

# Il microclima negli uffici

Le condizioni microclimatiche degli spazi di lavoro confinati non provocano in genere ripercussioni immediate sulla salute, ma l'alterazione di una serie di parametri fisici (temperatura, umidità relativa, velocità dell'aria), in relazione alle caratteristiche costruttive dell'ambiente, può spesso determinare una subdola patologia accompagnata da sintomi non specifici, ma ripetuti, non riconducibili a uno specifico agente di rischio, e per questo denominata *sick building syndrome*. Questi aspetti, se non risolti, possono essere fonte di discomfort e compromettere la salute e la sicurezza dei lavoratori. Si deve quindi regolare il microclima degli ambienti lavorativi il più vicino possibile alla zona del benessere termico degli individui attraverso il controllo degli sbalzi termici, della qualità dell'aria, dell'aerazione naturale, della ventilazione forzata, della filtrazione e del ricircolo.

**Gabriele Campurra** - Già Responsabile Servizio Medicina ENEA CR Frascati - Consigliere AIRM e Co.Na.Me.Co.

## Definizione

L'insieme degli aspetti fisici che caratterizzano l'aria degli ambienti confinati viene definito «microclima», così come le caratteristiche fisiche dell'aria atmosferica concorrono a determinare il clima di un luogo aperto.

Per «ambienti confinati» si intendono tutte quelle infrastrutture comunque separate dall'ambiente esterno nelle quali, proprio per questa separazione, l'aria assume caratteristiche diverse da quelle climatiche della località in cui ci si trova.

Talora, sotto il termine «microclima» vengono anche considerati gli aspetti relativi all'inquinamento negli spazi confinati; tale incorporazione è in effetti forzata e deve essere considerata come parte dei problemi connessi all'inquinamento *indoor*, la cosiddetta «sindrome dell'edificio malato».

Considerando che la maggior parte della popolazione urbana trascorre il 75-80% del tempo all'interno di edifici chiusi, è facilmente intuibile quale importanza rivesta la qualità del microclima per il benessere dell'uomo.

Vengono qui affrontati i problemi relativi al lavoro svolto in ambienti moderatamente non idonei per quanto riguarda i parametri relativi a temperatura, umidità e ventilazione.

Questi ambienti sono individuati dal fatto che, con «moderati» interventi tecnici, è possibile facilitare il mantenimento delle condizioni di omeotermia dei lavoratori e sono caratterizzati da:

- 1) condizioni ambientali discretamente omogenee e con ridotta variabilità nel tempo;
- 2) assenza di scambi termici diretti fra lavoratore ed ambiente o macchinari, che abbiano effetti rilevanti sul bilancio termico complessivo;
- 3) attività lavorativa di tipo sedentario o con modesto impegno fisico e sostanzialmente analoga per tutti i lavoratori;

4) uniformità del vestiario indossato dai diversi operatori senza obbligo di indossare indumenti particolari.

## Parametri di misura

Si ricordano i «vecchi» parametri di misura del microclima, ormai compresi nelle metodologie elettroniche; tale ricordo è comunque utile per conoscere meglio i singoli parametri che entrano in gioco nella valutazione della temperatura effettiva, e quindi del microclima:

- la temperatura dell'aria rappresenta ovviamente il primo parametro di valutazione;
- l'umidità relativa è data dal rapporto tra l'umidità assoluta, ovvero la quantità di vapore d'acqua (in  $g/m^3$ ) presente in un ambiente, e l'umidità massima, cioè la quantità di vapore;
- l'irraggiamento termico, cioè il calore trasmesso direttamente da un corpo più caldo ad uno più freddo (ad esempio da un termosifone o da una superficie vetrata esposta al sole);
- la velocità dell'aria influisce notevolmente sulle caratteristiche del microclima favorendo la perdita del calore per convezione e per evaporazione. Negli ambienti confinati, quali i locali di ufficio, i movimenti dell'aria sono generalmente bassi.

Sono ora sempre più diffuse delle centraline elettroniche che, collegate ad opportuni trasduttori, permettono di effettuare in modo più semplice e, se necessario, per tempi lunghi tutte le misure sopra indicate. In tali strumenti possono essere anche inseriti i dati relativi a impegno lavorativo (in MET) e a resistenza termica dei vestiti (in CLO) al fine di ottenere altri parametri derivati.

Appare chiaro che i parametri microclimatici indicati, se presi singolarmente, non riescono ad esprimere la reale condizione di benessere o disagio termico in cui si viene a trovare l'or-

ganismo esposto. Pertanto, per la valutazione della sensazione termica, sono stati proposti vari indici che si ricavano da diverse combinazioni dei dati sopra indicati. Inoltre, in seguito al generale miglioramento delle condizioni microclimatiche negli ambienti lavorativi e all'adozione in molti di essi di impianti di condizionamento, sono stati anche proposti indici più complessi atti a verificare l'esistenza di condizioni soggettive di benessere termico.

Tra i cosiddetti "indici di *comfort* termico" (condizione mentale che esprime soddisfazione in rapporto all'ambiente termico) il più utilizzato è il PMV (*Predicted Mean Vote*) di Fanger. L'indice predice la sensazione termica soggettiva valutata su una scala a 7 gradini (da +3 molto caldo a -3 molto freddo) espressa da soggetti esposti alle stesse condizioni microclimatiche. La norma UNI EN ISO 7730 propone per il mantenimento del *comfort* termico, valori di PMV compresi tra +0,5 e -0,5.

L'equazione che descrive il bilancio energetico sul corpo umano, in termini di energia per unità di tempo (e dunque di potenza), è la seguente:

$$S = M - W \pm C_{RES} \pm E_{RES} \pm K \pm C \pm R - E$$

dove:

M = potenza termica prodotta dai processi metabolici (nelle più recenti normative viene usato il termine «metabolismo energetico»);

W = potenza meccanica impegnata per compiere lavoro meccanico;

$C_{RES}$  = potenza termica scambiata nella respirazione per convezione;

$E_{RES}$  = potenza termica scambiata nella respirazione per evaporazione;

K = potenza termica scambiata per conduzione;

C = potenza termica scambiata per convezione;

R = potenza termica scambiata per irraggiamento;

E = potenza termica ceduta per evaporazione (traspirazione e sudorazione);

S = differenza tra la potenza termica acquisita e dissipata dal corpo umano.

I termini  $C_{RES}$ ,  $E_{RES}$ , K, C, R sono preceduti dal segno "+" se nello scambio termico sia guadagno netto di energia, viceversa sono preceduti dal segno "-" se si ha perdita netta di energia. Quando  $S = 0$  viene stabilita la condizione di omeotermia con la conseguente sensazione termicamente neutra. Se  $S > 0$  la potenza termica in ingresso è maggiore di quella in uscita, con conseguente sensazione di caldo. Se  $S < 0$  la potenza termica in ingresso è minore di quella in uscita, con conseguente sensazione di freddo.

Il PMV è basato sulla rielaborazione della equazione del bilancio termico tenendo conto della combinazione di:

- temperatura dell'aria;
- temperatura radiante media;
- velocità dell'aria;

- pressione di vapore dell'aria ambiente;
- dispendio energetico misurato;
- resistenza termica dell'abbigliamento (in CLO).

## Indici di valutazione

In sintesi, i principali indici di valutazione per ambienti moderati sono i seguenti.

• TE (*temperatura effettiva*): rappresenta il confronto tra l'effetto termico prodotto dalla stessa temperatura in un ambiente con aria ferma e umidità relativa = 100% e in quello sottoposto a indagine con i valori di umidità relativa e velocità dell'aria misurati.

La TE è ricavata, con l'ausilio di opportuni grafici, dai valori dei due termometri dello psicometro e dalla velocità dell'aria. Da queste tabelle sono state anche ricavate le cosiddette zone di benessere termico che, per l'estate vanno da 19°C a 23,6°C e, per l'inverno da 17,4°C a 22°C. Non bisogna dimenticare che uno dei problemi connessi alla presenza di impianti di condizionamento è legato agli sbalzi termici subiti dai soggetti in entrata/uscita dall'ambiente condizionato; tali sbalzi sono naturalmente possibili sia in inverno che in estate, comunque le situazioni più critiche si presentano in corrispondenza di condizioni estive estreme nelle quali non è difficile creare differenze dell'ordine di 10-15°C fra interno ed esterno. Si consiglia pertanto di aumentare la temperatura interna nei giorni estivi più caldi in modo da non esasperare la differenza interno/esterno.

Poiché tuttavia l'ambiente deve essere comunque adattato primariamente alle esigenze di chi vi lavora, non vanno superati i valori di temperatura dell'aria che definiscono il limite superiore del *comfort* per condizioni tipiche estive, ad esempio 26°C per attività molto moderate.

• TEC (*temperatura effettiva corretta*): simile alla precedente, con l'introduzione della temperatura del globotermometro al posto di quella del termometro a bulbo asciutto. Viene utilizzata negli ambienti dove si riscontrino più elevati indici di radiazione termica.

I limiti proposti sono 30° TE o TEC per lavoro sedentario, 28°C per lavoro moderato, 26°C per lavoro pesante.

• WBGT (*indice temperatura bulbo bagnato-globotermometro*): si ricava dalla temperatura del termometro a bulbo asciutto, da quello a bulbo bagnato e dal globotermometro.

• PMV (*predicted mean vote*) e PPD (*predicted percentage of dissatisfied*): il primo rappresenta il valore medio della sensazione soggettiva di benessere (o meno) termico, la seconda, strettamente correlata, è la predizione della percentuale delle persone insoddisfatte.

La valutazione di questi indici, noti come "indici di Fanger" è effettuata tramite centraline computerizzate, dopo l'inserimento dei paramet-

tri relativi a MET e CLO, e si basa sulle seguenti formule:

$$PMV = (0,303 \times e^{0,036M} + 0,0275) \times L$$

$$PPD = 10 - [95 \times e^{0,03353PMV^4} + 0,2179PMV^2]$$

dove:

M = metabolismo in  $W/m^2$  o in met;

L = carico termico legato alle seguenti variabili: temperatura dell'aria, temperatura media radiante, velocità dell'aria, pressione parziale di vapore e resistenza termica del vestiario in CLO;

MET = metabolismo/unità termica di dispersione del calore metabolico:

- 1 MET = 5 kcal/m<sup>2</sup>/h = attività sedentaria;

- 4 MET = 200 kcal/m<sup>2</sup>/h = lavoro leggero;

- 7 MET = 350 kcal/m<sup>2</sup>/h = lavoro moderato;

- 10 MET = 500 kcal/m<sup>2</sup>/h = lavoro pesante;

CLO (cloting) = unità di resistenza termica del vestiario:

- 0 CLO = uomo nudo

- 0,5 CLO = abito leggero

- 1,2 CLO = abito pesante europeo

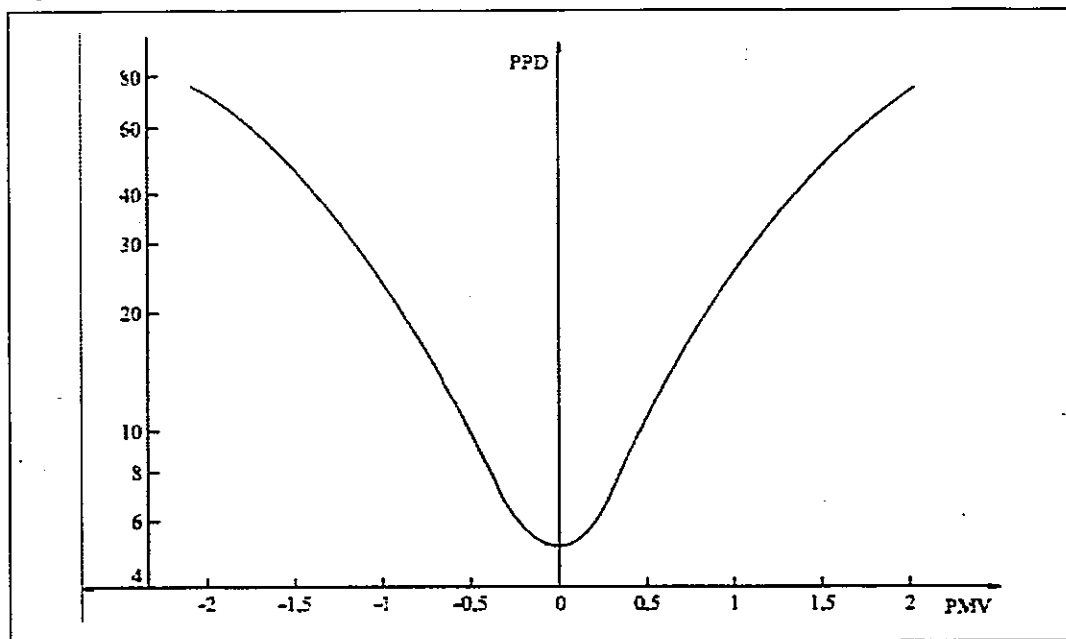
- 3/4 CLO = abito zone polari

L'utilizzazione di classificazioni di tipo generico per quanto riguarda MET e CLO, può rendere poco precisi gli "indici di Fanger" che, peraltro, sono considerati validi solo per ambienti termici moderati e con velocità dell'aria ridotta. Come si evidenzia nella Tabella 1, il PMV e il PPD sono strettamente correlati e si osserva che anche a valori di PMV = 0, ovvero in condizioni microclimatiche teoricamente ottimali, esiste una percentuale del 5% di insoddisfatti; è anzi interessante osservare che in condizioni disagiate, esiste sempre una percentuale di insoddisfatti per condizioni opposte, ad esempio, con un PMV pari a -0,8 (quindi freddo), esiste sempre una percentuale di 0,1% che ha una sensazione di caldo (v. Figura 1). Comunque un ambiente viene ritenuto accettabile per valori di  $PMV \pm 0,5$  e corrispondente  $PPD \approx 10\%$ . Tutti gli indici finora descritti sono validi per esprimere le condizioni microclimatiche di un

Tabella I - Correlazione tra PMV e PPD di Fanger

| PMV  | PPD                  |                     |        |
|------|----------------------|---------------------|--------|
|      | Sensazione di freddo | Sensazione di caldo | Totale |
| -2,0 | 76,4%                | —                   | 76,4%  |
| -1,5 | 52,0%                | —                   | 52,0%  |
| -1,0 | 26,8%                | —                   | 26,8%  |
| -0,9 | 22,5%                | —                   | 22,5%  |
| -0,8 | 18,7%                | 0,1%                | 18,8%  |
| -0,7 | 15,3%                | 0,2%                | 15,5%  |
| -0,6 | 12,4%                | 0,3%                | 12,7%  |
| -0,5 | 9,9%                 | 0,4%                | 10,3%  |
| -0,4 | 7,7%                 | 0,6%                | 8,3%   |
| -0,3 | 6,0%                 | 0,9%                | 6,9%   |
| -0,2 | 4,5%                 | 1,3%                | 5,8%   |
| -0,1 | 3,4%                 | 1,8%                | 5,2%   |
| 0    | 2,5%                 | 2,5%                | 5,0%   |
| 0,1  | 1,8%                 | 3,4%                | 5,2%   |
| 0,2  | 1,3%                 | 4,5%                | 5,8%   |
| 0,3  | 0,9%                 | 5,9%                | 6,8%   |
| 0,4  | 0,6%                 | 7,7%                | 8,3%   |
| 0,5  | 0,4%                 | 9,8%                | 10,2%  |
| 0,6  | 0,3%                 | 12,2%               | 12,5%  |
| 0,7  | 0,2%                 | 15,2%               | 15,4%  |
| 0,8  | 0,1%                 | 18,5%               | 18,6%  |
| 0,9  | —                    | 22,2%               | 22,2%  |
| 1,0  | —                    | 26,4%               | 26,4%  |
| 1,5  | —                    | 51,4%               | 51,4%  |
| 2,0  | —                    | 75,7%               | 75,7%  |

Figura 1 - Percentuali di insoddisfatti per i diversi valori di PMV



determinato ambiente; non possono però essere considerati assoluti, in quanto esiste una notevole variabilità individuale nelle risposte adattative a diverse condizioni climatiche.

Il calcolo degli indici PMV e PPD può essere eseguito mediante il *software* che viene solitamente fornito a corredo di una centralina di misura (1).

Non bisogna dimenticare che gli indici di PMV e PPD risultano idonei per la valutazione di ambienti termici "moderati" e soltanto in presenza di condizioni microclimatiche stazionarie. Nel quantificare la tolleranza con la quale le condizioni non stazionarie possono essere comunque valutate, il nuovo standard internazionale ISO/FDIS 7730:2005 specifica che:

- in caso di fluttuazioni di temperatura cicliche, la variazione picco-picco deve essere inferiore a 1°C;
- in caso di derivate termiche, il gradiente non deve superare i 2°C.

Oltre al "discomfort globale", sopra descritto, sono anche stati evidenziati numerosi fattori di "discomfort locale" dovuti alla presenza di disomogeneità nella riscaldamento o nella raffreddamento del corpo umano; in particolare tali fattori sono:

- 1) correnti d'aria;
- 2) gradiente verticale di temperatura;
- 3) pavimenti con temperatura eccessivamente alta o bassa;
- 4) asimmetria radiante.

I valori limite per gli indici di "discomfort locale" sono indicati in Tabella 2.

Un ambiente termico "moderato" viene considerato confortevole, secondo la norma tecnica UNI EN ISO 7730, quando sono soddisfatti sia i criteri di *comfort* globale, sia quelli locali; in pratica:

a) PMV risulta in valore assoluto pari o inferiore a 0,5 in modo da mantenere il PPD a un livello pari o inferiore al 10%;

b) ciascuno dei fattori di *discomfort* locale si trovi all'interno degli intervalli previsti nella tabella sopra riportata; sia pertanto tale da mantenere la relativa percentuale di insoddisfatti inferiore alla PD massima raccomandata.

In tutti i casi in cui sia possibile, è doveroso da parte del datore di lavoro di provvedere a rendere il microclima degli ambienti lavorativi il più possibile prossimo alla zona del benessere termico ( $t = 18-20^{\circ}\text{C}$ ; U.R. = 40-60%; velocità dell'aria = 0,05-0,3 m/s) mediante idonei impianti di riscaldamento, ventilazione e condizionamento.

## Normativa legale

La vigente normativa legale non prevede limiti fissi dei parametri microclimatici; salvo che per alcune lavorazioni particolari, viene sempre prospettata la necessità generica di assicurare ai lavoratori un certo benessere termico anche in funzione del lavoro svolto. In effetti in molti articoli di varie leggi e decreti vengono date delle indicazioni circa le caratteristiche del microclima negli ambienti di lavoro valutato nei suoi tre parametri principali.

Occorre in primo luogo ricordare la norma di chiusura sancita dall'art. 2087 cod. civ. che prescrive l'obbligo per il datore di lavoro di «adot-

### Nota:

(1) Un utile *software* di calcolo degli indici PMV e PPD è disponibile, gratuitamente, on line, all'indirizzo <http://www.tecnicit/software.html>.

**Tabella 2 - Valori limite per gli indici di *discomfort* locale**

| Parametro                           | Limite massimo<br>(Intervallo di accettabilità)                                          | PPD<br>(% di insoddisfatti)<br>massima raccomandata |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Correnti d'aria                     | $V_{a,l} < 0,11 - 0,15 \text{ m/s (20°C)}$<br>$V_{a,l} < 0,17 - 0,26 \text{ m/s (20°C)}$ | 15%                                                 |
| Differenza verticale di temperatura | $\Delta t_{a,v} < 3°C$                                                                   | 5%                                                  |
| Temperatura del pavimento           | $19°C < t_f < 29°C$                                                                      | 10%                                                 |
| Asimmetria radiante                 | $\Delta t_{pr} < 10°C$ (verticale)<br>$\Delta t_{pr} < 5°C$ (orizzontale)                | 5%                                                  |

tare le misure che, secondo la particolarità del lavoro, l'esperienza e la tecnica sono necessarie a tutelare l'integrità fisica e la personalità morale dei lavoratori». Questa norma, in combinazione con le pur generiche prescrizioni della legislazione vigente, impone al datore di lavoro di attuare tutte quelle misure rese possibili dal progresso tecnologico al fine di migliorare le condizioni climatiche dell'ambiente di lavoro. Il Titolo II del D.Lgs. n. 81/2008 è dedicato ai «Luoghi di lavoro»; il Capo I all'art. 63, comma 1, precisa che i luoghi di lavoro devono essere conformi ai requisiti indicati nell'Allegato IV; nel successivo art. 64 viene ribadito l'obbl-

go per il datore di lavoro di provvedere affinché i luoghi di lavoro siano conformi ai requisiti di cui all'art. 63, comma 1.

Il datore di lavoro è punito con l'arresto da due a quattro mesi o con l'ammenda da 1.000 a 4.800 euro (art. 68, comma 1, lett. b) per la violazione dell'art. 64, comma 1 («Requisiti dei luoghi di lavoro»).

L'Allegato IV è suddiviso in sei parti di cui la prima, dedicata agli «Ambienti di lavoro», indica precise disposizioni anche in merito al microclima (punto 1.9).

Gli aspetti essenziali di tali disposizioni sono elencati in Tabella 3.

**Tabella 3 - Microclima (D.Lgs. n. 81/2008, Allegato IV)**

| 1.9.1. Aerazione dei luoghi di lavoro chiusi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.9.1.1. Nei luoghi di lavoro chiusi, è necessario far sì che tenendo conto dei metodi di lavoro e degli sforzi fisici ai quali sono sottoposti i lavoratori, essi dispongano di aria salubre in quantità sufficiente ottenuta preferenzialmente con aperture naturali e quando ciò non sia possibile, con impianti di aerazione.                                                                                 |
| 1.9.1.2. Se viene utilizzato un impianto di aerazione, esso deve essere sempre mantenuto funzionante. Ogni eventuale guasto deve essere segnalato da un sistema di controllo, quando ciò è necessario per salvaguardare la salute dei lavoratori.                                                                                                                                                                 |
| 1.9.1.3. Se sono utilizzati impianti di condizionamento dell'aria o di ventilazione meccanica, essi devono funzionare in modo che i lavoratori non siano esposti a correnti d'aria fastidiosa.                                                                                                                                                                                                                    |
| 1.9.1.4. Gli stessi impianti devono essere periodicamente sottoposti a controlli, manutenzione, pulizia e sanificazione per la tutela della salute dei lavoratori.                                                                                                                                                                                                                                                |
| 1.9.1.5. Qualsiasi sedimento o sporcizia che potrebbe comportare un pericolo immediato per la salute dei lavoratori dovuto all'inquinamento dell'aria respirata deve essere eliminato rapidamente.                                                                                                                                                                                                                |
| 1.9.2. Temperatura dei locali                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 1.9.2.1. La temperatura nei locali di lavoro deve essere adeguata all'organismo umano durante il tempo di lavoro, tenuto conto dei metodi di lavoro applicati e degli sforzi fisici imposti ai lavoratori.                                                                                                                                                                                                        |
| 1.9.2.2. Nel giudizio sulla temperatura adeguata per i lavoratori si deve tener conto della influenza che possono esercitare sopra di essa il grado di umidità ed il movimento dell'aria concomitanti.                                                                                                                                                                                                            |
| 1.9.2.3. La temperatura dei locali di riposo, dei locali per il personale di sorveglianza, dei servizi igienici, delle mense e dei locali di pronto soccorso deve essere conforme alla destinazione specifica di questi locali.                                                                                                                                                                                   |
| 1.9.2.4. Le finestre, i lucernari e le pareti vetrate devono essere tali da evitare un soleggiamento eccessivo dei luoghi di lavoro, tenendo conto del tipo di attività e della natura del luogo di lavoro.                                                                                                                                                                                                       |
| 1.9.2.5. Quando non è conveniente modificare la temperatura di tutto l'ambiente, si deve provvedere alla difesa dei lavoratori contro le temperature troppo alte o troppo basse mediante misure tecniche localizzate o mezzi personali di protezione.                                                                                                                                                             |
| 1.9.2.6. Gli apparecchi a fuoco diretto destinati al riscaldamento dell'ambiente nei locali chiusi di lavoro di cui al precedente articolo, devono essere muniti di condotti del fumo privi di valvole regolatrici ed avere tiraggio sufficiente per evitare la corruzione dell'aria con i prodotti della combustione, ad eccezione dei casi in cui, per l'ampiezza del locale, tale impianto non sia necessario. |
| 1.9.3 Umidità                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 1.9.3.1 Nei locali chiusi di lavoro delle aziende industriali nei quali l'aria è soggetta ad inumidirsi notevolmente per ragioni di lavoro, si deve evitare, per quanto è possibile, la formazione della nebbia, mantenendo la temperatura e l'umidità nei limiti compatibili con le esigenze tecniche.                                                                                                           |

La seconda parte dell'Allegato IV (cui si rimanda per una attenta lettura degli obblighi connessi) è dedicata alla presenza nei luoghi di lavoro di agenti nocivi, che verranno trattati *infra* (par. Sindrome dell'edificio malsano).

## Valutazione del rischio e controllo del microclima nell'ambiente di lavoro

Nell'affrontare la valutazione del rischio microclimatico negli ambienti di lavoro è fondamentale innanzitutto distinguere tra gli ambienti cosiddetti "moderati" e quelli nei quali le esigenze lavorative impongono dei parametri sicuramente non ottimali.

In pratica per "ambiente moderato" si intende quel locale in cui si svolga una qualunque attività lavorativa anche intensa; in altre parole un ambiente termicamente moderato non è solo il locale ad uso ufficio, ma anche un'officina meccanica, un laboratorio, una carrozzeria ecc., in definitiva la grande maggioranza dei luoghi di lavoro.

In questi ambienti la valutazione del rischio può esaurirsi con una valutazione preliminare, considerando gli standard di settore e ascoltando le valutazioni soggettive dei lavoratori.

Una semplice valutazione preliminare può seguire una banale lista come quella illustrata in Tabella 4.

In caso di risposte entrambe negative, la valutazione potrebbe esaurirsi a questo livello, in caso contrario occorre proseguire con la valutazione. In tal caso la chiave di lettura per ottenere una corretta interpretazione dei risultati delle misurazioni può basarsi sulle seguenti tre aree di riferimento:

- "area di *comfort*" con  $PMV = +0,5$  ( $PPD = 10\%$ ) ovvero  $PMV = -0,5$  ( $PPD = 10\%$ ); in tali aree eventuali lamentele appaiono improbabili o dovute a fattori locali di *discomfort*, eventualmente da approfondire;
- "area di *discomfort*" con  $+0,5 < PMV = +2$  ( $PPD = 77\%$ ) ovvero  $-0,5 > PMV = -2$  ( $PPD = 77\%$ ); in questa condizione si osservano frequenti manifestazioni di disagio dei lavoratori che, se non occasionali richiedono interventi correttivi, programmabili ma da prevedere;
- "area di allarme" con presenza ricorrente di  $PMV > +2$  ( $PPD > 77\%$ ) ovvero  $PMV < -2$  ( $PPD > 77\%$ ); situazione questa indicativa di

carenze progettuali o costruttive con esigenza di interventi tecnici urgenti.

In tali condizioni, ai sensi del D.Lgs. n. 81/2008, è diritto del lavoratore abbandonare il posto di lavoro e il datore di lavoro deve astenersi da richiedere di riprendere l'attività.

I disturbi collegati a una temperatura ambientale eccessiva sono essenzialmente correlati a un maggiore affaticamento sia fisico, sia mentale e ad una eccessiva perdita di liquidi con conseguente comparsa di sintomi aspecifici (cefalea, scarsa capacità di concentrazione ecc.). Le soluzioni da adottare per evitare un eccesso di temperatura ambientale e garantire quindi un'adeguata temperatura effettiva corretta (TEC) che, si ricorda, deve essere di 19-23°C (comunque senza eccessivi «sbalzi termici») in estate e di 17-21°C in inverno, sono:

- a) garantire un buon isolamento termico dell'ambiente;
  - b) predisporre un adeguato impianto di condizionamento dell'ambiente;
  - c) evitare gli eccessi di superfici vetrate che, in estate, aumentano notevolmente il calore da irraggiamento solare;
  - d) predisporre una regolazione termostatica dell'impianto di riscaldamento;
  - e) controllare gli altri parametri che influiscono sulla TEC: umidità relativa e velocità dell'aria;
  - f) evitare un'eccessiva concentrazione di macchinari che producono calore in un unico ambiente a causa del calore disperso dagli stessi.
- Una temperatura ambientale scarsa può provocare la comparsa o l'aggravamento di manifestazioni patologiche da «perfrigerazione» quali: riniti, tracheiti, dolori artrosici ecc.

Le principali soluzioni da adottare sono:

- a) garantire un buon isolamento termico dell'ambiente;
  - b) predisporre un adeguato impianto di riscaldamento dell'ambiente;
  - c) evitare gli eccessi di superfici vetrate che, in inverno, aumentano la dispersione di calore all'esterno;
  - d) predisporre una regolazione termostatica dell'impianto di riscaldamento;
  - e) controllare gli altri parametri che influiscono sulla TEC: umidità relativa e velocità dell'aria.
- Anche le eccessive differenze di temperatura

Tabella 4 - Impiantistica, attrezzature e rischi connessi

| Quesito                                                                                                                                                   | Intervento eventuale                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Esistono in azienda locali nei quali non è garantito il controllo del microclima secondo i requisiti o gli standard del tipo di ambiente?                 | Installare sistemi di climatizzazione del tipo adatto agli ambienti.                 |
| Sono stati segnalati problemi connessi al microclima, quali correnti d'aria fastidiose ambienti troppo caldi o freddi, con alta o bassa umidità relativa? | Verificare l'attendibilità della segnalazione, identificarne le cause e intervenire. |

localizzate in zone o livelli diversi dello stesso ambiente creano disagi legati all'esposizione a temperature diverse delle varie parti del corpo; in particolare risulta particolarmente fastidiosa o, talora, dannosa una temperatura maggiore a livello del capo rispetto alle estremità inferiori. È utile pertanto predisporre un adeguato impianto di condizionamento/riscaldamento dell'ambiente, evitando di concentrare il calore nelle parti più alte dei locali e provvedere a collocare a distanza le apparecchiature che possono produrre calore. Anche se il parametro principale da valutare e tenere sotto controllo è quello relativo alla temperatura effettiva, spesso, pur nel rispetto di tale valore, si possono creare disagi legati a valori inadeguati di uno solo degli altri indici: umidità relativa e ventilazione.

Una **umidità eccessiva** influisce negativamente sulla temperatura effettiva, esasperando i disagi sia da caldo, sia da freddo; al contrario in un ambiente eccessivamente secco, si osservano disturbi a carico delle prime vie aeree (secchezza delle mucose) e, soprattutto, degli occhi: bruciore, irritazione, prurito, senso di corpo estraneo. Occorre pertanto prevedere un adeguato impianto di climatizzazione ambientale in modo che venga garantito un valore di umidità relativa compreso tra il 30% e il 70%, con valori ottimali tra il 50% e il 60%.

Una **ventilazione eccessiva** influisce negativamente sulle condizioni microclimatiche, aumentando eccessivamente la dispersione di calore dell'organismo, invece una ventilazione scarsa, oltre a favorire l'inquinamento *indoor*, riduce la dispersione di calore dell'organismo. L'impianto di ventilazione ambientale deve essere pertanto strutturato in modo che vengano garantiti 3-4 ricambi d'aria all'ora con velocità dell'aria inferiore a 0,3 m/s nell'ambiente e 0,1-0,2 m/s sul posto di lavoro.

## Sindrome dell'edificio malsano

Con il termine «Sindrome dell'edificio malsano» (*Sick Building Syndrome - SBS*) viene indicato un complesso quadro sintomatologico che coinvolge diversi organi e apparati che generalmente interessa soggetti che lavorano in edifici moderni ventilati artificialmente e dotati di condizionamento dell'aria. Nel corso degli ultimi decenni sono stati descritti numerosi episodi di tale sindrome, in particolare negli Stati Uniti e nei Paesi dell'Europa Settentrionale.

Vengono sempre più frequentemente descritte malattie o situazioni di malessere correlate alla permanenza negli ambienti di lavoro, indipendentemente dalla presenza o esposizione a specifici agenti nocivi; queste patologie, indicate globalmente con il nome di «malattie correlate con gli edifici», sono infatti presenti anche tra coloro che lavorano e vivono in immobili adibiti ad uffici, ospedali, scuole, alberghi ecc.; il più

delle volte (ma non esclusivamente) le segnalazioni di tali malattie o stati morbosi riguardano gli occupanti edifici moderni, di grandi dimensioni, dotati di ventilazione artificiale e, spesso, di condizionamento dell'aria; è conseguenziale ritenere che l'eziopatogenesi sia quasi sempre collegata all'inquinamento *indoor*, dovuto alla presenza di inquinanti di natura fisica, chimica e biologica all'interno degli edifici oppure all'alterazione di parametri microclimatici (v. Tabella 5).

Come si vede dalla Figura 2, la causa principale della cattiva qualità dell'aria, in più della metà dei casi, è da attribuire a difetti nella ventilazione o nel condizionamento; un ulteriore 30% è imputabile alla presenza di contaminanti chimici provenienti dall'esterno, da fonti interne o dai materiali di costruzione o arredi.

Le patologie riconducibili alle esposizioni a inquinanti *indoor* sono ascrivibili a tre gruppi principali:

1) quelle aventi un quadro clinico ben definito e per le quali può essere identificato uno specifico agente causale: *Building Related Illness (BRI)* o «Malattia correlata all'edificio». Fra le patologie appartenenti a questo gruppo si ricordano: alveoliti allergiche estrinseche, infezioni da rickettsie, da virus e funghi, asma bronchiale, febbre da umidificatori, febbre di Pontiac e legionellosi. Le patologie appartenenti a questo gruppo sono caratterizzate da una bassa incidenza fra gli occupanti, la patogenesi è di tipo allergico o tossico-infettivo, il quadro clinico di ciascuna malattia è ben definito e la diagnosi si giova di reperti obiettivi clinici e strumentali. Le manifestazioni non si risolvono rapidamente abbandonando il luogo di lavoro;

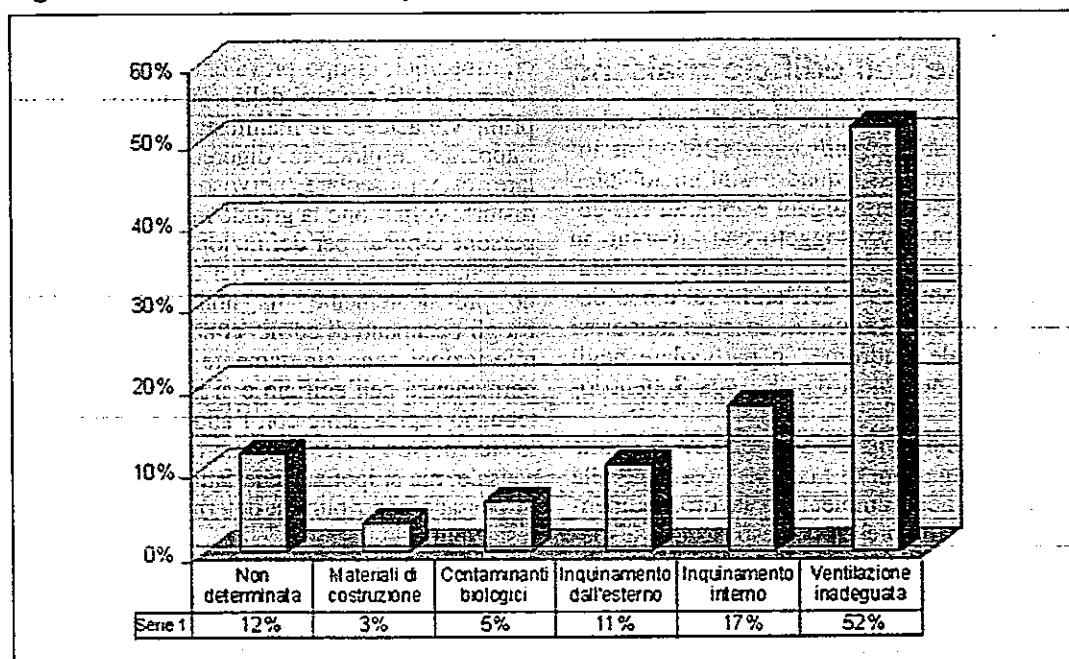
2) quelle caratterizzate da un quadro clinico sfumato non facilmente riconducibili ad un unico agente causale: *Sick Building Syndrome (SBS)* o «Sindrome da edificio malato». La SBS comprende un vero e proprio quadro patologico caratterizzato da disturbi plurisintomatici, di tipo prevalentemente irritativo a carico delle mucose delle congiuntive e delle prime vie aeree e da manifestazioni riguardanti l'apparato respiratorio, digerente, cardiovascolare, osteomuscolare, nervoso e cutaneo. Tali disturbi colpiscono la grande maggioranza delle persone esposte, per definizione l'80% o più, si presentano ripetutamente nel tempo, compaiono prevalentemente ma non esclusivamente fra gli occupanti di edifici condizionati. Le manifestazioni sono strettamente correlate con la permanenza nell'edificio e si risolvono o si attenuano rapidamente con l'allontanamento dallo stesso. Non si riconosce un fattore eziologico causale, ma si ipotizza che fattori di varia natura possano contribuire a determinare tali manifestazioni;

3) quelle comprendenti una sindrome caratterizzata da reazioni negative del corpo umano ad agenti chimici e ambientali presenti a concentrazioni generalmente tollerate dalla maggioranza dei soggetti: *Multiple Chemical Sen-*

**Tabella 5 - Principali inquinanti dell'aria indoor**

| Inquinanti                                                                  | Fonti di emissione                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Biologici                                                                   | Impianti di condizionamento                                                                                                                 |
| Microrganismi                                                               | Persone residenti                                                                                                                           |
|                                                                             | Presenza di animali e/o piante                                                                                                              |
|                                                                             | Tappezzerie e moquette                                                                                                                      |
|                                                                             | Superfici costantemente umide                                                                                                               |
| Composti organici volatili                                                  | Fumo di tabacco                                                                                                                             |
|                                                                             | Emanazioni di fornelli e/o stufe a gas                                                                                                      |
|                                                                             | Particolari materiali di costruzione                                                                                                        |
|                                                                             | Prodotti utilizzati per gli arredi                                                                                                          |
|                                                                             | Prodotti utilizzati per la pulizia                                                                                                          |
|                                                                             | Toner delle fotocopiatrici                                                                                                                  |
|                                                                             | Smog fotochimico (generato dall'azione dei raggi UV delle lampade fluorescenti su alcuni composti volatili organici presenti nell'ambiente) |
| Formaldeide                                                                 | Particolari materiali di costruzione                                                                                                        |
|                                                                             | Prodotti utilizzati per gli arredi                                                                                                          |
|                                                                             | Prodotti utilizzati per la pulizia                                                                                                          |
|                                                                             | Prodotti utilizzati per disinfezione o disinfestazione                                                                                      |
| Particelle respirabili                                                      | Impianti di ventilazione e/o condizionamento                                                                                                |
| Fibre minerali                                                              | Fumo di tabacco                                                                                                                             |
| Fibre artificiali                                                           | Materiali per isolamento termo-acustico                                                                                                     |
| Gas                                                                         | Fumo di tabacco                                                                                                                             |
| (CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> ) | Emanazioni di fornelli e/o stufe a gas                                                                                                      |
|                                                                             | Toner delle fotocopiatrici                                                                                                                  |
|                                                                             | Stampanti laser                                                                                                                             |
|                                                                             | Inquinamento proveniente dall'esterno                                                                                                       |

**Figura 2 - Cause della cattiva qualità dell'aria**





sensitivity (MCS) Syndrome o «Sindrome da sensibilità chimica multipla». L'eziologia e la patogenesi della sindrome MCS non sono ancora chiare: i sintomi sono numerosi e più o meno intensi riguardano prevalentemente il sistema nervoso centrale con insonnia o sonnolenza, difficoltà di concentrazione, stanchezza eccessiva, depressione, ansia. Altri disturbi frequenti sono: congestione nasale, alterazione del gusto, ipersensibilità olfattiva ecc. Secondo la letteratura scientifica prevalente, la sindrome MCS soggiace alle seguenti premesse: sintomatologia pluriorganica, riproducibile e provocata da sostanze numerose e non chimicamente affini, scatenamento dei sintomi per esposizione a concentrazioni di prodotti chimici molto basse, fenomeno arresto-ripresa, assenza di test diagnostici di funzionalità organica.

Le manifestazioni cliniche sono aspecifiche e si presentano associate tra di loro; esse insorgono durante le ore lavorative e si risolvono in genere rapidamente, nel corso di qualche ora o di qualche giorno, una volta abbandonato il luogo di lavoro. I disturbi interessano contemporaneamente più del 20% degli occupanti un dato edificio e, in alcuni casi, anche il 50-60%. La diagnosi di questa sindrome richiede l'esecuzione di indagini epidemiologiche che prevedano il confronto della frequenza dei disturbi tra gli occupanti l'edificio ritenuto malsano con quella registrata tra gli occupanti edifici di controllo. I reperti obiettivi sono scarsi e non contribuiscono ad orientare la diagnosi; l'eziopatogenesi non è stata ancora definita e numerosi fattori sono stati di volta in volta chiamati in causa, tra questi:

- alterazioni di parametri microclimatici all'interno degli edifici (elevata temperatura, bassa umidità relativa, insufficienti ricambi dell'aria);
- illuminazione inadeguata per quanto riguarda i sintomi oculari;
- presenza di inquinanti volatili;
- presenza di microrganismi aerodispersi;
- carenza di ioni negativi nell'aria dei luoghi di lavoro.

È probabile che anche fattori psicosociali (stress lavorativo, difficili rapporti con colleghi e superiori, carico di lavoro ritenuto eccessivo, scarsa gratificazione ecc.) possano influire sulla prevalenza della sintomatologia.

In conclusione, non è stato sinora possibile individuare uno o più fattori causali che ricorrano costantemente in tutti gli episodi di «Sindrome dell'edificio malsano»; l'ipotesi più probabile è che la sindrome sia dovuta a più fattori (di origine fisica, chimica, biologica e psicosociale) che, associandosi variamente tra di loro, agiscono in maniera sinergica. Comunque, un ruolo preminente sembra avere una ventilazione inadeguata, infatti, migliorando la ventilazione si riduce in modo significativo la frequenza dei sintomi. La soluzione dei problemi posti dall'insorgenza di questa sindrome in un edificio si basa essenzialmente sul «trattamento» dell'e-

dificio stesso; è di fondamentale importanza condurre una accurata indagine ambientale al fine di identificare le possibili cause dei disturbi e di rimuoverle.