Sulla valutazione del comfort termico sviluppi normativi e problemi aperti

di **Paolo Lenzuni**

Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro (ISPESL) - Dipartimento di Firenze

ISPESL

La valutazione del comfort *e dello* stress *termico è un tema al quale, negli ultimi decenni, è stata dedicata una attenzione progressivamente crescente e sul quale esiste una estesa letteratura scientifica e medica. Sulla base di questa notevole mole di conoscenze sono stati sviluppati, negli ultimi venti anni, numerosi* standard *tecnici internazionali, dedicati sia ad aspetti generali, che vanno dalla strumentazione al* comfort *e allo* stress*, sia a temi più specifici quali l'isolamento termico prodotto dall'abbigliamento indossato e il dispendio metabolico connesso all'attività svolta. Molti di questi documenti sono stati recepiti anche in Italia e formano l'ossatura della normativa nazionale in questo settore.*

Osservatorio a cura dell'Ufficio Relazioni con il Pubblico

A corredo e integrazione della normativa tecnica in materia di *comfort* e *stress*, con riferimenti dedicati all'isolamento termico derivante dall'abbigliamento indossato e il dispendio metabolico connesso all'attività svolta (si veda la *tabella 1*), è stato recentemente pubblicato il testo «*Microclima aerazione e illuminazione nei luoghi di lavoro - Manuale di buona prassi*»[1], a cura del Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome, in collaborazione con l'Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro (ISPESL). Tutti gli *standard* tecnici vengono periodicamente sottoposti a revisione su base quinquennale e, nell'ambito di questo processo, sono state messe a punto negli ultimi anni nuove versioni[2].

Classificazione degli ambienti termici

Gli ambienti termici possono essere suddivisi, ai fini della loro valutazione in rapporto ai soggetti che li occupano, in due macro classi identificate come "ambienti termici moderati" e "ambienti termici severi". In questo schema, un ambiente termico viene analizzato secondo la procedura di valutazione del *comfort,* ovvero dello *stress* termico, a seconda che esso possieda caratteristiche termiche vicine o distanti da quelle di benessere. Questo tipo di classificazione *a posteriori*, benché tecnicamente corretta in quanto utilizza indici che risultano, comunque, coerenti con la condizione fisiologica del soggetto esposto, è strategicamente sbagliata; infatti, ignorando i vincoli dettati dalle attività svolte nell'ambiente e gli eventuali vincoli macroclimatici presenti in ambienti *outdoor*, prescinde dall'obiettivo (tutela della salute, ovvero *comfort*) che deve essere perseguito nell'ambiente in esame. Di conseguenza è possibile che un ambiente termico venga valutato con criteri incoerenti con questo obiettivo e, pertanto, inadeguati sia nella fase di valutazione sia nella successiva fase di bonifica.

Quindi, è importante chiarire subito in quali contesti ha realmente senso parlare di *comfort* termico. Si definiscono ambienti termici **vincolati** tutti i luoghi (di lavoro) nei quali esistono specifiche esigenze produttive o elementi naturali (ambienti *outdoor*) che, vincolando uno o più dei parametri microclimatici (principalmente la temperatura, ma eventualmente anche umidità, temperatura radiante e abbigliamento), impediscono di fatto che l'obiettivo del *comfort* sia realisticamente perseguibile. In modo complementare, vengono definiti **moderabili** tutti quegli ambienti nei quali queste specifiche esigenze produttive o vincoli naturali non sussistono e nei quali l'obiettivo da perseguire è il *comfort*.

Le sottoclassi degli ambienti moderabili

All'interno della classe degli ambienti moderabili, gli ambienti **moderati** sono quelli nei quali avvengono deviazioni, appunto moderate, dalla condizione di massimo *comfort*. A questi ambienti, e solo a questi, si applica il metodo basato sugli indici PMV e PPD descritto nello *standard* tecnico UNI EN ISO 7730, il quale chiarisce, nell'introduzione (capitolo 1) della nuova versione ISO/FDIS 7730, come esso «*sia applicabile a uomini e donne in buona salute esposti ad ambienti indoor dove il comfort termico sia desiderabile, limitatamente a situazioni*

[1] Microclima aerazione e illuminazione nei luoghi di lavoro - Manuale di buona prassi, *Atti del convegno dBAincontri2005, pag. 35.*

[2] *Verranno illustrate in modo sintetico le novità introdotte dalla nuova versione dello standard che si occupa della quantificazione e della valutazione del comfort in ambienti moderati (ISO/FDIS 7730). Per una approfondita disamina delle novità introdotte dalla nuova versione dello* standard*relativo allo stress termico in ambienti severi caldi (UNI EN ISO 7933:2005), si rimanda al Manuale di buona prassi [1] e al lavoro presentato nel recente convegno dBAincontri2005F. Marciano, D. Rossi,* La valutazione del rischio negli ambienti severi caldi secondo la norma UNI EN ISO 7933:2005, *Atti del convegno dBAincontri2005, pag. 3.*

TABELLA 1

Principali norme tecniche nazionali per la valutazione degli ambienti termici

Standard	Titolo
UNI EN ISO 7726 (2002)	«*Ergonomia degli ambienti termici - Strumenti per la misurazione delle grandezze fisiche.*»
UNI EN ISO 7730 (1997)	«*Ambienti termici moderati - Determinazione degli indici PMV e PPD e specifica delle condizioni di benessere termico.*»
UNI EN ISO 7933 (2005)	«*Ergonomia dell'ambienti termici - Determinazione analitica e interpretazione dello stress termico da calore mediante il calcolo della sollecitazione termica prevedibile.*»
UNI EN ISO 8996 (2005)	«*Ergonomia dell'ambiente termico - Determinazione del metabolismo energetico.*»
UNI EN ISO 9920 (2004)	«*Ergonomia dell'ambiente termico - Valutazione dell'isolamento termico e della resistenza evaporativi dell'abbigliamento.*»
UNI EN ISO 9886 (2004)	«*Ergonomia - Valutazione degli effetti termici (thermal strain) mediante misure fisiologiche.*»
UNI ENV ISO 11079 (2001)	«*Valutazione degli ambienti freddi - Determinazione dell'isolamento richiesto dagli indumenti.*»
UNI EN 27243 (1996)	«*Microclimi severi caldi. Valutazione dello stress termico per l'uomo negli ambienti di lavoro, basata sull'indice WBGT (temperatura a bulbo umido e del globotermometro).*»

nelle quali esistono moderate deviazioni da condizioni di comfort termico». Cosa si debba intendere per moderate deviazioni viene specificato nello stesso documento, al capitolo 4.1, nel quale si afferma che l'indice PMV *«deve essere usato soltanto per valori di PMV compresi fra -2 e +2, e quando i sei parametri* (quelli che intervengono nella sua determinazione ossia metabolismo, resistenza termica dell'abbigliamento, temperatura dell'aria, temperatura media radiante, velocità dell'aria, pressione parziale del vapore acqueo) *sono all'interno di opportuni intervalli»* che vengono definiti nei successivi capoversi dello *standard*.

Stabilito l'ambito all'interno del quale risulta applicabile lo *standard* UNI EN ISO 7730, è evidente che esiste un dominio esterno a questo ambito costituito dagli ambienti moderabili ma non moderati e, cioè, da ambienti che presentano, per problemi connessi a cattiva progettazione e/o malaccorta gestione, forti deviazioni da condizioni di *comfort* senza che vi siano particolari vincoli che pregiudicano il raggiungimento del *comfort* stesso. Questi ambienti sono detti, per semplicità, **impegnativi**, dove con questo termine si è inteso sottolineare che si tratta di ambienti che richiedono un certo "impegno" da parte del sistema termoregolatore, senza indurre (tranne che in casi eccezionali) condizioni di *stress*.

Il *comfort* termico in ambienti moderati

Come anticipato, lo *standard* ISO 7730 (1994), recepito in Italia come UNI EN ISO 7730 (1997) e attualmente vigente, è giunto alle fasi conclusive del processo di revisione. La versione ISO/FDIS 7730, messa a punto nell'agosto del 2005, è di fatto un'anteprima che per il 99% coinciderà con la nuova versione ufficiale. Quest'ultima verrà, presumibilmente, rilasciata all'inizio del 2006 e verrà recepita in modo letterale come norma tecnica italiana nei mesi successivi. La prossimità dell'oriz-

Percentuale di disturbati da differenze verticali di temperatura dell'aria

Figura 1

zonte temporale in cui questo documento sostituirà la vigente norma rende assai attuale, per niente accademica, una discussione degli elementi di novità che esso introduce.

Elementi di base

L'impianto base dello *standard* non è stato stravolto. Il ruolo cardine svolto dall'associazione fra *comfort* termico e equilibrio energetico dell'organismo viene mantenuto, così come le definizioni e il calcolo degli indici PMV e PPD, e gli intervalli utili per le sei grandezze, oggettive e soggettive, che consentono il calcolo degli indici. Altri aspetti sono al contrario stati oggetto di profonde revisioni.

Discomfort *locale*

L'aspetto del *discomfort* locale, ovvero legato a riscaldamento o a raffreddamento di particolari zone dell'organismo, viene discusso con maggior dettaglio e viene ad assumere notevole peso nel processo di valutazione del *comfort*. Per ciascuno dei quattro fattori di *discomfort* locale (correnti d'aria, differenza verticale di temperatura dell'aria, pavimenti caldi o freddi e asimmetria radiante) vengono specificate in maggior dettaglio le condizioni di applicabilità dei criteri di valutazione e sono fornite, in forma sia grafica, sia analitica (equazioni), le funzioni che legano le percentuali previste di soggetti disturbati (PD) ai parametri fisici propri di ciascun fattore di *discomfort*. A titolo di esempio la *figura 1*mostra l'andamento di PD in funzione della differenza di temperatura dell'aria fra il livello testa e il livello caviglie del soggetto ($Dt_{a,v}$), e di tale curva viene fornita l'approssimazione analitica:

$$PD = \frac{100}{1 + \exp(5{,}76 - 0{,}856 \times \Delta t_{a,v})} \quad (1)$$

Classi di qualità

Vengono introdotte tre classi di qualità (C, B, A) che, in quest'ordine, sono caratterizzate da requisiti sempre più stringenti, ovvero da intervalli ammessi per gli indici di qualità via via più piccoli. Questo schema a tre classi si applica sia agli indici di *comfort* globale (PMV e PPD) sia agli indici di *discomfort* locale. La *tabella 2* mostra i valori massimi ammissibili delle percentuali di disturbati. Per confronto, i limiti attuali coincidono con quelli fissati per la categoria B, tranne che per le correnti d'aria dove il limite attuale è del 15%. Alcuni di questi criteri sono eccessivamente severi e di difficile applicazione pratica, considerata l'incertezza che grava su alcune delle quantità che intervengono nel calcolo degli indici. Inoltre, nel testo attuale non vengono definiti i criteri in base ai quali assegnare un ambiente all'una o all'altra classe di qualità. Sulla base di quanto riportato nel capitolo 7 dello *standard*, è da supporre che saranno le singole realtà locali (stati, regioni o altro) a identificare gli ambienti con maggiore o minore "sensibilità termica", ai quali garantire condizioni più o meno prossime a quelle di massimo *comfort.*

Valutazione del comfort *a lungo termine*

È molto improbabile che, anche in un ambiente ben progettato e nel quale gli impianti termici sono correttamente gestiti, i valori di PMV rimangano sempre all'interno della zona di comfort. Episodici sforamenti, d'altra parte, non rappresentano elementi di criticità se opportunamente limitati nel tempo e nella significatività. Allo scopo di quantificare le caratteristiche di *comfort* che un ambiente mantiene su tempi lunghi, vengono proposti cinque diversi metodi, con diversi gradi di accuratezza e semplicità. Dei cinque il più promettente appare il metodo C nel quale l'indicatore a lungo termine viene calcolato mediante la media pesata del risultato di j misure di PMV/PPD, ovvero:

$$PMV_{LT} = \sum_j w_j \times t_j \quad (2)$$

dove:

- w_j è il j-esimo peso, posto pari a 1 se $PPD_j \leq PPD_{LIMITE}$ o calcolato come:

$$W_j = \frac{PPD_j}{PPD_{LIMITE}} \quad (3)$$

se $PPD_j > PPD_{LIMITE}$ il cui valore è indicato, per ogni categoria, nella *tabella 2*.

- t_j è il j-esimo intervallo temporale, per il quale può essere ritenuta valida la j-esima misura di PMV/PPD.

È ovvio che si tratta di un problema sul quale il dibattito è ancora molto aperto, l'approccio al quale risulta, di conseguenza, in

TABELLA 2

Valori massimi ammissibili per i fattori di discomfort globale e locale

Category	Thermal state of the body as a whole		Local discomfort			
				PD% caused by		
	PPD%	PMV	DR%	vertical air temperature difference	warm or cool floor	radiant asymmetry
A	< 6	- 0,2 < PMV < + 0,2	< 10	< 3	< 10	< 5
B	< 10	- 0,5 < PMV < + 0,5	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	- 0,7 < PMV < + 0,7	< 30	< 10	< 15	< 10

una fase ancora embrionale. In particolare, non viene fatta alcuna menzione di come determinare i valori di t_j. Inoltre, la dipendenza lineare sia da PMV sia dal tempo presente nella equazione[3] implica che ambienti con *discomfort* occasionale ma pronunciato risultano penalizzati rispetto ad ambienti che presentano frequenti ma modesti scostamenti da condizioni di *comfort*. Non è chiaro quanto, in realtà, questo approssimi la reale percezione dei soggetti presenti. Infine, non vengono indicati valori limite, il che, di fatto, rende questo metodo attualmente inutilizzabile a scopo valutativo. Inoltre, l'inserimento di questo tema all'interno dello *standard* rappresenta un passo coraggioso e introduce, comunque, un sistema per selezionare ambienti a più alta priorità di intervento.

Isolamento termico "dinamico"

Il calcolo dell'isolamento termico fornito dal vestiario indossato è stato completamente rivisto, risultando molto più accurato e realistico. La revisione si è concentrata sulla stima della riduzione delle proprietà isolanti legata al flusso d'aria fra i diversi strati che tipicamente compongono il vestiario. Questo flusso risulta legato sia alla velocità locale dell'aria sia al movimento compiuto dal soggetto nell'esecuzione del proprio lavoro. Il trattamento dell'isolamento termico, presentato nella appendice C dello *standard*, deriva direttamente dai risultati ottenuti dal gruppo di lavoro che ha recentemente completato la revisione dello *standard* ISO 9920 (si veda la *tabella 1*).

La valutazione di ambienti termici moderabili ma non moderati

Va ricordato, innanzitutto, che ambienti moderabili, anche impegnativi, non devono mai essere valutati mediante indici di *stress*, sia perché questi sono stati sviluppati primariamente per individui professionalmente esposti e dotati di DPI, tutele mediche, formazione, informazione ecc., sia perché il giudizio di assenza di *stress* (esposizione ammessa > 480 minuti) sarebbe, nella sua accezione positiva, totalmente fuorviante in un ambiente che invece deve poter essere ricondotto a condizioni di *comfort*. D'altra parte, in ambienti impegnativi, l'uso del PMV è tanto più sconsigliato quanto più ci si allontana da condizioni moderate. Si manifesta, dunque, la necessità di integrare almeno il PMV con altri indici di *comfort*.

Mentre per ambienti freddi questi indici non sembra siano stati sviluppati, in ambienti caldi esistono almeno tre alternative, rappresentate dall'*Humidex*, dall'indice di calore (*Heat Index* o HI) e dal *Summer Simmer Index* (SSI). Tutti e tre questi indici sono facilmente calcolabili *on line*, sono stati sviluppati in nord-America per esposizioni *outdoor* di soggetti senza particolari tutele, e si basano su due sole quantità (contro le sei del PMV), ovvero temperatura e umidità relativa. Quest'ultimo elemento chiarisce come si tratti di indici assai meno sofisticati del PMV. Tuttavia, va notato che, almeno in ambienti caldo-umidi, essi contengono sicuramente l'informazione essenziale da un punto di vista fisico. Sulla base del confronto, operato per condizioni termo-igrometriche severe, fra il loro andamento e quello dell'indice analitico PHS, si osserva un eccellente accordo che al contrario manca per il PMV, il quale non appare sufficientemente sensibile all'effetto dell'umidità.

L'affidabilità degli indici semplificati

È importante puntualizzare che gli indici semplificati forniscono indicazioni affidabili soltanto se applicati nel loro giusto contesto, ovvero in ambienti caldo-umidi senza esposizione diretta al sole, con velocità dell'aria modesta e impegno metabolico in egual misura modesto. Il vincolo imposto dal rispetto di questi criteri è, comunque, debole, in quanto queste condizioni rappresentano la regola in ambienti moderabili che sono per definizione *indoor* e nei quali, molto raramente, si svolgono compiti di impegno strenuo. Pertanto, se correttamente utilizzata, l'informazione che proviene da questi indici consente una valutazione del rischio che è allo stesso tempo più veloce e spesso non meno affidabile di quella basata sul PMV.

[3] Si veda la *nota 2*.