanno ricordati l'aderenza dei capi ed il pumping effect.

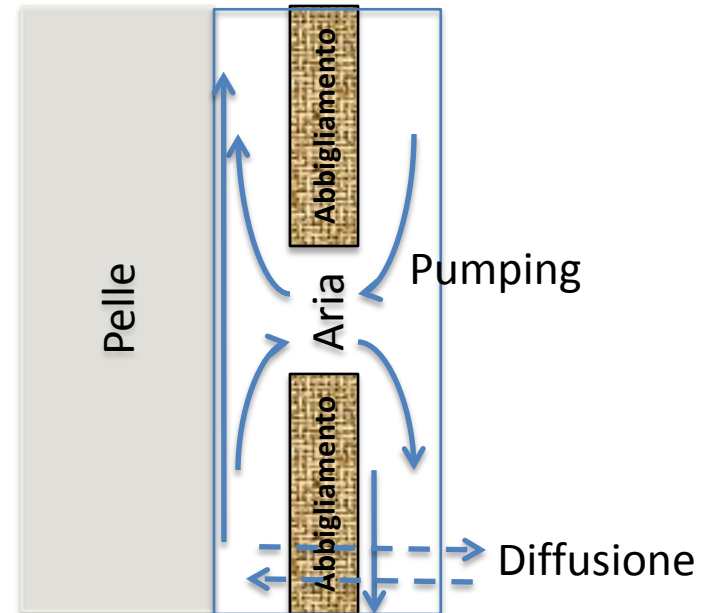
Pumping



Modello Semplice



Modello con ventilazione



L'effetto "pumping" può ridurre l'isolamento termico del vestiario di un valore compreso tra il 5 e 50% in funzione delle sue aperture (polsini, colletto, ecc.) e del tipo di tessuto.

Il Limite dello skin model (3)



- ➡ Nello Skin Model il passaggio di calore tra piastra e tessuto avviene esclusivamente per conduzione.
- ➡ Nella realtà lo scambio termico avviene secondo diversi meccanismi: i capi non sono sempre perfettamente a contatto ed i tessuti sono costituiti da fibre, per cui lo scambio avviene sia per conduzione, tra le parti solide, che per irraggiamento e convezione, negli spazi occupati dall'aria

Case Study 1

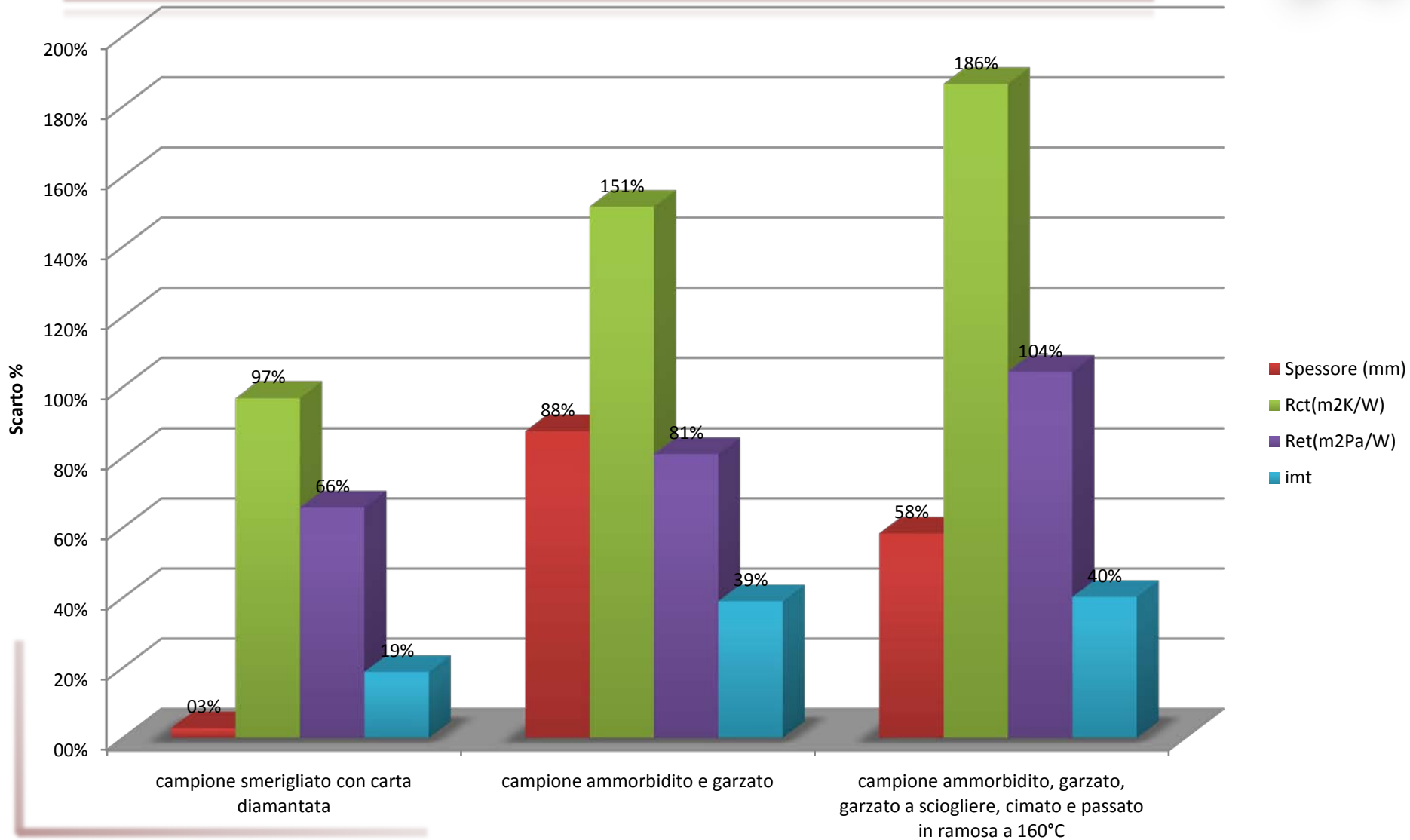


- Lo scopo della sperimentazione è stato quello di valutare i parametri di comfort termofisiologico di campioni sottoposti ad uno o più dei seguenti processi:
 - Cimatura,
 - Garzatura,
 - Smerigliatura
 - Lucidatura.
- Campione selezionato:
 - 100% poliestere,
 - 143g/m²
 - spessore 0.72 mm.

Case Study 1



Valori dello spessore, Rct, Ret, imt rispetto al riferimento



Case Study 2



- ➡ Confronto tra una maglietta in 100% Polipropilene a fibra cava per attività sportiva con una maglietta in 100% cotone (“Fruit”)

Nome Campione	Peso (g/m ²)	Spessore (mm)	R _{ct} (m ² K/W)	R _{et} (m ² Pa/W)	i _{mt}	W _d (kg/m ²)*	Composizione	NOTE
PP	109	0,88	0,02905	3,54005	0,4924	33,999	100% PP	maglietta per attività sportiva
FCO	197	0,82	0,0269	3,7373	0,4319	34,9290	100% CO	"Fruit"

(*): Quantità in kilogrammi di vapore acqueo che passa attraverso un metro quadrato di tessuto nelle 24 ore.

Case Study 2



- ▶ La maglietta in PP ha una R_{ct} maggiore rispetto alla fruit in cotone, viceversa il valore della R_{et} è inferiore:
 - ▶ Ciò significa che la maglia in PP possiede una maggiore capacità isolante ma anche una migliore capacità traspirante rispetto alla maglietta in cotone.
 - ▶ Di conseguenza, per la maglietta in PP l'indice di permeabilità al vapor d'acqua (imt) risulta essere più elevato rispetto alla "fruit".
- ▶ Il valore della R_{ct} risulta ancora più interessante se ponderato rispetto allo spessore e al peso al metro quadro dei due tessuti.
 - ▶ Infatti il PP ha uno spessore di 0,87 mm, mentre il cotone è spesso 0,96 mm (il 10,4% in più) inoltre il primo ha un peso al metro quadro di 109 g mentre il secondo è circa il 45% più pesante (197 g/m²);
 - ▶ Questo evidenzia ancor più la capacità di mantenere il calore da parte del tessuto in PP perché significa è proprio tale fibra che possiede un grado di isolamento termico maggiore di quello fornito dal cotone.
- ▶ Il maggiore isolamento termico è dovuto proprio alla struttura della fibra che, con la sua cavità centrale, riesce a fornire un maggiore potere isolante al tessuto.

Conclusioni



1. La valutazione del comfort termofisiologico può essere fatta utilizzando tutte le metodologie con il seguente ordine:
 1. Tazze
 2. Skin Model
 3. Arti
 4. Manichino
 5. Modellazione
 6. Panel test.
2. La valutazione può essere fatta ricorrendo solo ad alcune metodologie. La scelta è basata sulle esigenze e sui costi.
3. La validazione umana resta la più attendibile.
4. I capi d'abbigliamento testati cadono in ranges di comfort termofisiologico caratterizzati da specifiche temperature ed umidità.



Grazie per l'attenzione!