

## Alcuni appunti in materiali di:

### **STRUMENTI E METODI PER LA PROGETTAZIONE DEL BENESSERE**

L'ambiente in cui viviamo e lavoriamo è un organismo estremamente complesso, per questo:

- si devono affrontare i problemi progettuali in termini multidisciplinari cercando di comprenderne le interazioni e di tenerne conto al momento della definizione degli interventi;
- si deve mantenere una visione critica d'insieme.

La **qualità** di un prodotto non è il suo **eccellere**, cioè distinguersi dagli altri prodotti edilizi, ma la sua capacità di soddisfare le esigenze del fruitore, il suo essere appropriato al **dettato di una norma** o di un **patto contrattuale**.

**Se è vero che la qualità abitativa è qualità urbana e architettonica è soprattutto vero che essa è qualità dell'ambiente interno, cioè benessere termoigrometrico, adeguata illuminazione, assenza di rumori fastidiosi e salubrità dell'aria.**

La progettazione del benessere comprende:

1. Definizione dei requisiti ambientali;
2. Selezione di soluzioni tecnologiche e impiantistiche conformi;
3. Stesura di specifiche di materiali e tecniche;
4. Definizione di procedure di collaudo in opera delle prestazioni ambientali.

Nella progettazione corrente le nozioni di fisica ambientale devono essere fortemente ancorate all'opera progettuale.

Non poche sono le difficoltà incontrate nel definire in sede progettuale i requisiti del benessere perché:

- **Il benessere è individuale e non collettivo:** corrisponde per definizione al soddisfacimento psicofisico di un singolo individuo. Variabilità risposta umana: definizione qualitativa e quantitativa dei parametri ambientali → la via percorsa è stata quella dell'associazione di parametri noti con risposte percettive di gruppi di individui caratterizzati (vedi UNI EN ISO 7730);

- **Il benessere è globale e non singolare**; nella realtà i vari fattori interferiscono fra loro e le percezioni sensoriali si sovrappongono (esempio la Sick Building Syndrome = Sindrome da Edificio Malato);
- **Sovrapposizione** delle condizioni ambientali ritenute ottimali.

## **IL BENESSERE TERMOIGROMETRICO NEGLI AMBIENTI**

Scopo dell'installazione degli impianti di riscaldamento e climatizzazione negli edifici è quello di mantenere le prefissate condizioni dei parametri ambientali:

- il progetto, deve rendere l'**edificio** un **elemento attivo di controllo e regolazione** di tali fattori evitando quanto più possibile l'**uso indiscriminato** degli impianti, e dove necessario massimizzare l'uso di **fonti rinnovabili di energia**.

### **CONDIZIONI DI COMFORT**

**Benessere termoigrometrico**: condizioni per cui i parametri ambientali, agendo sugli scambi sensibili e latenti del corpo umano, annullano le sensazioni di caldo o freddo percepite dall'occupante. Ciò deve avvenire senza interventi massicci del sistema di regolazione del corpo in quanto i relativi interventi estremi risultano fonte di disagio.

## **GLI SCAMBI TERMICI DEL CORPO UMANO CON L'AMBIENTE**

Temperatura corporea = 37°C (limitate variazioni)

Produzione di calore nel corpo: combustione delle sostanze nutritive degli alimenti o dei grassi accumulati.

La produzione di calore è il **FLUSSO METABOLICO**  $Q_M$ .

Gli scambi di potenza del corpo umano risultano dalla somma degli scambi di **LAVORO ESTERNO**  $Q_W$  ( limitati, al max. 150-200 W) e di **Calore**  $Q_T$ .

Per mantenere la temperatura corporea costante nel tempo deve essere:

$$Q_M - Q_W - Q_T = 0 \text{ (W)}$$

Per la macchina corpo umano si introduce il suo rendimento meccanico:

$$\eta = Q_W / Q_M$$

che raggiunge un valore massimo di circa 0,2 in condizioni di attività fisica particolarmente intensa.

In molte attività però il fattore  $Q_M$  si annulla e quindi:

$Q_M - Q_T = 0$  equilibrio termico del corpo umano (quiete e/o attività moderata)

Uso dei parametri unitari, riferiti alla superficie corporea  $S_c$  ( $S_c$  media = 1,80 m<sup>2</sup>).

$$q_M - q_T = 0 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

L'**attività** dell'individuo è legata al suo flusso metabolico ed è stata scelta come grandezza il **met** il cui valore unitario corrisponde al flusso metabolico specifico di un individuo seduto in quiete.

0,7 (persona sdraiata che dorme) < met < 7 (attività fisica molto intensa)

$$1 \text{ met} = 58,2 \text{ W/m}^2$$

La **potenza**  $Q_T$  può essere scambiata sia con meccanismi di scambio termico sensibile che latente (vaporizzaz. o condensaz. di acqua nel corpo umano, sulla superficie esterna del corpo e su quella interna del cavo polmonare).

**Potenza  $Q_T$ :**

- Scambi sensibili esterni
- Scambi latenti esterni
- Scambi sensibili interni
- Scambi latenti interni

### **SCAMBI SENSIBILI ESTERNI**

Avvengono sulla superficie esterna del corpo  $S_e$  (sup. esterna del corpo vestito) con i meccanismi della conduzione (generalmente trascurabile), convezione e irraggiamento.

**Convezione:**  $Q_c = \alpha_c S_e (t_e - t_a)$  (W)  
con  $t_e = \text{temp. Esterna del corpo vestito.}$

**Irraggiamento:**  $Q_r = \alpha_r S_e (t_e - t_{mr})$  (W)

In caso di scambio termico che avvenga alle normali condizioni di temperatura ambientale:  $\alpha_c = \alpha_r$ .

Lo scambio esterno sensibile totale si può anche esprimere in funzione della temperatura operativa  $t_o = (t_a + t_{mr})/2$ :

$Q_c + Q_r = (\alpha_c + \alpha_r) (t_e - t_o)$  (W)

La **RESISTENZA DEGLI ABITI**  $I_{cl}$  specifica viene espressa in una unità particolare: il **clo**, che rappresenta la pesantezza degli abiti indossati.

$$1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2\text{C/W}$$
$$0 \text{ (nudo)} < \text{clo} < 3-4 \text{ (abiti molto pesanti)}$$

### SCAMBI LATENTI ESTERNI

Corpo umano: scambia calore con l'ambiente anche quando si annullano i potenziali che danno origine agli scambi sensibili. Il calore latente è il calore di trasformazione nel passaggio di stato di una certa quantità di acqua (sudore).

Deve esserci una differenza di pressione parziale di vapore fra l'ambiente ed il corpo.

Scambio latente:

- a) Per diffusione attraverso gli strati terminali della pelle (sempre ma modesto):  $Q_{evd}$  (W);
- b) Oppure per evaporazione superficiale diretta (notevole entità; rapporto max. 1:30):  $Q_{evs}$  (W)

Come si ripartisce lo scambio latente fra a) e b)? mediante un **indice di bagnamento**  $\omega$  rapporto fra la superficie che evapora superficialmente  $S_{ev}$  e la superficie corporea totale  $S_c$ :

$$\omega = S_{ev} / S_c \quad 0 < \omega < 1$$

il corpo umano può regolare l'entità dei suoi scambi termici latenti modificando la superficie  $S_{ev}$ .

Sia  $Q_{evd}$  che  $Q_{evs}$  dipendono da:

- Calore latente di trasformazione dell'acqua ( $r = 2512 \text{ kJ/kg}$ )
- Permeabilità degli abiti
- Pressioni di vapore ed titolo dell'aria ed alle condizioni di saturazione della pelle.....

### **SCAMBI SENSIBILI INTERNI (polmonari)**

Portata d'aria ( $G_{po}$ ) che attraversa il cavo polmonare per effetto della respirazione che generalmente è espressa in funzione del flusso metabolico.

Lo scambio sensibile polmonare è  $Q_{spo} = G_{po} c_{pa} (t_{po} - t_a)$

### **SCAMBI LATENTI INTERNI (polmonari)**

Lo scambio latente interno  $Q_{lpo}$  (W) è funzione della quantità di vapore evaporata ed espulsa assieme all'aria espirata  $G_v$  (kg/s) e del calore latente di trasformazione dell'acqua  $r$ .

## **LA VALUTAZIONE DELLE SENSAZIONI PROVATA NEGLI AMBIENTI: dalla ET\* al PMV**

Quando il corpo è in equilibrio termico, la temperatura corporea è costante.

L'equilibrio deriva dal sistema di regolazione.

La **temperatura effettiva (ET)**: uno dei parametri scelti per misurare la sensazione di caldo o freddo

Nei locali con variazioni di temperatura limitate e velocità dell'aria entro i limiti consigliati, sia la velocità dell'aria che l'umidità relativa influiscono poco sulla sensazione provata: restano la temperatura dell'aria ( $t_a$ ) e la temperatura delle superfici che vedono il corpo umano ( $t_{mr}$ ).

Da ciò deriva l'uso della temperatura operativa ( $t_o$ ).

In seguito la sensazione provata è stata misurata anche introducendo il parametro di bagnamento della superficie corporea: ne è derivata la nuova temperatura efficace ET\* che basa la sua determinazione sul confronto con la sensazione provata in ambienti con UR = 50%.

ET\* è la temperatura a bulbo secco di un ambiente (considerato come una cavità nera con UR = 50%) con cui un individuo scambierebbe la stessa quantità di energia termica (convezione, irraggiamento ed evaporazione corporea) che scambia

nell'ambiente considerato avendo la stessa temperatura corporea e la stessa percentuale di pelle bagnata.  $ET^*$  è definita in termini di temperatura operativa.

Studi successivi hanno introdotto il voto medio previsto **Predicted Mean Vote PMV**: risposta numerica media di sensazione in un certo ambiente quando gli occupanti esprimano la sensazione mediante voti che vanno da  $-3$  a  $+3$ .

Sulla base di indagini condotte su un gran numero di persone il PMV è stato correlato con la soddisfazione delle persone o meglio la percentuale di insoddisfatti (**Percentage People Dissatisfied**) **PPD**.

In generale PMV dipende da:

- $Q_M$  (flusso metabolico)
- $Q_W$  (potenza meccanica scambiata dal corpo umano)
- $Q_T^*$  (potenza termica scambiata dal corpo umano\*)

## **CONDIZIONI DI BENESSERE STABILITE DALLA NORMATIVA**

$PPD = 10\% \rightarrow -0,5 < PMV < +0,5$

In realtà questo limite si innalza fino al valore massimo del 20%.  
Standard ASHRAE 55/92 e la UNI EN ISO 7730 del 1996.

La **temperatura operativa  $\theta_o$**  è la temperatura uniforme dell'aria e delle pareti di un ipotetico ambiente con il quale il corpo umano scambia la medesima potenza termica per radiazione e convezione scambiata con l'ambiente reale.

Condizioni invernali<sup>1</sup>:  $20 \leq \theta_o \leq 24$

Condizioni estive<sup>1</sup>:  $23 \leq \theta_o \leq 26$

<sup>1</sup>per attività  $\leq 1,2$  MET,  $40 \leq \Phi \leq 60\%$ ,  $v_a \leq 0,15$  m/s,  $I_{cl} = 0,5 \div 1$  clo.

Il soddisfacimento dei livelli di specifica indicati porta a stimare la percentuale di individui insoddisfatti ad un valore inferiore al 10%.

La **temperatura superficiale del pavimento** deve essere controllata sia in regime invernale che estivo: scostamenti dai valori ottimali possono infatti essere causa di malessere per le persone che, svolgendo attività moderata o sedentaria, permangono a lungo in ambiente.

Condizioni invernali ed estive<sup>1</sup>:  $19^{\circ}\text{C} \leq \theta_p \leq 29$

<sup>1</sup> persone che indossano comuni tipi di calzature, attività  $\leq 1,2$  MET,  $I_{cl} = 0,5 \div 1$  clo

Il soddisfacimento dei livelli di specifica indicati porta a stimare la percentuale di individui insoddisfatti ad un valore inferiore al 10%.

Si applica agli ambienti in cui è prevista la permanenza prolungata (almeno 1 ora) delle persone in attività moderata o sedentaria (aule, spazi vari per attività didattiche, uffici, ecc).

Il **gradiente verticale di temperatura**  $\Delta\theta_{0,1-1,1}$  è la differenza della temperatura dell'aria rilevata tra 1,1 m e 0,1 m dal pavimento. Deve essere controllato sia in regime invernale che estivo: discostamenti dai valori ottimali possono essere causa di malessere per gli individui che, svolgendo attività moderata o sedentaria, permangono a lungo seduti in ambiente.

Condizioni invernali ed estive<sup>1</sup>:  $\leq 3$

<sup>1</sup> per attività  $\leq 1,2$  MET,  $I_{cl} = 0,5 \div 1$  clo

Il soddisfacimento dei livelli di specifica indicati porta a stimare la percentuale di individui insoddisfatti ad un valore inferiore al 5%.

La **temperatura piana radiante**  $\theta_{pr}$  è definita come la temperatura di un ambiente ideale isoterma nel quale il flusso radiante incidente su una faccia di un elementino piano è eguale a quello che si verifica nell'ambiente reale. La asimmetria di temperatura piana radiante può essere dovuta alla presenza di finestre o altre superfici verticali fredde o a soffitti caldi.

$\theta_{prv}$  Per finestre o altre sup. fredde verticali<sup>1</sup>:  $\leq 10$

$\theta_{prh}$  Per soffitto caldo (riscaldato)<sup>1</sup>:  $\leq 5$   
<sup>1</sup> regime invernale, per attività  $\leq 1,2$  MET,  $I_{cl} = 1$  clo

Il soddisfacimento dei livelli di specifica indicati porta a stimare la percentuale di individui insoddisfatti ad un valore inferiore al  
Il **rischio da correnti d'aria** riguarda l'eventualità che la velocità dell'aria e/o le modalità di immissione in ambiente causino turbolenze localizzate in prossimità delle persone in attività moderata o sedentaria ( $M \leq 1,2$  MET) e quindi sensazioni di fastidio. Pur essendo la valutazione del requisito estesa al regime invernale ed estivo, il rischio è essenzialmente legato al regime estivo essendo le correnti d'aria fredda molto poco tollerabili.

Condizioni invernali ed estive<sup>1</sup>:  $\leq 15$  %  
<sup>1</sup> per attività  $\leq 1,2$  MET,  $I_{cl} = 0,5 \div 1$  clo

L'indice PMV si ricava da una relazione che tiene conto di:

- Grado di attività
- Tipo di abbigliamento
- tbs dell'aria ambiente e tmr
- va e UR

dall'indice PMV si ricava una relazione con la percentuale di insoddisfatti PPD.

Il PPD non si annulla mai neanche per  $PMV = 0$

