



CONDIZIONAMENTO DELL'ARIA
RISCALDAMENTO
REFRIGERAZIONE

Turbolenza e correnti d'aria

P.O. Fanger, A.K. Melikov, H. Hanzava, J. Ring

Le correnti d'aria rappresentano un serio problema in molti edifici dotati di impianti di ventilazione o di condizionamento; sovente esse risultano fastidiose anche negli ambienti dei mezzi di trasporto quali autovetture, treni ed aeroplani. Le correnti d'aria sono in genere definite come un raffreddamento localizzato, non voluto, del corpo umano, provocato dal movimento dell'aria. Non è sufficiente che le persone abbiano una sensazione termica neutra, come indicato ad esempio con l'indice PMV [1] [2]; nel caso di persone che svolgono un'attività sedentaria è necessario che il movimento dell'aria abbia un ulteriore requisito, allo scopo di ridurre il rischio delle correnti d'aria.

È ben noto da tempo che questo rischio diventa maggiore con l'aumento della velocità media dell'aria e con la diminuzione della temperatura dell'aria. Fanger e Pedersen [3] hanno accertato che anche le oscillazioni della velocità contribuiscono alla sensazione di fastidio causata dalle correnti d'aria. Nei locali, in effetti, la velocità dell'aria oscilla, come mostrato in figura 1; il flusso d'aria è turbolento.

Le oscillazioni della velocità dell'aria possono essere caratterizzate dall'intensità della turbolenza (fig. 1).

Studi condotti in ambienti reali [4] [5] hanno permesso di individuare che l'intensità della turbolenza è di circa il 30÷60% in ambienti con

ventilazione tradizionale (mista). Fanger e Christensen [6] hanno elaborato un diagramma che indica il rischio delle correnti d'aria in funzione della velocità media e della temperatura dell'aria in tali ambienti. Nei locali con dispositivi di ventilazione oppure nei locali a ventilazione naturale [7] la turbolenza può, spesso, essere minore. Nell'indagine di cui si tratta in questo articolo è stato studiato, in modo sistematico, come l'intensità della turbolenza influisce quantitativamente sul rischio delle correnti d'aria. Questa ricerca è stata descritta dettagliatamente nella pubblicazione [8].

Esperimenti

Durante tre esperimenti 150 persone, abbigliate in modo tale da avere una sensazione termica neutra, sono state esposte ad un flusso d'aria con diversi livelli d'intensità di turbolenza (0÷70%) e temperature dell'aria di 20÷26°C.

Durante ogni esperimento le persone sedute sono state esposte a sei diverse velocità medie dell'aria, con valori da 0,05 a 0,40 m/s. Alle persone è stato chiesto se e quando avvertivano il movimento dell'aria e se provavano più o meno una sensazione sgradevole.

Modello del rischio di correnti d'aria

I risultati dei suddetti esperimenti hanno mostrato che l'intensità della turbolenza ha un notevole influsso sulla sensazione di corrente d'aria. In

P.O. Fanger, A.K. Melikov, H. Hanzava, J. Ring - Laboratory of Heating and Air Conditioning, Technical University of Denmark, Lyngby (Danimarca)

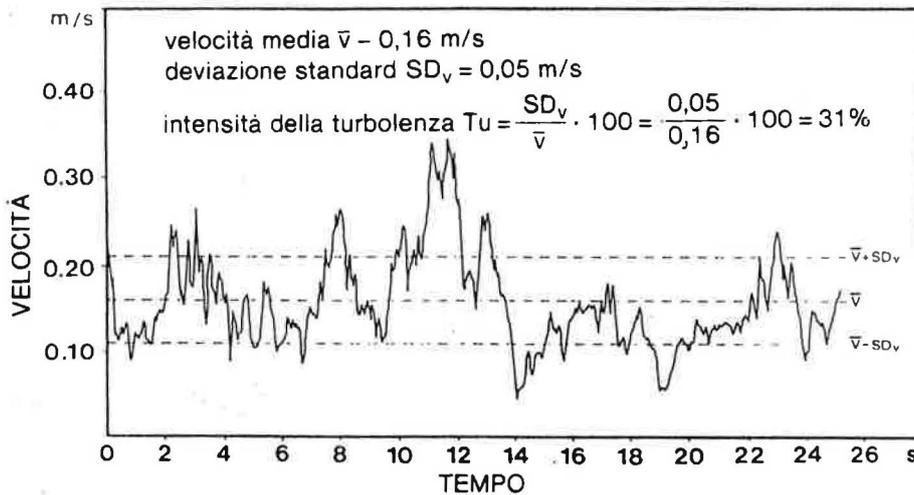


FIGURA 1

Oscillazioni della velocità dell'aria in una zona occupata di un ambiente dotato di un sistema tipico di ventilazione. L'intensità della turbolenza è il rapporto tra la deviazione standard e il valore medio della velocità dell'aria.

base ai risultati è stato elaborato un modello matematico del rischio di correnti d'aria (fig. 2). Il modello indica la percentuale di persone insoddisfatte a causa delle correnti d'aria, in funzione della temperatura dell'aria (t_a), della velocità media dell'aria (\bar{v}) e dell'intensità della turbolenza (Tu).

Alcune caratteristiche del modello sono illustrate nelle figure 3 e 4. La figura 3 mostra il rischio di correnti d'aria in funzione della velocità media e della intensità della turbolenza, ad una temperatura costante dell'aria di 23°C. La figura 4 mostra tutte le combinazioni di velocità media, intensità della turbolenza e temperatura, che provocano la percezione di correnti d'aria da parte del 15% delle persone.

Perché la turbolenza provoca una sensazione fastidiosa? Probabilmente perché i sensi del corpo umano sono particolarmente sensibili alle variazioni. Questo fatto è, ad esempio, utilizzato nel caso delle ambulanze dove i segnali acustici e luminosi vengono dati in modo oscillante per attirare l'attenzione.

In modo simile le oscillazioni della velocità dell'aria inviano segnali al cervello, tramite i termocettori della pelle soggetti ad un inizio di raffreddamento, ogni volta che la velocità aumenta. Tutti questi segnali (in se stessi irrilevanti) sono percepiti come una sensazione fastidiosa, cioè come una corrente d'aria.

Per le persone indossanti un normale vestiario da interno le parti scoperte del corpo, in particolare la zona della testa, si sono dimostrate le più sensibili alle correnti d'aria.

Il modello può essere usato per tutte le altezze della zona occupata di un ambiente, anche se potrebbe tendere a sopravvalutare il rischio di correnti d'aria sugli arti quando queste parti del corpo sono coperte (maniche lunghe, pantaloni, calze).

Nelle applicazioni pratiche il modello può essere usato per quantificare il rischio di correnti d'aria negli ambienti mediante misurazioni della velocità media dell'aria, della intensità della turbolenza e della temperatura dell'aria nella zona occupata del locale. Il modello può anche servire per valutare il rischio di correnti d'aria in base a dati forniti da computer, relativi a velocità media dell'aria, intensità della turbolenza e temperatura dell'aria negli ambienti dotati di dispositivi di ventilazione.

MODELLO DI RISCHIO DI CORRENTI D'ARIA

$PD = (34 - t_a) (\bar{v} - 0.05)^{0.62} (0.37 \bar{v} Tu + 3.14)$

per $\bar{v} < 0,05$ m/s inserire $\bar{v} = 0,05$ m/s,
 per $PD > 100\%$ usare $PD = 100\%$
 dove PD = (Percentage Dissatisfied) percentuale di persone insoddisfatte a causa di correnti d'aria (%)

t_a = temperatura dell'aria (°C)
 \bar{v} = velocità media dell'aria (m/s)
 Tu = intensità della turbolenza (%)

FIGURA 2

Il modello indica la percentuale di persone insoddisfatte a causa delle correnti d'aria, in funzione della temperatura dell'aria, della sua velocità media e dell'intensità della turbolenza. Il modello vale per persone in attività sedentaria.

INSODDISFATTI

FIGU
 Perce
 tensit
 calcol
 diagra
 23°C.

Per v
 zione
 l'ADF
 Il nuc
 per la
 suster
 rischi
 si sis
 sere
 l'aria
 una
 quest
 dersi,
 l'aria
 L'influ
 sensa
 molte
 anche
 dell'a
 me r
 neces
 includ
 provo
 defini
 tabile

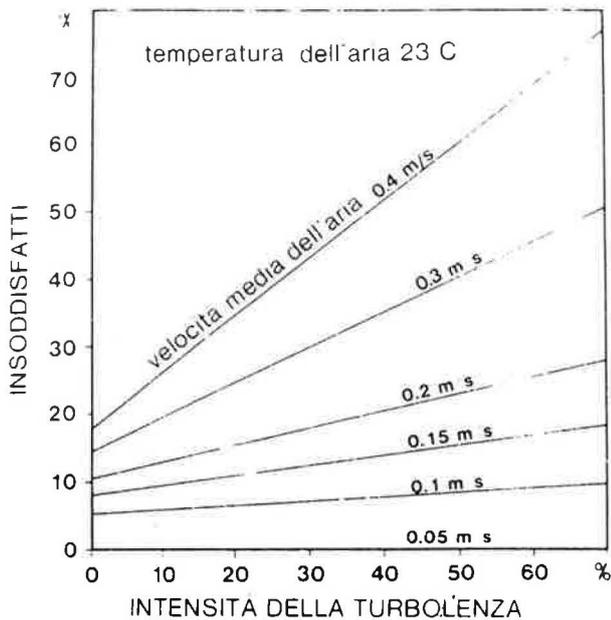


FIGURA 3

Percentuale di persone insoddisfatte in funzione dell'intensità della turbolenza e della velocità media dell'aria, calcolata in base al modello di rischio di correnti d'aria. Il diagramma si riferisce ad una temperatura dell'aria di 23°C.

Per valutare le prestazioni dei sistemi di distribuzione dell'aria nei locali è stato spesso adottato l'ADPI (Air Diffusion Performance Index) [9] [10]. Il nuovo modello offre un metodo più avanzato per la valutazione delle prestazioni dei suddetti sistemi, in quanto permette di calcolare anche il rischio delle correnti d'aria. Il confronto tra diversi sistemi di distribuzione dell'aria dovrebbe essere effettuato con una temperatura fissata dell'aria nella zona occupata, ad esempio 22°C, ad una data altezza dal pavimento. L'impiego di questo modello dovrebbe incoraggiare il diffondersi, in futuro, di sistemi di distribuzione dell'aria con un basso rischio di correnti d'aria.

L'influsso dell'intensità della turbolenza sulla sensazione di corrente d'aria potrebbe spiegare molte lamentele che in pratica vengono fatte anche quando la velocità media e la temperatura dell'aria sono in conformità con le esistenti norme relative al benessere [2] [11]. Si ritiene necessario aggiornare queste norme in modo da includere questo nuovo fattore nelle cause che provocano le correnti d'aria. Una norma potrebbe definire una percentuale, realisticamente accettabile, di persone insoddisfatte a causa delle

correnti d'aria, ad esempio il 15%. Il modello allora individua quale è il limite per un movimento d'aria accettabile, come mostrato in figura 4.

Conclusioni

- La turbolenza di un flusso d'aria ha un notevole impatto sulla sensazione di corrente d'aria.
- È stato sviluppato un modello matematico mediante il quale si può stabilire la percentuale di persone insoddisfatte a causa delle correnti d'aria, in funzione della velocità media dell'intensità della turbolenza e della temperatura dell'aria. Il modello viene applicato considerando persone in attività sedentaria.
- Il modello può essere un mezzo utile per quantificare il rischio di correnti d'aria nei locali, mediante misurazione dei tre parametri fisici suddetti.
- Il modello fornisce una base razionale per aggiornare i limiti del movimento dell'aria fissati nelle esistenti norme sul benessere termico.

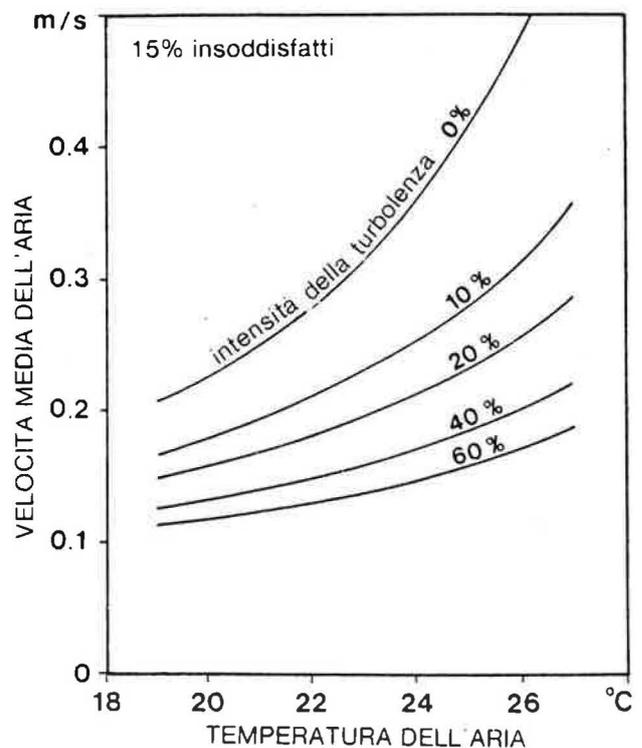


FIGURA 4

Combinazioni di velocità media dell'aria, temperatura dell'aria ed intensità della turbolenza, che provocano il 15% di persone insoddisfatte. Calcolato in base al modello di rischio di correnti d'aria.

Bibliografia

- [1] Fanger, P.O.: Thermal Comfort. Robert E. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 1982, 244 p.
- [2] ISO 7730: Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. International Standards Organization (ISO), Ginevra, 1984.
- [3] Fanger, P.O. and Pedersen, C.J.K.: Discomfort due to air velocities in spaces. Proc. of the meeting of Commission B1, B2, E1 of the IIR, Belgrado, 1977, 4 pp. 289-296.
- [4] Thorshauge, J.: Air velocity fluctuations in the occupied zone of ventilated spaces. ASHRAE Trans., Vol. 88, Part 2, 1982, pp. 753-764.
- [5] Hanzawa, H., Melikov, A.K., and Fanger, P.O.: Airflow characteristics in the occupied zone of ventilated spaces. ASHRAE Trans., Vol. 93, Part 1, 1987, pp. 524-539.
- [6] Fanger, P.O. and Christensen, N.K.: Perception of draught in ventilated spaces, Ergonomics, Vol. 29, No. 2, 1986, pp. 215-235.
- [7] Melikov, A., Hanzawa, H. and Fanger, P.O.: Airflow characteristics in the occupied zone of heated spaces without mechanical ventilation. ASHRAE Trans., Vol. 94, Part 1, 1988.
- [8] Fanger, P.O., Melikov, A.K., Hanzawa, H. and Ring, J.: Air turbulence and sensation of draught. Energy and Buildings, Vol. 12, No. 1, 1988, pp. 21-39.
- [9] Miller, P.L. and Nevins, R.G.: Room air distribution with an air distributing ceiling. Part 2. ASHRAE Trans., Vol. 75, Part 1, 1969, p. 118.
- [10] Miller, P.L.: Room air diffusion systems design techniques: The air diffusion performance index. ASHRAE Journal, Aprile 1977, pp. 37-40.
- [11] ASHRAE Standard 55-81, Thermal environmental conditions for human occupancy. ASHRAE, Atlanta, 1981.

*Titolo originale "Turbulence and draught".
Traduzione a cura di Nanda Cane Cattaneo.*

1. I
Nell
amb
tanz
scar
tali
delle
asse
della
ca
tra
feno
Spe
pre
re e
feno
ne
tura
ture
son
all'a
cas
pos
bier
calo
di il
Dott
cani
prof
sità
prof
di R