

L'ABBIGLIAMENTO E IL COMFORT TERMICO: QUALE RELAZIONE?

Francesca R. d'Ambrosio Alfano

Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Università degli Studi di Salerno (Italy)

INTRODUZIONE

Per ambiente termico si intende l'insieme delle variabili ambientali che determinano la sensazione termoigrometrica dell'uomo. Ne caso degli ambienti confinati o indoor (Alfano et al., 1997), gli ambienti termici vengono distinti in moderati e severi, intendendo per moderati quelli nei quali l'obiettivo, in sede di progettazione e di gestione, è il raggiungimento del comfort termico e per severi, caldi e freddi, quelli nei quali, invece, bisogna occuparsi di salvaguardare la salute degli operatori.

La valutazione degli ambienti termici viene effettuata utilizzando gli indici previsti dalla normativa di settore; in particolare, si fa riferimento per gli ambienti moderati alla norma UNI EN ISO 7730 "Ambienti termici moderati. Determinazione degli indici PMV e PPD e specifica delle condizioni di benessere termico" (UNI, 1997), valida esclusivamente negli ambienti interni, per gli ambienti severi caldi alle norme UNI EN 27243 "Ambienti caldi. Valutazione dello stress termico per l'uomo negli ambienti di lavoro, basata sull'indice WBGT (temperatura a bulbo umido e del globotermometro)", (UNI, 1996a) e UNI EN ISO 7933 "Ergonomia dell'ambiente termico - Determinazione analitica ed interpretazione dello stress termico da calore mediante il calcolo della sollecitazione termica prevedibile" (UNI, 2005) per gli ambienti severi alla norma volontaria UNI ENV ISO 11079 "Valutazione degli ambienti freddi - Determinazione dell'isolamento richiesto dagli indumenti (IREQ)", (UNI, 2001).

1. IL BILANCIO DI ENERGIA SUL CORPO UMANO

Il bilancio di energia termica sul corpo è espresso dall'equazione:

$$S = M - W - E_{res} - C - R - E - K \quad (1)$$

con:

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

I parametri da cui dipende il bilancio termico sono essenzialmente sei: temperatura dell'aria, grado igrometrico, velocità dell'aria, temperatura media radiante, abbigliamento, metabolismo energetico.

Per risolvere l'equazione di bilancio di energia, esistono vari modelli, tra i quali i più usati sono:

quello di Fanger, basato sulla definizione di carico termico (Fanger, 1970) e sull'assunzione che la temperatura della pelle e l'energia dispersa per evaporazione dalla pelle dipendono esclusivamente dall'attività metabolica; quello di Gagge, anche conosciuto come modello a due

nodi, che vede il corpo umano assimilato a due cilindri concentrici, dei quali uno rappresenta la pelle e l'altro il nucleo; quelli multinodo, praticamente tutti derivati dal modello di Stolwijk (1970).

2. L'ABBIGLIAMENTO ED IL COMFORT TERMICO

Come si è visto, l'abbigliamento è uno dei parametri che determinano la sensazione termica dell'uomo; in particolare, l'abbigliamento svolge tre distinte funzioni (Alfano e d'Ambrosio, 1991):

- isolamento termico
- barriera alla traspirazione del vapore
- meccanismo comportamentale di termoregolazione.

Va sottolineato che 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, per cui 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, del quale si parlerà nel seguito.

Le proprietà dell'abbigliamento che determinano il comfort termoigrometrico sono due, la resistenza termica¹ e la resistenza evaporativa, che devono essere misurate o valutate secondo quanto previsto dalla norma UNI EN ISO 9920 (UNI, 2004a)². Per quanto riguarda invece i tessuti, le stesse proprietà vanno misurate con metodi completamente diversi, secondo quanto previsto dalle norme UNI-EN 31092 (UNI, 1996b) e UNI-EN-ISO 15496 (2004b).

3. LA RESISTENZA TERMICA DELL'ABBIGLIAMENTO

La resistenza termica per unità di superficie, R in m^2KW^{-1} , è genericamente definita dalla relazione:

$$R = \frac{A \cdot \Delta t}{R + C} = \frac{A \cdot \Delta t}{H} \quad (1)$$

con:

A = area della superficie di scambio termico, m^2 ;

Δt = differenza di temperatura, $^{\circ}C$;

H = potenza termica secca scambiata attraverso la superficie, W .

3.1. DEFINIZIONI

Per caratterizzare la resistenza termica dell'abbigliamento nella letteratura tecnica sono comunemente utilizzate tre grandezze (Alfano e d'Ambrosio, 1986a; Alfano et al., 1986b; d'Ambrosio et al., 1986): l'isolamento totale, R_T , e l'isolamento intrinseco, R_{cl} , il cui significato è schematizzato in Figura 1, e l'isolamento efficace, R_{cle} . E' molto diffusa l'abitudine di misurare tali resistenze in clo, unità incoerente legata alla corrispondente unità del Sistema Internazionale dalla relazione:

$$1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2KW^{-1} \quad (2)$$

in questo caso le resistenze vengono indicate con il simbolo I .

L'isolamento totale, R_T in m^2KW^{-1} , è definito come:

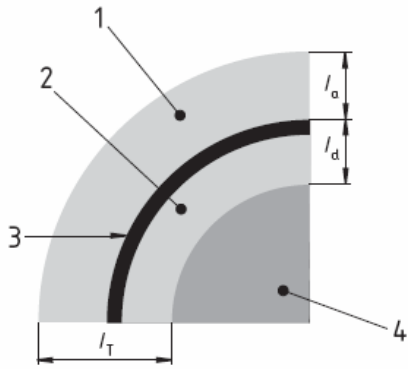
$$R_T = \frac{A_b(t_{sk} - t_o)}{H} \quad (3)$$

con:

A_b = area della superficie del corpo umano nudo, m^2 ;

¹ La resistenza termica è anche detta isolamento termico.

² Questa norma è attualmente in revisione in sede ISO e CEN e la nuova versione sarà presumibilmente pubblicata entro fine 2005, dopo di che sarà recepita anche dall'UNI.



1. Strato d'aria superficiale

2. Strato d'aria interno

3. Abbigliamento

4. Corpo

I_T = isolamento totale, clo

I_{cl} = isolamento intrinseco, clo

I_a = isolamento superficiale, clo

Figura 1 - Schematizzazione delle resistenze termiche dell'abbigliamento. Da (UNI, 2004).

t_{sk} = temperatura media della superficie della pelle del corpo umano, °C;

t_o = temperatura operativa, o operante, dell'ambiente nel quale si trova il soggetto, °C;

H = potenza termica secca, W.

L'isolamento intrinseco, R_{cl} in m^2KW^{-1} , è definito dalla relazione:

$$R_{cl} = \frac{A_b(t_{sk} - t_{cl})}{H} \quad (4)$$

con:

t_{cl} = temperatura media della superficie del corpo umano vestito, °C.

Infine, l'isolamento efficace, R_{cle} in m^2KW^{-1} , è definito dalla relazione:

$$R_{cle} = \frac{A_b(t_{sk} - t_o)}{H} - R_a = R_T - R_a \quad (5)$$

dove R_a , in m^2KW^{-1} , rappresenta la resistenza termica superficiale unitaria soggetto-ambiente, data dalla relazione:

$$R_a = \frac{A_b(t_{cl} - t_o)}{H} = \frac{1}{h_c + h_r} \quad (6)$$

con:

h_c = conduttanza termica convettiva unitaria soggetto-ambiente, $Wm^{-2}K^{-1}$;

h_r = conduttanza termica radiativa unitaria soggetto-ambiente, $Wm^{-2}K^{-1}$.

Delle tre grandezze la R_T è la meno significativa; la R_{cl} , rispetto ad R_{cle} , è fisicamente più corretta, ma difficile da ottenere, in quanto la temperatura superficiale esterna del corpo vestito non è praticamente misurabile, e quindi la (4) non è direttamente applicabile (Alfano et al., 1997) ma per ricavare R_{cl} va usata la relazione:

$$R_{cl} = R_T - \frac{R_a}{f_{cl}} \quad (7)$$

con f_{cl} fattore di area dell'abbigliamento, adim., che tiene conto del fatto che per un soggetto vestito l'area della superficie di scambio è diversa da quella dello stesso soggetto nudo, la valutazione è piuttosto laboriosa C'è da osservare che si parla di isolamento termico (totale, efficace o intrinseco) sia per l'abbigliamento nel suo complesso, sia per i singoli capi da cui quest'ultimo è composto. L'isolamento termico efficace dei singoli capi viene generalmente indicato con R_{clu} (Alfano et al., 1993).

C'è poi da sottolineare (Alfano et al., 1997) che le equazioni di definizione di R_T , R_{cl} , R_{cle} rappresentano relazioni di scambio termico in sistema a regime permanente con flusso monodimensionale. In sede di misura³ deve pertanto essere verificata la condizione di regime permanente. La condizione di flusso monodimensionale non è invece realizzabile sia per la geometria del sistema corpo-abbigliamento (l'abbigliamento non sempre ricopre tutto il corpo e non sempre lo ricopre in maniera uniforme) sia per la non isotermicità della pelle. Considerando anche che attraverso l'abbigliamento lo scambio termico avviene secondo meccanismi diversi (i diversi 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), si deduce che R_T , R_{cl} e R_{cle} sono in realtà resistenze termiche equivalenti.

3.2. VALUTAZIONE

La valutazione della resistenza termica dell'abbigliamento viene effettuata tramite tabelle riportate dalla norma UNI 9920 (UNI, 2004a)⁴.

La norma fornisce varie possibilità, nel senso che si va dalla valutazione più semplice, fatta mediante tabelle che riportano i valori di resistenza termica relativi a generici capi di abbigliamento quotidiani o da lavoro, un esempio delle quali è qui riportato in Tabella 1, ad una valutazione più complicata, fatta con tabelle che riportano insiemi di capi abbigliamento quotidiani o da lavoro, come mostrato in Tabella 2, ad una valutazione per così dire sofisticata, fatta utilizzando più tabelle che tengono conto sia del modello e delle caratteristiche del singolo capo che del tipo di tessuto con cui quest'ultimo è realizzato, così come mostrato nelle Tabelle 3, 4 e 5 ed in Figura 2. Tutti i dati tabellati disponibili sono stati ricavati in camera climatica su manichino termico in piedi, immobile.

Nel caso si vogliano comporre abbigliamento a partire dai capi, usando quindi la Tabella 1, l'isolamento totale deve essere calcolato con la relazione:

$$I_{cl} = 0,161 + 0,835 \sum I_{clu} \quad (8)$$

Garment description	I_{clu} clo
Underwear	
Panties	0,03
Underpants with long legs	0,1
-----	-----
Shirt, blouses	
short sleeves	0,15
light-weight, long sleeves	0,2

Tabella 1 - Esempio di tabella che riporta i valori di I_{clu} per capi di abbigliamento. Da (UNI, 2004a).

Work clothing	I_{cl}		Daily Wear clothing	I_{cl}	
	clo	m^2K/W		clo	m^2K/W
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	0,8

Tabella 2 - Esempio di tabella che riporta i valori di I_{cl} per generici abbigliamento quotidiani e da lavoro. Da (UNI, 2004a).

³ la misura della resistenza termica dell'abbigliamento, come si vedrà, va effettuata in una camera climatica che garantisca le condizioni non solo di temperatura e umidità dell'aria, ma anche quelle relative alla velocità dell'aria e, soprattutto, alla temperatura media radiante.

⁴ Il testo della norma UNI è in inglese; sono stati tradotti unicamente il titolo ed il sommario.

No.	Clothing ensemble	Combination	Mass g	f_{cl}	I_{cl}		I_T	
					clo	$m^2 \cdot CW^{-1}$	clo	$m^2 \cdot CW^{-1}$
Daily wear clothing: Dress								
149	Panties 1, full slip 5, pantyhose 3, Sleeveless dress 336, Sandals 272		325	1,15	0,46	0,071	1,08	0,167
150	Panties 1, half-slip 4 Shirt 75, sleeveless dress 335 Knee socks (thick) 267, shoes 260		770	1,26	0,77	0,119	1,33	0,207

Tabella 3 - Esempio di tabella che riporta i valori di I_{cl} e I_T per generici abbigliamento quotidiani e da lavoro. I numeri nella seconda colonna consentono di identificare le caratteristiche del singolo capo, riportate in Tabella 4. Da (UNI, 2004a).

No.	Garment ensemble	Type No.	Fabric No. g	Garment mass (g)	I_{clu}	
					clo	$m^2 \cdot CW^{-1}$
Robes						
370	Long sleeve, wrap, long	1	1	363	0,44	0,068
375	Long sleeve, wrap, long	2	1	298	0,41	0,064

Tabella 4 - Esempio di tabella che riporta le caratteristiche del singolo capo. In terza colonna compare il numero del modello, raffigurato in Figura 2, in quarta colonna compare il codice che si riferisce al tessuto, le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 5. Da (UNI, 2004a).

Code	Type/construction	Fibre content	Thick ness mm	Fabric insulation $m^2 \cdot CW^{-1}$	Fabric surface density gm^{-2}	Air permeability $lm^{-2} \cdot s^{-1}$
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	150	355

Tabella 5 - Esempio di tabella che riporta le caratteristiche del tessuto. Da (UNI, 2004a).



Figura 2 - Esempio di figura che riporta il modello del capo, indicando anche la percentuale di pelle coperta. Da (UNI, 2004a).

3.3. CALCOLO

La resistenza termica dell'abbigliamento è poco influenzata dal tipo di tessuto, mentre dipende dallo spessore e dalla superficie di area coperta (UNI, 2004); partendo da questo presupposto, è possibile ricavarne il valore utilizzando una delle seguenti formule:

$$I_{cl} = 0,919 + 0,255 m - 0,00874 A_b - 0,00510 A_{cl} \quad (9)$$

con:

s = massa dell'abbigliamento (tranne le scarpe), kg;

A_b = area della superficie del corpo umano non coperta da abiti, m^2 ;

A_{cl} = area della superficie del corpo umano coperta da un singolo strato di abbigliamento, m^2 ;
 ambedue le aree sono espresse in percentuale rispetto al totale e sono ricavabili dalla Figura 3.

$$I_{clu} = 0,0043 A_{cl} + 1,4 s A_{cl} \quad (10)$$

con:

s = spessore del tessuto, m.

$$I_{clu} = 0,0061 A_{cl} \quad (11)$$

Evidentemente, la (9) fa riferimento all'abbigliamento, le (10) e (11) al singolo capo.

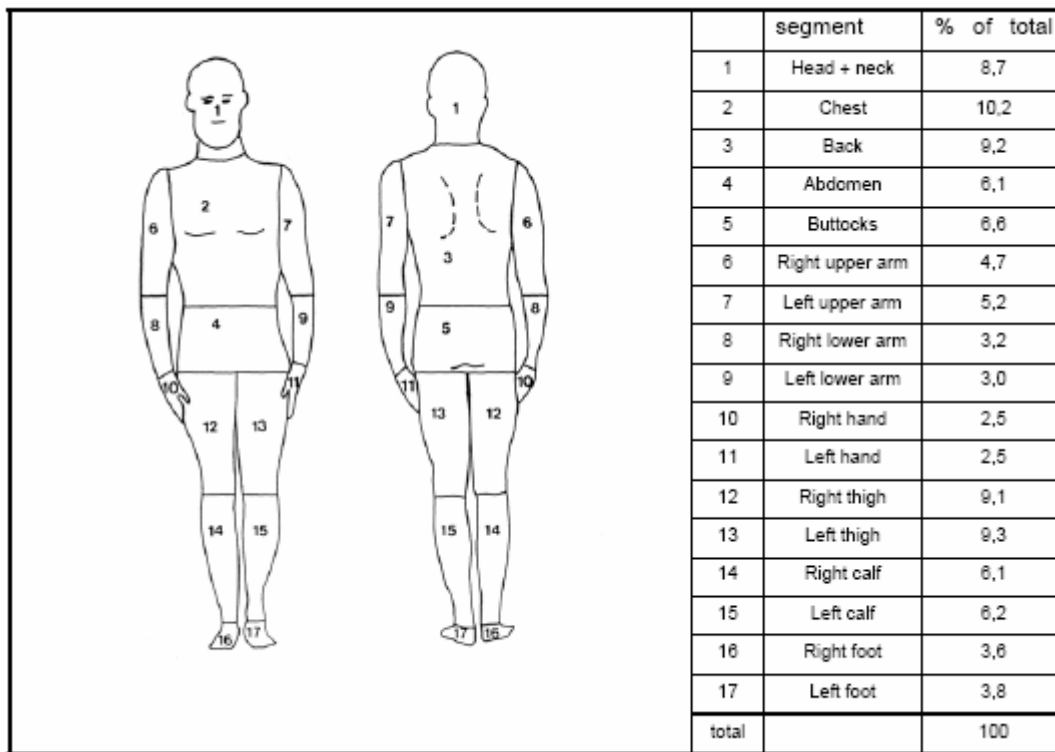


Figura 3 - Percentuale di superficie delle singole aree del corpo umano rispetto al totale. Da (UNI, 2004).

3.4. MISURA

La misura va effettuata su in camera climatica su persona o su manichino termico opportunamente strumentato. In ambo i casi, poiché il valore della resistenza termica dell'abbigliamento si ricava dal bilancio di energia sul corpo umano (1), vanno misurate la temperature t_{sk} , t_a e t_r e la potenza termica H e va eventualmente valutato il coefficiente f_{cl} . In particolare, la potenza termica va misurata direttamente quando si usa il manichino, mentre nel caso di misura su persona, a regime stazionario, si ottiene una volta noti i valori della temperatura media della pelle, dell'accumulo di energia, del metabolismo e dell'energia dispersa per evaporazione, quest'ultima ottenuta a sua volta a partire dalla diminuzione di massa corporea,

corretta per la perdita respiratoria e le variazioni metaboliche (bisogna anche tener conto del fatto che una certa quantità di sudore può essere assorbita dall'abbigliamento). Secondo la norma UNI 9920, la camera climatica deve avere le seguenti caratteristiche:

$$v_a \leq 0,15 \text{ m/s}$$

$$|t_a - t_r| = < 5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\phi = 30 \div 70\%$$

con:

t_a = temperatura dell'aria, $^\circ\text{C}$;

t_r = temperatura media radiante, $^\circ\text{C}$;

v_a = velocità dell'aria, ms^{-1} ;

ϕ = grado igrometrico dell'aria, %;

il che significa, evidentemente, che per effettuare questo tipo di misure non si può utilizzare una qualunque camera dotata di impianto di climatizzazione più o meno sofisticato, in quanto quest'ultimo garantisce il mantenimento solo dei parametri termoigrometrici relativi all'aria; si deve invece disporre di una camera che garantisca anche il controllo della temperatura media radiante, e quindi di tutte le temperature superficiali, nonché quello della velocità dell'aria. Purtroppo, spesso si ritiene, in maniera del tutto errata, che il comfort termoigrometrico dipenda esclusivamente dalla temperatura e dall'umidità dell'aria, senza tener conto del fatto che invece la sensazione di comfort/discomfort è fortemente dipendente dalle temperature superficiali, dalla velocità dell'aria e, a rigore, anche dalla deviazione standard di quest'ultima. A proposito di velocità dell'aria, va sottolineato che la ENV 342 prescrive che il suo valore sia pari a 0,4 m/s quando si vogliono testare abbigliamento protettivi contro il freddo.

4. LA RESISTENZA EVAPORATIVA DELL'ABBIGLIAMENTO

La resistenza evaporativa per unità di superficie, R_e in $\text{m}^2\text{kPaW}^{-1}$, è genericamente definita dalla relazione:

$$R_e = \frac{A \cdot \Delta p_v}{G} \quad (12)$$

con:

A = area della superficie di scambio termico, m^2 ;

Δp_v = differenza di pressione parziale, kPa;

G = potenza evaporativa scambiata attraverso la superficie, W.

4.1. DEFINIZIONI

Anche per caratterizzare la resistenza evaporativa dell'abbigliamento nella letteratura tecnica sono comunemente utilizzate tre grandezze (Alfano et al., 1989; Cicolecchia et al., 1987): la resistenza evaporativa totale, $R_{e,T}$, la resistenza evaporativa intrinseca, $R_{e,cl}$ e la resistenza evaporativa efficace, $R_{e,cle}$.

La resistenza totale, $R_{e,T}$ in $\text{m}^2\text{kPaW}^{-1}$ è definita come:

$$R_{e,T} = \frac{A_b (p_{vs,sk} - p_a)}{G} \quad (13)$$

con:

A_b = area della superficie del corpo umano nudo, m^2 ;

$p_{vs,sk}$ = tensione di vapore alla temperatura della pelle, kPa;

p_a = pressione parziale del vapore nell'aria, kPa;

G = potenza termica evaporativa, W;

oppure, a partire dall'isolamento termico, come:

$$R_{e,T} = \frac{R_T}{L \cdot i_m} \quad (14)$$

con:

L = relazione di Lewis, KkPa⁻¹;

i_m = indice di permeabilità, adim.

Analogamente a quanto fatto per l'isolamento termico, è possibile definire le relazioni che legano tra loro le diverse espressioni della resistenza evaporativa:

$$R_{e,cl} = R_{e,T} - R_{e,a} \quad (15)$$

$$R_{e,cl} = R_{e,T} - \frac{R_{e,a}}{f_{cl}} \quad (16)$$

con R_{e,a} resistenza evaporativa superficiale definita come:

$$R_{e,a} = \frac{1}{L \cdot h_c} \quad (17)$$

4.2. VALUTAZIONE

Anche la valutazione della resistenza evaporativa dell'abbigliamento viene effettuata tramite tabelle riportate dalla norma UNI 9920 (UNI, 2004a).

La norma fornisce, come mostrato in Tabella 6, i valori dell'indice di permeabilità i_m (Alfano et al., 1989) dal quale, conoscendo la R_T, attraverso la (14) si ricava la resistenza evaporativa totale; la presenza di due differenti valori è dovuta alla possibilità di formazione di condensa nell'abbigliamento o alla superficie di quest'ultimo; la relazione per interpolare tra i due estremi dell'intervallo di temperatura è la seguente:

$$i_m = \alpha \cdot i_{m,15} + (1-\alpha) \cdot i_{m,30} \quad (18)$$

con:

$$\alpha = (30 - t_a)/15$$

La norma riporta anche tabelle del tipo di Tabella 4, con i valori di resistenza evaporativa totale e intrinseca e di indice di permeabilità per alcuni abbigliamenti composti da capi caratterizzati in termini di modello e tessuto.

Tutti i dati tabellati disponibili sono stati ricavati in camera climatica su manichino termico bagnato o sudato, in piedi, immobile.

Clothing description	Estimated i _m static	
	< 15 °C	> 30 °C
Nude	0,5	
Normal, permeable clothing, regardless of number of layers	0,38	
As 1, with two pieces semi-permeable overgarment	0,17	0,15

Tabella 6 - Esempio di tabella che riporta il valore dell'indice di permeabilità. Da (UNI, 2004a).

4.3. CALCOLO

Le grandezze evaporative possono essere facilmente calcolate a partire da quelle termiche con le seguenti relazioni:

$$R_{e,T} = \frac{R_T}{L \cdot i_m} \quad (19)$$

$$R_{e,cl} = 0,06 \frac{R_{cl}}{i_{m,cl}} \quad (20)$$

$$R_{e,a} = \frac{0,06}{f_{cl} \cdot h_c} \quad (21)$$

4.4. MISURA

Anche la misura della resistenza termica evaporativa può essere effettuata sia su manichino, che però deve avere la superficie umida, sia su persona.

5. IL PUMPING EFFECT

Generalmente, l'abbigliamento è composto da più capi e, quindi, da più strati di tessuti diversi tra i quali sono interposti strati di aria; quando le persone si muovono quest'aria, insieme a quella che entra attraverso le aperture dei capi, quali polsini e colletti, entra in movimento determinando un effetto, noto come "pumping effect (Havenith et al., 1990), che può essere determinato anche da elevati valori di velocità dell'aria, dovuti ad esempio alla presenza di vento, che possono determinare una compressione degli strati di tessuto, riducendone lo spessore con conseguente variazione sia dell'isolamento termico che della resistenza evaporativa. Uno schema del pumping effect è riportato in Figura 4.

Considerando che i valori della resistenza termica e di quella evaporativa riportati nelle tabelle della norma e, più in generale, nella letteratura tecnica, sono tutti stati ricavati su manichino immobile, per tener conto del pumping effect si utilizza un modello di calcolo in cui si considerano sia la velocità relativa dell'aria rispetto al soggetto che la velocità con cui il soggetto cammina (d'Ambrosio et al., 2004, UNI, 2004a; UNI, 2005).

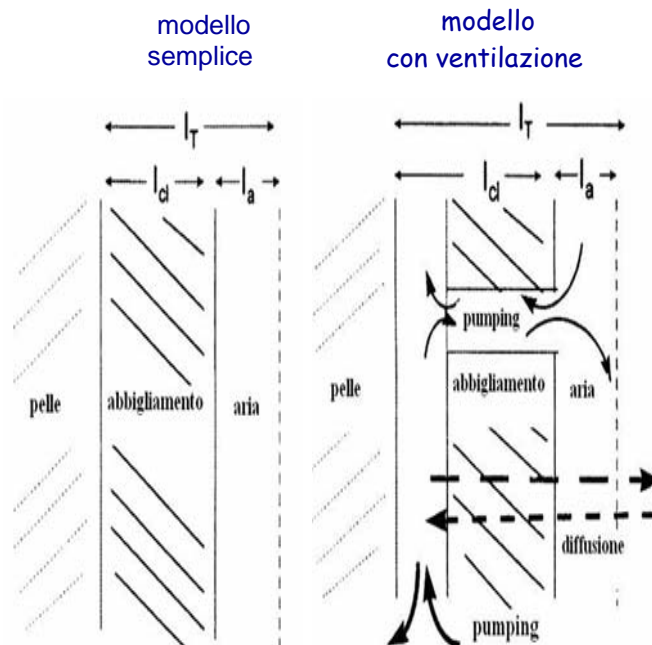


Figura 4 - Schema di pumping effect.

6. CONCLUSIONI

L'abbigliamento riveste una notevole importanza nella determinazione della sensazione termoigrometrica dell'uomo. Purtroppo, l'argomento è in Italia pressoché sconosciuto e sottovalutato. D'altra parte, non c'è nel nostro Paese una camera climatica vera, nel senso che nessuna delle camere disponibili prevede il controllo della temperatura media radiante.

L'auspicio è che al più presto si formi un consorzio di Enti e/o Aziende interessati all'argomento che decidano di dotarsi di una idonea camera e di un idoneo manichino termico.

BIBLIOGRAFIA

Alfano G., e d'Ambrosio F.R. 1986a. La misura della resistenza termica conduttiva equivalente dell'abbigliamento. *Condizionamento dell'aria Riscaldamento Refrigerazione*, 30(2), 109-119.

Alfano G., Cirillo E., d'Ambrosio F.R., Fato I., Piccininni F. 1986b. Analisi della variabilità della resistenza termica dell'abbigliamento. *Atti del XLI Congresso Nazionale dell'Associazione Termotecnica Italiana*, I, IVa15-26, Napoli, settembre.

Alfano G., Cicolecchia S., d'Ambrosio F.R. 1989. The influence of the vapour permeability of clothing on thermal discomfort. *ASHRAE Transactions*, 92(2), 309-315.

Alfano G., d'Ambrosio F.R., Riccio G. 1997. La valutazione delle condizioni termoigrometriche negli ambienti di lavoro: comfort e sicurezza. Napoli: CUEN.

Alfano G., d'Ambrosio F.R. 1991. Clothing: an essential individual adjustment factor for obtaining general thermal comfort. *Environment International*, 17(4), 205-209, 1991.

Alfano G., F.R. d'Ambrosio F.R., Riccio G. 1993. Un semplice modello di calcolo per la valutazione dell' I_{clu} di un capo di abbigliamento dalla resistenza termica del tessuto. *Atti del XLVIII Congresso Nazionale dell'Associazione Termotecnica Italiana*, II, 937-945, Taormina.

Cicolecchia S., Cirillo E., d'Ambrosio F.R., Piccininni F., Bellacicco G., Alfano G. 1987. Valutazione della resistenza dell'abbigliamento alla diffusione del vapor d'acqua. *Atti del XLII Congresso Nazionale dell'Associazione Termotecnica Italiana*, Ib243-253, Genova, settembre.

d'Ambrosio F.R., Fato I., Piccininni F., Alfano G., Cirillo E. 1986. L'isolamento termico dell'abbigliamento: una raccolta ordinata di dati. Napoli: CUEN.

d'Ambrosio F.R., Riccio G., Alfano G. 2004. La valutazione degli ambienti termici alla luce della recente normativa ISO. *Atti Convegno Climamed*, Lisbona, marzo.

Fanger P.O. 1970. Thermal Comfort. New York: McGraw-Hill.

Havenith G., Heus R., e Lotens W.A. 1990. Resultant clothing insulation: a function of body movement, posture, wind, clothing fit and ensemble thickness. *Ergonomics*, 33(1), 67-84.

Stolwijk J.A.J. 1970. Mathematical model of thermoregulation. In: Physiological and behavioural temperature regulation (Hardy, Gagge, Stolwijk and Clark eds.). 48, 730-721. Charles C. Thomas Pub.

UNI. 1996a. Ambienti caldi - Valutazione dello stress termico per l'uomo negli ambienti di lavoro, basata sull'indice WBGT (temperatura a bulbo umido e del globotermometro). Norma UNI-EN 27243. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.

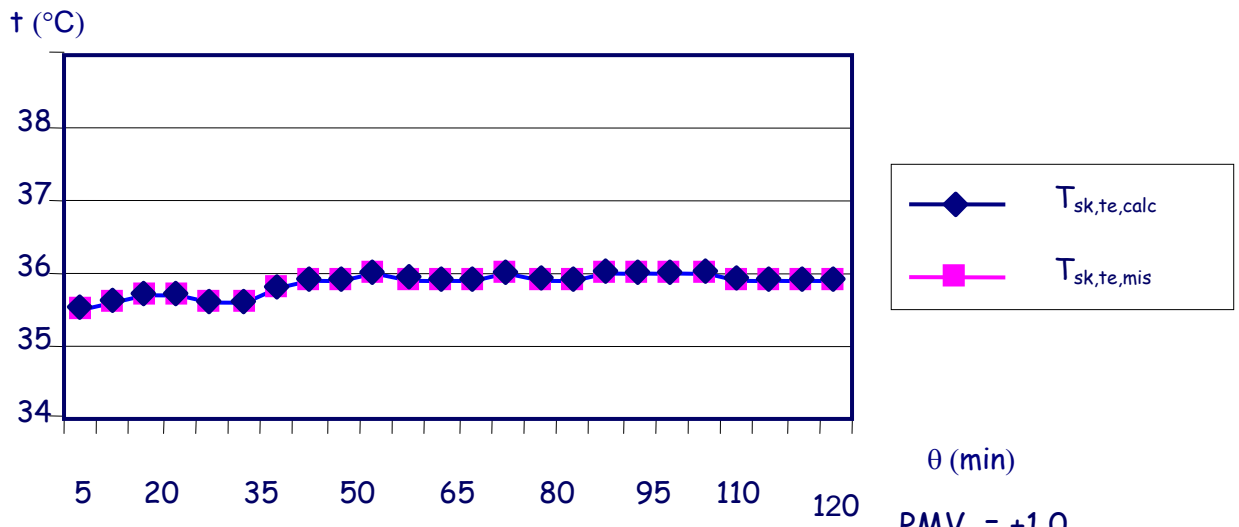
UNI. 1996b. Tessili. Determinazione delle proprietà fisiologiche. Misurazione della resistenza termica ed al vapor d'acqua in condizioni stazionarie (prova della piastra calda traspirante). Norma UNI-EN 31092. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.

UNI. 2001. Valutazione degli ambienti freddi - Determinazione dell'isolamento richiesto dagli indumenti (IREQ). Norma UNI-ENV-ISO 11079. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.

UNI. 2004a. Ergonomia degli ambienti termici - Valutazione dell'isolamento termico e della resistenza evaporativa dell'abbigliamento. Norma UNI-EN-ISO 9920. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.

UNI. 2004b. Tessili - Misurazione della permeabilità al vapore d'acqua dei tessuti al fine del controllo qualità. Norma UNI-EN-ISO 15496. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione.

UNI. 2005. Ergonomia dell'ambiente termico - Determinazione analitica ed interpretazione dello stress termico da calore mediante il calcolo della sollecitazione termica prevedibile. Norma UNI-



12 soggetti adulti

PMV = -1,0 0,0 +1

I_{cl} = 0,10 0,60 0,85 clo

θ (min)
PMV = +1,0