

Mai come oggi le esigenze del mercato commerciale nel campo del condizionamento/riscaldamento sono state più precise e pressanti, con costruttori ed utenti che insistono sempre di più sull'efficienza, versatilità ed affidabilità dei prodotti richiesti.

L'introduzione dell'unità autonoma monoblocco Lennox GCS16, con riscaldamento a gas e condizionamento elettrico, è la giusta risposta che finalmente progettisti e installatori sono in grado di dare alla crescente domanda del mercato odierno.

Le caratteristiche dell'unità GCS16 la rendono la scelta ideale di tutti coloro che desiderano aumentare giorno per giorno il livello del loro comfort, limitando contemporaneamente il crescente dispendio energetico.

La serie GCS16 è momentaneamente disponibile in due modelli: GCS16-953 e GCS16-1353.

Nuovo scambiatore di calore - Le più recenti conquiste della tecnologia Lennox sono state impiegate nel bruciatore a gas del GCS16. Uno scambiatore di calore tubolare in acciaio alluminato, garantito 10 anni contro difetti e rotture, viene abbinato a bruciatori in acciaio a iniezione, per garantire un funzionamento affidabile privo di inconvenienti. Il design curvilineo dello scambiatore di calore consente l'esposizione completa delle superfici di scambio al flusso dell'aria. Le superfici arrotondate oppongono minima resistenza all'aria e provvedono un'eccellente area di trasferimento del calore. I bruciatori a iniezione in acciaio sono stati progettati per resistere al vento e alle condizioni atmosferiche avverse. Inoltre, il gruppo bruciatore è dotato di accensione a scintilla e di un rile-

vatore di fiamma elettronico per garantire un funzionamento sicuro ed efficiente. Nel caso in cui si estingue la fiamma, il rilevatore cercherà di riaccendere il bruciatore prima di mettere l'unità « fuori servizio ».

Efficienza energetica - Il condizionamento multistadio è stato reso possibile dall'impiego di due circuiti frigoriferi indipendenti. Questa struttura si compone di una batteria evaporante con due circuiti separati, ciascuno dei quali collegato al suo proprio compressore Lennox.

Un sistema economizzatore a serbatoio Lennox (accessorio) viene automaticamente attivato, provvedendo il « free cooling » (raffreddamento gratuito), introducendo fino al 100% di aria esterna in luogo della refrigerazione meccanica, qualora le condizioni esterne lo consentano. Il controllo di entalpia sull'economizzatore determina automaticamente, rilevando la temperatura e l'umidità esterna, se il condizionamento debba avvenire ad opera dell'aria esterna o della refrigerazione meccanica.

Le serrande a bassa perdita di carico permettono risparmi supplementari di energia, soprattutto durante il funzionamento notturno, quando sono completamente chiuse. Le serrande eliminano la penetrazione di aria esterna all'interno dell'unità, evitando così di aumentare il carico di condizionamento o riscaldamento nell'ambiente da condizionare.

Facilità di installazione - Le unità sono state progettate per l'installazione Roof Top con la mandata e la ripresa dell'aria sul fondo dell'unità o orizzontale. Le dimensioni compatte e il profilo lineare contribuiscono al loro aspetto ele-

gante e gradevole. Un basamento accessorio è stato espressamente progettato per queste unità, allo scopo di ridurre ulteriormente il tempo di installazione, e costituisce una intercapedine permanente tra l'unità e il tetto. L'impiego di un analogo basamento per la versione orizzontale, rende superflua qualsiasi modifica all'ambiente destinato ad accogliere l'unità. Tutti i componenti sono contenuti in un solido rivestimento compatto, che elimina la necessità di sezioni supplementari, garantendo contemporaneamente protezioni contro eventuali infiltrazioni d'acqua all'interno dell'unità. Tutti i pannelli esposti al flusso dell'aria condizionata sono allineati con uno strato isolante dello spessore di 1" (25 mm), per ridurre al minimo le dispersioni di calore e la rumorosità, garantendo il massimo del comfort.

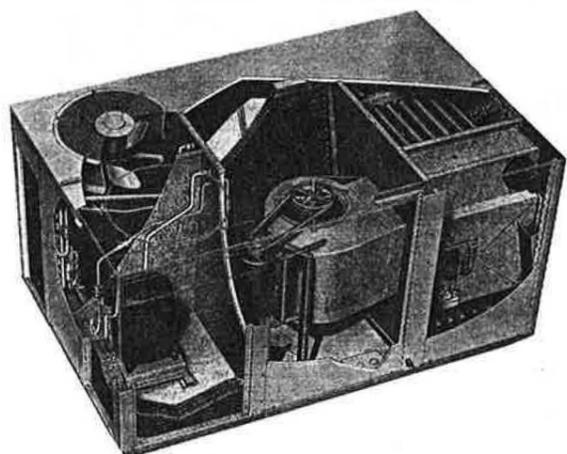
Rivestimento resistente - Il rivestimento in solida lamiera zincata viene sottoposto ad un processo di trattamento del metallo, con fosfato di zinco, articolato in cinque fasi prima della verniciatura finale in smalto a fuoco, che garantisce la protezione totale dagli agenti atmosferici. Ampi pannelli facilmente amovibili consentono l'accesso completo ai componenti per la manutenzione. Gli attacchi elettrici sono predisposti nel rivestimento, per facilitare i collegamenti elettrici. Il quadro elettrico e i pannelli di connessione sono cablati in fabbrica e agevolmente posizionati per la manutenzione. Appositi ganci di sollevamento sono predisposti su ciascun angolo, per facilitare le manovre di posizionamento ed installazione. Nella base sono predisposti appositi fori di drenaggio e canali per la rimozione della condensa.

I nuovi modelli GCS16 sono progettati da un equipaggiamento completo di controlli di sicurezza, che include pressostati di alta e bassa pressione, protezione da sovraccarichi del compressore. Esso è internamente protetto da temperature eccessive mediante sensori di temperatura solid-state, incorporati negli avvolgimenti del motore.

I nuovi modelli della serie GCS16, con la loro linea aerodinamica e il loro peso ridotto garantiscono una maggiore flessibilità di applicazione ed una più alta efficienza energetica rispetto alle precedenti unità Roof Top Lennox per il mercato medio commerciale.

I prodotti Lennox sono distribuiti in Italia da:

LenAir Snc, Via Campolongo, 12 35010 Onara di Tombolo (PD). RIF. 3



Unità riscaldamento/condizionamento, serie GCS16.

Un modello sintetico per il calcolo delle infiltrazioni d'aria

A simplified model for the calculation of air infiltration

Gian Vincenzo Fracastoro (*), Roberto Pagani (**)

Riassunto - Si descrive il procedimento seguito per ricavare un modello di semplice applicazione per il calcolo delle infiltrazioni d'aria negli edifici. La struttura del modello è definita mediante il teorema di Buckingham; i coefficienti sono determinati impiegando un modello dettagliato. I risultati sono espressi in termini di portata d'aria per unità di area.

Abstract - The procedure adopted to obtain a simplified and easy to use model for the calculation of air infiltration in buildings is described. The model structure is defined by means of the Buckingham theorem; the coefficients are determined using a detailed model. The results are expressed in terms of air flow rate per unit surface.

1. Introduzione

Esistono da tempo modelli di calcolo delle infiltrazioni d'aria, basati sulla suddivisione dell'involucro edilizio in aree elementari e sul calcolo della differenza di pressione indotta su tali aree dal vento e dalla differenza di temperatura. Dalle caratteristiche di permeabilità dell'involucro tali modelli determinano poi la portata d'aria che attraversa ogni area e quindi l'intero involucro. Il limite di questi modelli risiede nell'estrema laboriosità dei calcoli, non affrontabili manualmente, e nella onerosità dei tempi di calcolo nel caso si voglia impiegare una base meteorologica dettagliata.

In questo lavoro si è adottato un approccio diverso, seguito, sia pure con finalità diverse, anche da altri autori (Lyberg, 1983, Etheridge e Sandberg, 1984), individuando un modello sintetico applicabile all'intero edificio. La struttura del modello è stata ricavata per mezzo dell'analisi dimensionale; i suoi coefficienti sono stati determinati con un'analisi parametrica svolta impiegando un modello analitico del tipo a cui si è accennato in precedenza.

Il modello sintetico elaborato non dà come risultato direttamente il numero di ricambi d'aria, ma la cosiddetta portata d'aria unitaria specifica (ovvero la portata che attraversa l'unità di superficie di serramento per un coefficiente di permeabilità pari ad uno). Questo parametro si è infatti dimostrato sostanzialmente indipendente dalle dimensioni dell'edificio, fatta eccezione per la sua altezza. Le altre grandezze da cui la portata unitaria specifica dipende sono:

- velocità del vento;
- temperatura dell'aria interna ed esterna;
- contesto morfologico territoriale;
- entità degli ostacoli al moto interno dell'aria;
- caratteristiche di permeabilità dei serramenti.

2. Il modello analitico di calcolo

Le infiltrazioni d'aria negli edifici sono provocate dalle differenze di pressione che si stabiliscono a causa del vento e della differenza di temperatura fra interno ed esterno.

(*) Prof. ing. G.V. Fracastoro, Istituto di Fisica della Facoltà di Ingegneria, Università della Basilicata.

(**) Dr. arch. R. Pagani, Softech Srl.

Memoria presentata al XLII Congresso Nazionale ATI - Genova, settembre 1987.

Pressione esterna

La pressione esterna varia con la quota secondo la legge:

$$p_e(z) = p_e(h) - \rho_e \cdot g \cdot (z-h) \quad (1)$$

dove:

- h quota di riferimento, m;
- z altezza rispetto alla quota di riferimento, m;
- g accelerazione di gravità, pari a 9,81 m/s²;
- ρ_e massa volumica dell'aria esterna, kg/m³.

In presenza del vento la pressione esterna si modifica sulle facciate. Essa è generalmente maggiore di quella in zona indisturbata sulle facciate investite dal vento con un angolo di incidenza compreso fra 0° e 90° e minore sulle altre. Analisi in galleria del vento (Wirén, 1983) hanno mostrato che la pressione varia anche su una stessa facciata, a causa dell'effetto bordo prodotto dagli spigoli verticali.

È prassi abituale calcolare la pressione in un punto P di coordinate generiche (x, y, z) su una facciata con la formula:

$$p_e(x, y, z) = p_e(z) + C_p \cdot v^2 \rho_e / 2 \quad (2)$$

dove:

- C_p coefficiente di pressione;
- v velocità del vento;
- p_e(z) pressione dell'aria in zona indisturbata alla quota z.

In questa analisi il coefficiente di pressione C_p è stato determinato in base a quanto indicato da Wise (1977), in funzione dell'angolo di incidenza sulla facciata, della forma della pianta e dei rapporti fra le dimensioni di quest'ultima e l'altezza.

Dalle (1) e (2) si ottiene:

$$p_e(x, y, z) = p_e(h) - \rho_e \cdot g \cdot (z-h) + C_p \cdot \rho_e \cdot v^2 / 2 \quad (3)$$

A sua volta la velocità del vento cresce al crescere dell'altezza z da terra secondo l'espressione:

$$v(z) = v_0 \cdot (z/z_0)^\beta \quad (4)$$

in cui v₀ è la velocità misurata in corrispondenza della quota di riferimento z₀ e β è l'esponente dello stato

Contesto territoriale	d	β	a
centro urbano	520	0,400	0,33
periferia o campagna movimentata	400	0,286	0,56
campagna	280	0,143	1,00

Categoria	NC	A1	A2	A3
C , $m^3/(h \cdot m^2 \cdot Pa)$	5,00	2,50	1,00	0,35

limite, funzione del tipo di terreno circostante l'edificio esaminato.

Se la velocità del vento è misurata in un sito diverso da quello in cui è ubicato l'edificio occorre invece adottare una formula più complessa (Shaw e Tamura, 1977):

$$v(z) = v_s \cdot (d_s/z_s)^{\beta_s} \cdot (z/d_s)^{\beta_s} \quad (4')$$

dove:

- d_s, d_s spessore dello strato limite in corrispondenza della stazione meteo e dell'edificio (ved. tab. 1);
- β_s, β_s esponente dello strato limite in corrispondenza della stazione meteo e dell'edificio (ved. tab. 1);
- z_s altezza dell'anemometro nella stazione meteo;
- v_s velocità del vento rilevata presso la stazione meteo.

In genere la stazione meteo è ubicata in campagna e l'anemometro è collocato ad una altezza di 10 m da terra; in un contesto territoriale qualunque si ha dunque:

$$v(10) = a \cdot v_s$$

dove a è un coefficiente riduttivo riportato anch'esso in tab. 1.

Pressione interna

Anche per la pressione interna si può scrivere una relazione analoga alla (1), valida in assenza di ostacoli interni al moto verticale dell'aria:

$$p_i(z) = p_i(h) - \rho_i \cdot g \cdot (z-h) \quad (5)$$

Contrariamente alla pressione esterna, la pressione interna subisce delle brusche variazioni nel passaggio da un piano all'altro, in presenza di partizioni

(1) La caduta di pressione massima si riscontra quando ogni elemento è perfettamente indipendente dal sottostante. In questo caso la pressione media nell'elemento è uguale a quella esterna alla stessa quota. Sul piano di separazione fra due elementi la pressione interna vale dunque $(p_s - \rho_i \cdot g \cdot h_i/2)$ partendo dal basso e $(p_s - \rho_s \cdot g \cdot h_i + \rho_i \cdot g \cdot h_i/2)$ partendo dall'alto. Da cui la (7).

orizzontali che impediscono il flusso verticale dell'aria. La caduta di pressione Δp_r in corrispondenza di una partizione orizzontale può essere espressa come quota della caduta di pressione massima Δp_r che può verificarsi (1):

$$\Delta p_r = k \cdot \Delta p_s \quad (6)$$

essendo:

$$\Delta p_s = -(\rho_s - \rho_i) g \cdot h_i \quad (7)$$

dove h_i rappresenta l'altezza dell'interpiano.

Per un edificio senza partizioni orizzontali (ovvero con un elemento di continuità verticale, come ad esempio il vano scale, facente parte integrante della struttura edilizia) si avrà $k = 0$; nel caso opposto (edificio composto di « elementi stagni » sovrapposti di altezza pari all'interpiano) si avrà $k = 1$. Al coefficiente k è stato attribuito il nome di « coefficiente di resistenza interna al moto dell'aria ».

Pertanto la (5) diverrà:

$$p_i(z) = p_i(h) - \rho_i \cdot g \cdot (z-h) - \Sigma \Delta p_r \quad (5')$$

in cui la sommatoria è estesa al numero di partizioni tra piano e piano esistenti al di sotto della quota z considerata.

Differenza di pressione fra interno ed esterno

Dalle (4) e (5') si ottiene la differenza di pressione fra interno ed esterno:

$$\Delta p(x, y, z) = p_s(h) - \rho_s \cdot g \cdot (z-h) + C_p \cdot \rho_s \cdot v^2/2 - \rho_i(h) + \rho_i \cdot g \cdot (z-h) + \Sigma \Delta p_r \quad (8)$$

Affinché la portata d'aria in ingresso sia uguale alla portata d'aria in uscita è necessario che la differenza di pressione fra interno ed esterno cambi di segno con la quota. Esisterà dunque un piano orizzontale, detto piano neutro, posto ad un'altezza $h = z_{pn}$, sul quale la pressione interna ed esterna si uguagliano. Si ha pertanto:

$$\Delta p(x, y, z) = g \cdot (\rho_i - \rho_s) \cdot (z - z_{pn}) + C_p \cdot \rho_s \cdot v^2/2 + \Sigma \Delta p_r \quad (9)$$

o anche:

$$\Delta p(x, y, z) = -g \cdot \rho_m \cdot (z - z_{pn}) \cdot \Delta T/T_m + C_p \cdot \rho_s \cdot v^2/2 + \Sigma \Delta p_r \quad (9')$$

dove:

- ρ_m densità media dell'aria;
- ΔT differenza di temperatura fra interno ed esterno;
- T_m temperatura media fra interno ed esterno, in Kelvin.

Calcolo della portata d'aria di ricambio

La relazione comunemente impiegata per il calcolo della portata d'aria attraverso un componente permeabile è la seguente:

$$Q = C A \Delta p^\alpha \quad (10)$$

dove:

- C coefficiente di permeabilità del componente;
- α esponente del flusso;
- A area del componente permeabile.

L'esponente del flusso varia fra 0,5 (moto di piena turbolenza) e 1 (moto laminare). In questo studio si è adottato $\alpha = 0,65$.

Dal punto di vista della tenuta all'aria l'UNI classifica i serramenti in 3 categorie, alle quali corrispondono i valori massimi del coefficiente di permeabilità riportati in tab. 2, assieme al valore consigliato per serramenti non classificati (NC).

Per ricavare la portata complessiva entrante ed uscente è necessario estendere il calcolo della differenza di pressione, e dunque della portata entrante o uscente, all'intero involucro. In termini analitici ciò equivale a risolvere i seguenti integrali:

$$Q_{in} = \int_{A+} C(x, y, z) \cdot (\Delta p(x, y, z))^\alpha \cdot dA \quad (11)$$

esteso all'area $A+$ attraverso la quale Δp è maggiore di zero;

$$Q_{out} = \int_{A-} C(x, y, z) \cdot (\Delta p(x, y, z))^\alpha \cdot dA \quad (12)$$

esteso all'area $A-$ attraverso la quale Δp è minore di zero.

Trascurando le differenze di densità, si impone poi la condizione che le portate in ingresso e in uscita siano uguali:

$$Q' = Q_{in} = Q_{out} \quad (13)$$

La (13) è un'equazione implicita non lineare nella variabile p_i (pressione media interna), che può essere risolta per via iterativa fino a che la condizione imposta non sia soddisfatta con sufficiente approssimazione. Solo in alcuni casi particolarmente semplici (si veda in Appendice) esiste una soluzione analitica.

3. L'analisi parametrica

Il modello analitico descritto nel paragrafo precedente è stato applicato a edifici di forma e altezza diverse, in differenti condizioni di velocità e direzione del vento e di temperatura esterna.

La differenza di pressione fra interno ed esterno è, come si è visto, variabile in modo continuo su tutto l'involucro.

Per calcolare gli integrali (11) e (12) la superficie esterna dell'involucro è stata discretizzata in aree rettangolari aventi come lati la lunghezza della facciata e metà altezza di interpiano, calcolando il valore di Δp in corrispondenza del baricentro di ogni area.

Si è inoltre ipotizzato che le infiltrazioni d'aria abbiano luogo soltanto in corrispondenza dei serramenti, ovvero che gli altri componenti di facciata siano perfettamente impermeabili, assumendo uno stesso coefficiente di permeabilità per tutti i serramenti ed una loro distribuzione uniforme su ogni facciata (cioè da piano a piano), ma eventualmente variabile da una facciata all'altra.

Si è ravvisata l'opportunità di esprimere i risultati, anziché, come di consueto, in termini di « numero di ricambi d'aria orari », attraverso una portata unitaria risultante di infiltrazioni (riferita cioè ad un metro quadro di componente avente permeabilità unitaria) definita come:

$$q = Q'/(C \cdot A) \quad (14)$$

in cui C rappresenta il coefficiente di permeabilità medio dell'involucro ed A la sua area complessiva. In questo studio si è assunto $C = 0$ per tutti i com-

Contesto territoriale	A_1	b_1	c_1	$C_{p,eq}$
centro urbano	0,0076	0,91	2,0	$0,012 \cdot h^{0,91}$
periferia	0,0146	0,69	2,0	$0,023 \cdot h^{0,69}$
campagna	0,0332	0,42	2,0	$0,053 \cdot h^{0,42}$

ponenti di involucro tranne i serramenti, ai quali è stata attribuita una permeabilità costante.

Dalla (14) è facile ricavare il numero di ricambi orari n :

$$n = q \cdot A \cdot C/V \quad (15)$$

in cui V rappresenta il volume dell'edificio.

Una volta nota la portata unitaria specifica q è possibile introdurre una « differenza di pressione efficace »:

$$\Delta p' = q^{1/\alpha} \quad (16)$$

che rappresenta la differenza di pressione media a cui dovrebbe essere uniformemente sottoposto l'intero involucro per dar luogo alla portata di infiltrazioni calcolata. Da questo punto in avanti l'apice, che denota che la differenza di pressione $\Delta p'$ e la portata Q' sono riferite all'intero edificio, verrà ommesso per brevità.

L'analisi parametrica è stata svolta facendo variare la differenza di temperatura fra interno ed esterno da 0 a 30 °C con passo di 5 °C, la velocità del vento da 0 a 6 m/s con passo di 1 m/s, la sua direzione da 0 a 90° con passo di 15°. In un secondo tempo, vista la scarsa influenza di quest'ultimo parametro, gli è stato attribuito un valore costante.

Per ciò che riguarda la geometria dell'edificio, si sono variati il numero di piani da 2 a 10, con passo 2, le dimensioni dei lati della pianta (supposta rettangolare) da 10 a 30 m. Il valore di q non è apparso sensibilmente influenzato dalle dimensioni della pianta, di cui non si è perciò tenuto conto nel modello sintetico.

4. Il modello sintetico

I risultati dell'analisi parametrica sono stati utilizzati per ricavare con una tecnica di best-fit i coefficienti di un modello sintetico la cui struttura è stata determinata attraverso il teorema di Buckingham.

Si sono ricavate separatamente le portate indotte dall'azione del vento (ponendo $\Delta T = 0$) e della differenza di temperatura ($v = 0$), determinando da ciascuna di esse per mezzo della (16) la differenza di pressione efficace. Nel primo caso si è ottenuto:

$$q/v = A \cdot Eu^m \cdot Fr^n \quad (17)$$

con $Eu = \rho v^2/p$ e $Fr = v^2/(g \cdot h)$. Sostituendo nella (17) i valori approssimativamente costanti (ρ, p, g) si è ottenuta la differenza di pressione efficace:

$$\Delta p_s = A_1 \cdot h b_1 \cdot v c_1 \quad (17')$$

in cui v è la velocità locale del vento a 10 metri di altezza e h l'altezza dell'edificio. I coefficienti A_1, b_1, c_1 sono stati riportati in tab. 3 in funzione del tipo di contesto territoriale.

coefficiente k	A_2	b_2	c_2	ζ_{eq}
0,0	1,0	1,0	1,0	0,080
0,5	0,5	1,0	1,0	0,042
1,0	2,9	0,0	1,0	0,232/h

Per ciò che riguarda l'effetto della differenza di temperatura si ha:

$$q/\sqrt{g_n} = A' \cdot (Eu/Fr)^k \cdot (\Delta T/T_m)^s \quad (18)$$

Dalla (18) si è ricavata la differenza di pressione efficace, dopo aver sostituito i valori numerici dei termini approssimativamente costanti:

$$\Delta p_e = A_2 \cdot h \cdot b_2 \cdot (\Delta T/T_m) \cdot c_2 \quad (18')$$

I coefficienti A_2 , b_2 , c_2 sono riportati in tab. 4 in funzione della presenza o meno di partizioni orizzontali nel fabbricato.

Si osservi che, come ci si poteva aspettare analizzando la struttura del modello analitico, il coefficiente c_1 di tab. 3 è sempre pari a 2, mentre il coefficiente c_2 di tab. 4 è sempre pari a 1.

Confrontando le (17') e (18') con le relazioni analitiche (1) e (2), sono stati ricavati i valori del coefficiente di pressione efficace $C_{p,eq}$ e della distanza efficace dal piano neutro $\zeta_{eq} = (z_{eq} - z_{pn})/h$ per l'intero edificio, riportati anche essi nelle tab. 3 e 4. Tali valori consentono di ricavare la differenza di pressione efficace indotta dal vento e dalla differenza di temperatura impiegando le consuete formule analitiche (valide, in questo caso per l'intero edificio e non per un solo punto dell'involucro):

$$\Delta p_e = -g \cdot \rho_m \cdot \zeta_{eq} \cdot h \cdot \Delta T/T_m \quad (1')$$

$$\Delta p_e = C_{p,eq} \cdot v^2 \cdot \rho/2 \quad (2')$$

Si noti che il valore di ζ_{eq} per $k = 0$ coincide esattamente con quello ricavato per via analitica, come illustrato in Appendice.

Poiché in generale sia la differenza di temperatura che la velocità del vento sono diverse da zero, occorre disporre di una relazione che consenta di ricavare la portata (o la differenza di pressione efficace) dovuta all'azione simultanea di entrambe le cause in funzione delle differenze di pressione efficaci dovute alle singole cause.

Naturalmente in questo caso non vale la legge di sovrapposizione degli effetti; la relazione fra Δp , Δp_e e Δp_s è discretamente approssimata dalla seguente equazione:

$$(\Delta p)^2 = (\Delta p_e)^2 + (\Delta p_s)^2 \quad (19)$$

Nota Δp , la portata unitaria di infiltrazioni è data da:

$$q = (\Delta p)^\alpha \quad (16')$$

5. Esempio di calcolo

Il modello sintetico elaborato permette di calcola-

re la portata unitaria specifica di infiltrazioni (q) attraverso i seguenti dati meteorologici:

— velocità media del vento nel periodo considerato;
— differenza media di temperatura nel periodo considerato;

e i seguenti dati sull'edificio:

— altezza;
— coefficiente di resistenza interna al moto dell'aria;
— contesto territoriale.

Dal valore di q si risale ai ricambi d'aria attraverso la (15), conoscendo i seguenti dati, tipici dell'edificio in esame:

— superficie finestrata (inclusi gli eventuali cassonetti);

— coefficiente di permeabilità dei serramenti.

Il procedimento di applicazione del modello è illustrato nel seguente esempio di calcolo.

Si ha un edificio situato in zona periferica, con coefficiente k di resistenza interna al moto pari a 0,5. La velocità del vento è pari a 3,5 m/s e la differenza di temperatura fra interno ed esterno è di 20 °C. L'edificio è alto 24 metri, l'area dei serramenti (di tipo A_1) è di 400 m² ed il volume di 5760 m³.

Si ottiene:

$$\text{dalle (17') e (18')} \quad \Delta p_e = 1,60 \text{ Pa} \quad \Delta p_s = 0,85 \text{ Pa}$$

$$\text{dalla (19)} \quad \Delta p = 1,81 \text{ Pa}$$

$$\text{dalla (16')} \quad q = (\Delta p)^\alpha = 1,47 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$$

$$\text{per la (14)} \quad Q = C \cdot A \cdot q = 1470 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{e infine per la (15)} \quad n = Q/V = 0,26 \text{ ric/h}$$

6. Conclusioni

Il modello descritto consente di stimare rapidamente la portata d'aria per infiltrazioni naturali e di valutare in via approssimativa l'influenza del tipo di serramento.

I suoi limiti principali risiedono nel fatto che vengono considerati permeabili soltanto i serramenti (finestra + cassonetto avvolgibile) e che, per il momento, non è stata effettuata alcuna verifica con dati sperimentali. Inoltre il modello analitico impiegato come riferimento non tiene conto della disuniformità della pressione nei vari locali di uno stesso piano.

Appare evidente dai risultati ottenuti che il parametro che più si presta ad esprimere i risultati del calcolo delle infiltrazioni naturali d'aria in un edificio non è il numero di « ricambi d'aria orari », che è funzione del rapporto fra superficie dell'involucro e volume riscaldato, ma la portata riferita alla superficie degli elementi permeabili.

In un precedente lavoro (Softech, 1986) questo modello è stato impiegato per calcolare la portata unitaria specifica media di infiltrazioni in edifici di altezza variabile (da 2 a 12 piani) nei mesi del periodo di riscaldamento in alcune località italiane ed ha portato all'individuazione di zone « omogenee » dal punto di vista delle infiltrazioni d'aria.

Riconoscimenti

Questo lavoro è stato svolto nell'ambito dei contratti CNR-PFE 2 « Infiltrazioni, ricambi d'aria e ventilazione meccanica » n. 85.00905.59 e n. 85.00073.59.

APPENDICE

Si voglia risolvere la eq. (13) nel caso in cui si abbia:

— $v = 0$;

— $k = 0$;

— $C(x, y, z) = C = \text{costante}$;

— $dA = b \cdot dz$ (in cui b è il perimetro di base dell'edificio, costante rispetto a z).

Introducendo tali condizioni nella (9'), sostituendo nella (11) e integrando fra $z = 0$ e $z = z_{pn}$ si ha:

$$Q_{in} = C \cdot b \cdot (\rho \cdot g \cdot \Delta T/T_m)^\alpha \cdot z_{pn}^{\alpha+1}/(\alpha+1)$$

e dunque:

$$q_{in} = (\rho \cdot g \cdot \Delta T/T_m)^\alpha \cdot z_{pn}^{\alpha+1}/(h \cdot (\alpha+1)) \quad (A.1)$$

Analogamente, sostituendo nella (12) e integrando fra $z = z_{pn}$ e $z = h$ si ottiene:

$$q_{out} = (\rho \cdot g \cdot \Delta T/T_m)^\alpha \cdot (h - z_{pn})^{\alpha+1}/(h \cdot (\alpha+1)) \quad (A.2)$$

Imponendo l'uguaglianza delle portate ($q_{in} = q_{out}$) si ottiene:

$$z_{pn} = h/2$$

Per cui le (A.1) e (A.2) divengono:

$$q = q_{in} = q_{out} = (\rho \cdot g \cdot h \cdot \Delta T/T_m)^\alpha / (2^{\alpha+1} \cdot (\alpha+1)) \quad (A.3)$$

Esprimendo la (A.3) in termini di differenza di pressione efficace:

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot h \cdot \Delta T/T_m \cdot (2^{\alpha+1} \cdot (\alpha+1))^{-1/\alpha}$$

si ottiene immediatamente il valore della distanza efficace dal piano neutro:

$$\zeta = (2^{\alpha+1} \cdot (\alpha+1))^{-1/\alpha}$$

Il risultato è analogo a quello riportato dall'ASHRAE (1977).

Per $\alpha = 1$ (moto laminare) si ottiene $\zeta = 0,1250$.

Per $\alpha = 0,5$ (moto turbolento completamente sviluppato) si ha $\zeta = 0,0565$.

Per $\alpha = 0,65$ (valore comunemente adottato) si ha $\zeta = 0,080$.

Bibliografia

- [1] ASHRAE - Handbook of Fundamentals, Ch. 21 - Infiltration and ventilation - New York, 1977.
- [2] CNR-PFE 2. Softech Srl - Il problema delle infiltrazioni e dei ricambi d'aria - Relazione finale, Torino, 1986.
- [3] Etheridge D.W., Sandberg M. - A simple parametric study of ventilation - Building and Environment, vol. 19, n. 3, 1984.
- [4] Lyberg M.D. - Models of infiltration and natural ventilation - Swedish Institute for Building Research, Bulletin M83: 23, Gävle, 1983.
- [5] Shaw C.Y., Tamura G.T. - The calculation of air infiltration rates by wind and stack action for tall buildings - ASHRAE Trans. 1977, Part 2.
- [6] Wiren B.G. - Effects of surrounding buildings on wind pressure distributions and ventilation heat losses from a single-family house - Swedish Institute for Building Research, Gävle, 1983.
- [7] Wise A.F.E. - Ventilation of buildings - Atti del Convegno « Heat Transfer in Buildings », Dubrovnik, 1977.

Norme per la presentazione degli articoli

1. Ogni articolo deve essere accompagnato sia dal titolo sia da un breve riassunto in lingua italiana ed inglese; dal nome e cognome dell'autore (o degli autori) e relativi titoli accademici; dalla posizione in istituti universitari, ditte o enti di appartenenza;
2. il testo, dattiloscritto (formule comprese!) su carta formato UNI-A4, non deve eccedere le 20 cartelle (tutto compreso, anche le figure) e comprenderà l'elenco dei simboli impiegati, l'elenco delle didascalie delle figure (ove esistano); la bibliografia, numerata progressivamente e con i relativi numeri in parentesi quadre, dovrà essere compilata nel modo seguente: cognome dell'autore seguito dalle sigle del nome, titolo dell'articolo con la sola iniziale maiuscola (anche se il titolo fosse in inglese), titolo della pubblicazione nella quale è apparso, numero di pagina, mese e anno di pubblicazione.
È della massima importanza che le eventuali scritte che compaiono sulle figure, siano di altezza tale da consentire le necessarie riduzioni tipografiche. Figure ed equazioni saranno individuate da numerazione progressiva;
3. le figure saranno realizzate a china (senza caratteri trasferibili) su carta da lucido non millimetrata. Le fotografie saranno positivi in bianco e nero;
4. le unità di misura saranno solamente quelle del sistema SI.