

F.M. Butera
G. Cannistraro
M.A. Yaghoubi
A. Lauritano

Benessere termico e ventilazione naturale negli edifici

1. Introduzione

La ventilazione naturale agisce sul benessere termico attraverso due meccanismi, uno indiretto e l'altro diretto: il primo influenza il bilancio termico dell'edificio, mentre il secondo quello dell'individuo.

La ventilazione naturale infatti (specie quella indotta dal movimento dell'aria all'esterno dell'edificio) non solo rappresenta una possibilità di raffrescamento degli ambienti, ma consente anche, a causa dei valori più elevati della velocità dell'aria, di incrementare in maniera significativa l'entità degli scambi convettivi tra individuo ed ambiente, con conseguenze positive sulla sensazione di benessere termico.

D'altra parte l'esatta valutazione della velocità dell'aria in un locale con finestre aperte implica la definizione dell'andamento dei filetti fluidi, che è funzione della posizione delle finestre, della direzione del vento incidente, della collocazione dei mobili ecc.; e ciò è possibile solo attraverso simulazioni in scala in galleria del vento [1] o mediante sofisticati e complessi modelli numerici [2].

Nell'ultimo ventennio l'attenzione della ricerca scientifica sul tema della ventilazione naturale è stata piuttosto scarsa. Il problema, infatti, è stato molto poco sentito - per ovvie ragioni climatiche - nei Paesi industrializzati, dove più si investe in ricerca (negli USA ragioni economiche e culturali hanno spinto quasi esclusivamente verso l'evoluzione dei sistemi di condizionamento).

Per le ragioni sopra accennate, ben poco esiste in letteratura, fatta eccezione per i lavori di due precursori quali Van Straaten [3] e Givoni [4], non a

caso studiosi con base l'uno in Sudafrica e l'altro in Israele.

La procedura semplificata per il calcolo della portata dell'aria in un locale con finestre aperte, presentata nel seguito, deriva da una operazione di sintesi critica eseguita sul meglio che la letteratura scientifica internazionale potesse offrire sull'argomento. Essa dunque va intesa come un modo di trasformare uno studio sullo stato dell'arte in uno strumento operativo, almeno nelle prime fasi di un processo di progettazione in cui si voglia prestare la dovuta attenzione al controllo dei parametri ambientali.

2. Ventilazione dovuta alla pressione dinamica del vento

La ventilazione naturale degli edifici è dovuta alla differenza tra la pressione dell'aria ambiente e quella esterna; tale differenza può avere due origini:

- a) effetto camino;
- b) pressione dinamica del vento.

Poiché nel primo caso possono aversi portate significative solo in caso di edifici molto alti e/o in inverno, con differenze di temperature esterno-interno piuttosto grandi, nel seguito si farà riferimento esclusivamente agli effetti derivanti dalla pressione dinamica del vento.

In condizioni di regime stazionario la portata d'aria che attraversa un ambiente dotato di due aperture contrapposte, per effetto della pressione esercitata dal vento, può esprimersi mediante la seguente relazione [3, 5]:

$$Q = C \cdot A \cdot v \quad (1)$$

dove:

Q = portata d'aria di ventilazione (m^3/s)

C = coefficiente combinato di efficienza delle aperture

A = area dell'apertura d'ingresso (m^2)

v = velocità del vento (m/s)

La geometria dell'ambiente e dell'edificio in cui l'ambiente è contenuto, il luogo in cui si trova, la velocità e la direzione del vento, la posizione relati-

Prof. ing. Federico Maria Butera, dott. ing. Giuseppe Cannistraro, prof. arch. Aldo Lauritano - Dipartimento di Energetica ed Applicazioni di Fisica, Università di Palermo

prof. ing. Mohamed Ali Yaghoubi - School of Engineering, Shiraz University, Iran

(Visiting Professor, con fondi dell'International Centre for Theoretical Physics di Trieste)

va delle aperture e, da non sottovalutare, il comportamento degli occupanti, sono tutti fattori che rendono molto critico l'uso della relazione (1).

2.1. Stima del coefficiente combinato di efficacia dell'apertura

Il coefficiente combinato di efficienza dell'apertura può mettersi sotto la forma:

$$C = 0,58 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot \dots \cdot C_n \quad (2)$$

I coefficienti della (2), alcuni dei quali mutuamente dipendenti, descrivono l'effetto di diversi fattori che influenzano la portata d'aria. Di ciascuno di essi qui di seguito si riporta il significato.

2.1.1. Coefficiente C_1

C_1 è il coefficiente di perdita pressione dinamica di una apertura quando l'aria l'attraversa perpendicolarmente, con moto uniforme (fig. 1).

Nel caso di aperture rettangolari del tipo a bilico centrale orizzontale (fig. 2), si può definire un coefficiente C_1 che è funzione dell'angolo α [3].

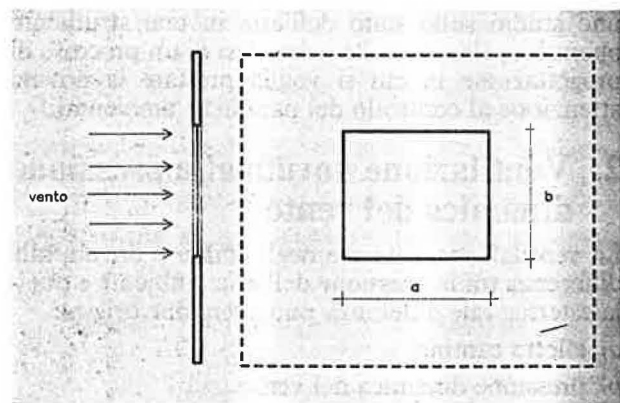


figura 1 - Sezione e vista frontale di una apertura sopravento

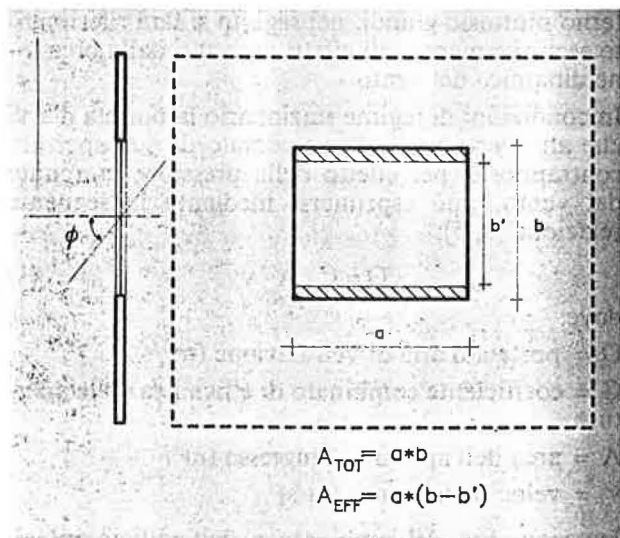


figura 2 - Sezione e vista frontale di una apertura rettangolare a bilico centrale orizzontale

Il coefficiente C_1 esplicitato in funzione del rapporto ϕ fra l'area effettiva A_{eff} e l'area totale A_{tot} dell'apertura, può essere valutato graficamente mediante le curve della figura 3, ed analiticamente mediante le equazioni (3):

tre aperture in serie:

$$a) C_{1,a} = a_3 \cdot \phi^3 + a_2 \cdot \phi^2 + a_1 \cdot \phi \quad (3a)$$

due aperture in serie:

$$b) C_{1,b} = b_4 \cdot \phi^4 + b_3 \cdot \phi^3 + b_2 \cdot \phi^2 + b_1 \cdot \phi \quad (3b)$$

dove:

$$\phi = A_{eff}/A_{tot} \quad a_3 = 2,38$$

$$a_2 = -4,00 \quad a_1 = 2,62$$

$$b_4 = -2,28 \quad b_3 = 7,71$$

$$b_2 = -8,34 \quad b_1 = 3,91$$

La stessa espressione di C_1 può essere adoperata, in prima approssimazione, per tenere conto di veneziane o frangisole sistemati davanti all'apertura o, in generale, tutte le volte che si hanno scalette mobili o fisse.

2.1.2. Coefficiente C_2

Il coefficiente C_2 tiene conto della distanza tra due o tre aperture in serie.

Secondo Van Straaten [3] tale coefficiente può essere valutato mediante le curve del grafico della figura 4, o con le seguenti relazioni, da esso derivate e valide per $2 < x < 7$ (m):

due aperture in serie:

a) libere

$$C_{2,a} = a_4 \cdot x^4 + a_3 \cdot x^3 + a_2 \cdot x^2 + a_1 \cdot x + a_0 \quad (4)$$

b) con bilico

$$C_{2,b} = b_3 \cdot x^3 + b_2 \cdot x^2 + b_1 \cdot x + b_0$$

dove:

$$a_4 = -2,90 \cdot 10^{-4} \quad a_3 = 4,42 \cdot 10^{-3}$$

$$a_2 = -1,27 \cdot 10^{-2} \quad a_1 = -7,43 \cdot 10^{-2}$$

$$a_0 = 1,16$$

$$b_3 = -8,67 \cdot 10^{-4} \quad b_2 = 2,01 \cdot 10^{-2}$$

$$b_1 = -1,52 \cdot 10^{-1} \quad b_0 = 1,17$$

x = distanza fra le aperture (m)

tre aperture in serie:

c) libere

$$C_{2,c} = c_4 \cdot x^4 + c_3 \cdot x^3 + c_2 \cdot x^2 + c_1 \cdot x + c_0 \quad (5)$$

b) con bilico

$$C_{2,d} = d_3 \cdot x^3 + d_2 \cdot x^2 + d_1 \cdot x + d_0$$

dove:

$$c_4 = 1,90 \cdot 10^{-4} \quad c_3 = -4,43 \cdot 10^{-3}$$

$$c_2 = 3,80 \cdot 10^{-2} \quad c_1 = -1,43 \cdot 10^{-1}$$

$$c_0 = 9,73 \cdot 10^{-1}$$

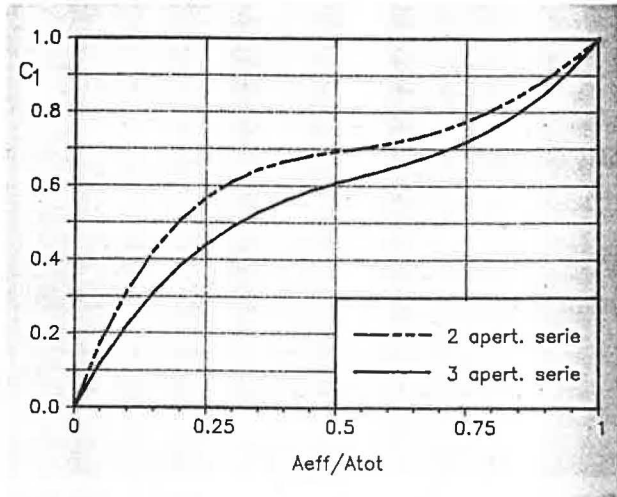


figura 3 - Coefficiente di perdita di pressione dinamica, C_1 , in funzione del rapporto ϕ fra l'area effettiva A_{eff} e l'area totale A_{tot}

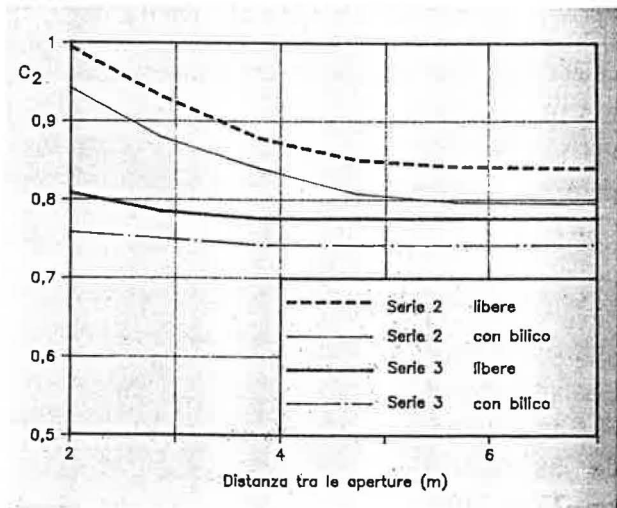


figura 4 - Coefficiente C_2 in funzione della distanza tra le aperture d'ingresso e d'uscita e del tipo di collegamento

$$d_3 = -3,01 \cdot 10^{-4} \quad d_2 = 5,50 \cdot 10^{-3}$$

$$d_1 = -3,27 \cdot 10^{-2} \quad d_0 = 8,04 \cdot 10^{-1}$$

x = distanza tra le aperture (m)

2.1.3. Coefficiente C_3

C_3 è il coefficiente che tiene conto dell'efficienza di conversione della pressione dinamica del vento in pressione statica, ed è funzione dell'angolo di incidenza del vento (fig. 5).

Il coefficiente C_3 può essere valutato [6] mediante l'espressione:

$$C_3 = (CPW - CPL)^{0,5} \quad (6)$$

dove:

CPW = coefficiente di pressione medio delle aperture sopravvento

CPL = coefficiente di pressione medio delle aperture sottovento

I valori dei coefficienti di pressione C_p delle aperture sopravvento CPW e delle aperture sottovento CPL al variare dell'angolo di incidenza β del vento possono essere ricavati dal grafico della figura 6 o dalle equazioni (7)

$$C_{p,a} = a_3 \cdot \beta^3 + a_2 \cdot \beta^2 + a_1 \cdot \beta + a_0$$

$$C_{p,b} = b_2 \cdot \beta^2 + b_1 \cdot \beta + b_0 \quad (7)$$

$$C_{p,c} = c_2 \cdot \beta^2 + c_1 \cdot \beta + c_0$$

$$C_{p,d} = d_2 \cdot \beta^2 + d_1 \cdot \beta + d_0$$

dove:

β = angolo di incidenza del vento

$$a_3 = 8,78 \cdot 10^{-7} \quad a_2 = -2,37 \cdot 10^{-4}$$

$$a_1 = 5,33 \cdot 10^{-3} \quad a_0 = 3,98 \cdot 10^{-1}$$

$$b_2 = -1,04 \cdot 10^{-4} \quad b_1 = 1,81 \cdot 10^{-2}$$

$$b_0 = -3,99 \cdot 10^{-1}$$

$$c_2 = 7,76 \cdot 10^{-5} \quad c_1 = -8,98 \cdot 10^{-3}$$

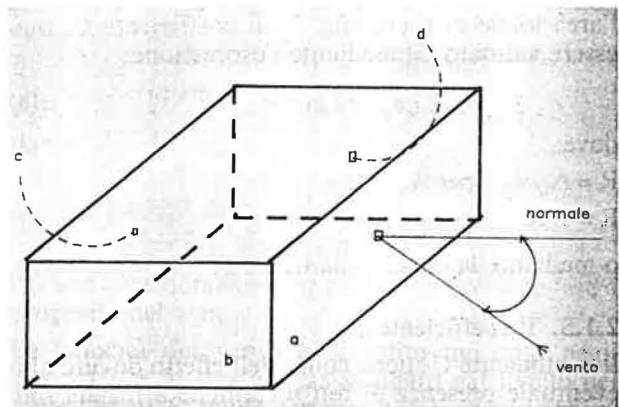


figura 5 - Rappresentazione schematica di un modulo per la individuazione dei coefficienti di pressione sopravvento CPW e sottovento CPL al variare dell'angolo d'incidenza β del vento

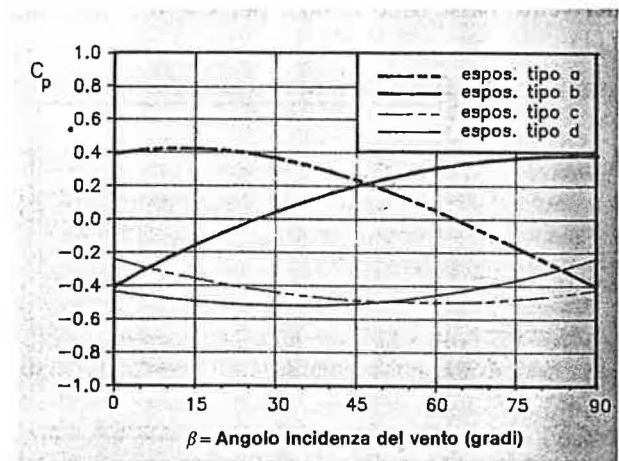


figura 6 - Coefficienti di pressione delle aperture sopravvento CPW e sottovento CPL al variare dell'angolo d'incidenza β del vento

$$c_0 = -2,41 \cdot 10^{-1}$$

$$d_2 = 8,47 \cdot 10^{-5} \quad d_1 = -5,40 \cdot 10^{-3}$$

$$d_0 = -4,34 \cdot 10^{-1}$$

I valori dei coefficienti di pressione suggeriti per altri tipi di aperture in condizioni particolari sono [6]:

- aperture d'ingresso con presenza di pareti d'ala = cost = +0,40
- apertura d'uscita con presenza di pareti d'ala = cost = -0,25
- aperture di uscita poste sulla copertura = cost = -0,30

I dati adoperati nella figura 6 e le corrispondenti equazioni (7) sono stati ottenuti attraverso prove eseguite in galleria del vento [6].

2.1.4. Coefficiente C_4

Questo coefficiente permette di valutare l'effetto dovuto alle diverse dimensioni delle aperture di ingresso e di uscita.

Indicando con A_i l'apertura di ingresso e con A_u l'area totale di uscita (fig. 7), il coefficiente C_4 può essere valutato [5] mediante l'espressione:

$$C_4 = 1 + 0,38 [1 - e^{-1,25 \cdot (R - 1)}] \quad (8)$$

dove:

$$R = A_u/A_i \quad \text{per } A_u > A_i$$

$$R = 1/R \quad \text{per } A_u < A_i$$

o mediante la curva della figura 8.

2.1.5. Il coefficiente C_5

Il coefficiente C_5 tiene conto dell'effetto dovuto alla eventuale presenza di reti metalliche a maglia fine (zanzariere) davanti alle finestre.

Il valore di questo coefficiente dipende dalla trama della zanzariera e dalla velocità del vento incidente. Si hanno forti riduzioni del flusso d'aria per velocità del vento basse (fino al 60% per $v < 0,7$ m/s), ma

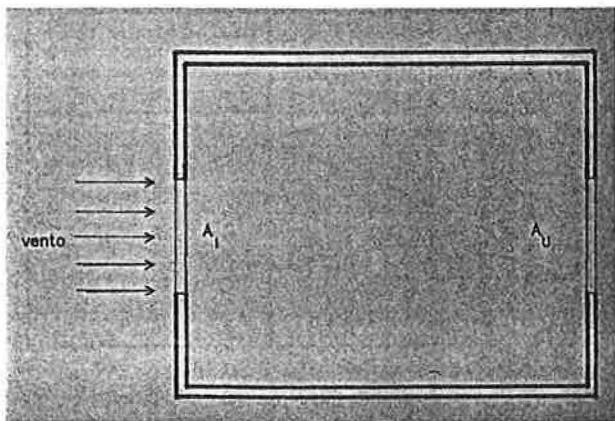


figura 7 - Rappresentazione schematica di un modulo edilizio con area totale d'ingresso A_i ed area totale d'uscita A_u .

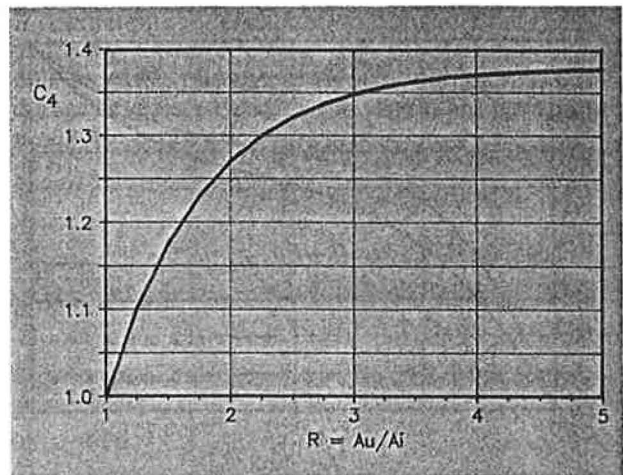


figura 8 - Coefficiente C_4 in funzione del rapporto R tra le diverse dimensioni delle aperture d'ingresso A_i e di uscita A_u .

per $v > 3,5$ m/s la riduzione è di circa il 25% [3, 4]. Il coefficiente C_5 secondo Van Straaten [3] può essere calcolato analiticamente con equazioni seguenti:

$$\text{per } v \leq 0,67 \text{ m/s} \quad C_5 = 0,4$$

$$\text{per } 0,67 < v < 4,47 \text{ m/s}$$

$$C_5 = a \cdot v^4 + b \cdot v^3 + c \cdot v^2 + d \cdot v + e \quad (9)$$

$$\text{per } v \geq 4,47 \text{ m/s} \quad C_5 = 0,752$$

dove:

$$a = -67,33 \cdot 10^{-4}$$

$$b = 86,13 \cdot 10^{-3}$$

$$c = -41,04 \cdot 10^{-2}$$

$$d = 88,80 \cdot 10^{-2}$$

$$e = -23,86 \cdot 10^{-3}$$

o mediante la curva della figura 9; per aperture prive di schermo il coefficiente C_5 assume il valore di 1.

2.1.6. Il coefficiente C_6

C_6 è un coefficiente che tiene conto dell'influenza di eventuali costruzioni vicine. Tale coefficiente è funzione del tipo di edificio e del rapporto $\delta = d/h$, dove:

h = altezza dell'edificio (m);

d = distanza dalle costruzioni adiacenti (m).

Il valore di C_6 può essere ricavato dalla figura 10 o dalle equazioni (10) ottenute dalla regressione dei valori riportati in [6]. La figura 11 mostra le tipologie edilizie riportate in [6].

Le tipologie di edifici possono corrispondere a:

- edifici ad una elevazione, o piano terreno di edifici a più piani;
- edificio ad una elevazione con copertura aggettante e pareti d'ala;

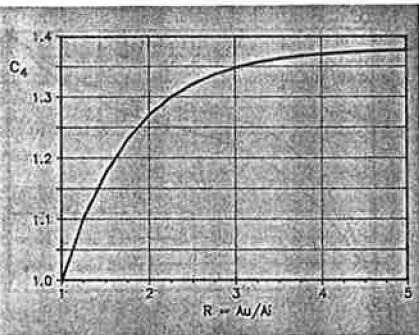


figura 8 - Coefficiente C_4 in funzione del rapporto R tra le diverse dimensioni delle aperture d'ingresso A_i e di uscita A_u .

per $v > 3,5$ m/s la riduzione è di circa il 25% [3, 4]. Il coefficiente C_5 secondo Van Straaten [3] può essere calcolato analiticamente con equazioni seguenti:

per $v \leq 0,67$ m/s $C_5 = 0,4$
 per $0,67 < v < 4,47$ m/s
 $C_5 = a \cdot v^4 + b \cdot v^3 + c \cdot v^2 + d \cdot v + e$ (9)
 per $v \geq 4,47$ m/s $C_5 = 0,752$

dove:
 $a = -67,33 \cdot 10^{-4}$
 $b = 86,13 \cdot 10^{-3}$
 $c = -41,04 \cdot 10^{-2}$
 $d = 88,80 \cdot 10^{-2}$
 $e = -23,86 \cdot 10^{-3}$

o mediante la curva della figura 9; per aperture prive di schermo il coefficiente C_5 assume il valore di 1.

2.1.6. Il coefficiente C_6

C_6 è un coefficiente che tiene conto dell'influenza di eventuali costruzioni vicine. Tale coefficiente è funzione del tipo di edificio e del rapporto $\delta = d/h$, dove:

h = altezza dell'edificio (m);
 d = distanza dalle costruzioni adiacenti (m).

Il valore di C_6 può essere ricavato dalla figura 10 o dalle equazioni (10) ottenute dalla regressione dei valori riportati in [6]. La figura 11 mostra le tipologie edilizie riportate in [6].

Le tipologie di edifici possono corrispondere a:

- edifici ad una elevazione, o piano terreno di edifici a più piani;
- edificio ad una elevazione con copertura aggettante e pareti d'ala;

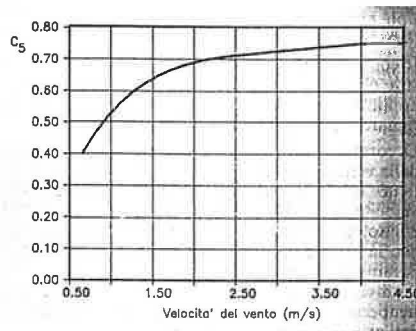


figura 9 - Coefficiente di schermo C_5 in funzione della velocità del vento v in m/s

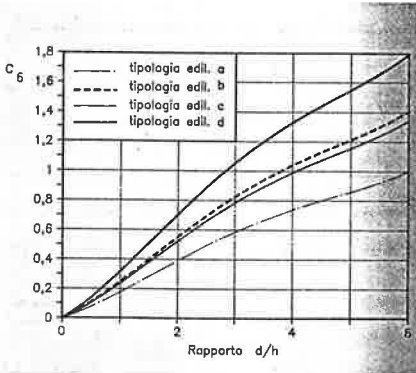


figura 10 - Coefficiente C_6 in funzione del rapporto $\delta = d/h$

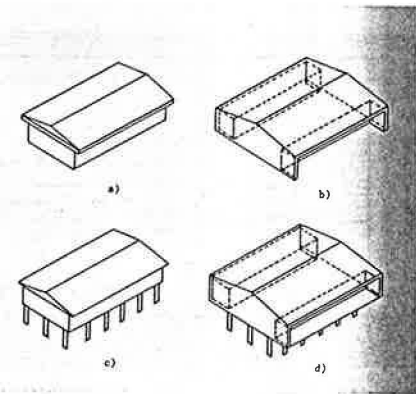


figura 11 - Schematizzazione di varie tipologie edilizie

- edificio su pilotis, o seconda elevazione di un edificio a più piani;
- edificio su pilotis o seconda elevazione di un edificio a più piani, entrambi con copertura aggettante e pareti d'ala.

$$\begin{aligned} C_{6,a} &= a_4 \cdot \delta^4 + a_3 \cdot \delta^3 + a_2 \cdot \delta^2 + a_1 \cdot \delta + a_0 \\ C_{6,b} &= b_4 \cdot \delta^4 + b_3 \cdot \delta^3 + b_2 \cdot \delta^2 + b_1 \cdot \delta + b_0 \\ C_{6,c} &= c_4 \cdot \delta^4 + c_3 \cdot \delta^3 + c_2 \cdot \delta^2 + c_1 \cdot \delta + c_0 \\ C_{6,d} &= d_4 \cdot \delta^4 + d_3 \cdot \delta^3 + d_2 \cdot \delta^2 + d_1 \cdot \delta + d_0 \end{aligned} \quad (10)$$

dove:
 $a_4 = 1,48 \cdot 10^{-3}$ $a_3 = -1,86 \cdot 10^{-2}$
 $a_2 = 6,42 \cdot 10^{-2}$ $a_1 = 1,31 \cdot 10^{-1}$
 $a_0 = -1,69 \cdot 10^{-3}$
 $b_4 = 1,97 \cdot 10^{-3}$ $b_3 = -2,47 \cdot 10^{-2}$
 $b_2 = 8,48 \cdot 10^{-2}$ $b_1 = 1,93 \cdot 10^{-1}$
 $b_0 = -2,97 \cdot 10^{-3}$
 $c_4 = 1,82 \cdot 10^{-3}$ $c_3 = -2,29 \cdot 10^{-2}$
 $c_2 = 7,86 \cdot 10^{-2}$ $c_1 = 1,85 \cdot 10^{-1}$
 $c_0 = -2,55 \cdot 10^{-3}$
 $d_4 = 2,42 \cdot 10^{-3}$ $d_3 = -3,08 \cdot 10^{-2}$
 $d_2 = 1,07 \cdot 10^{-1}$ $d_1 = 2,45 \cdot 10^{-1}$
 $d_0 = -2,77 \cdot 10^{-3}$

3. Impiego dei dati di velocità del vento

Alcune considerazioni supplementari occorre fare a proposito del vento.

La velocità del vento è di solito misurata negli aeroporti, e ad una altezza standard dal livello del suolo (10 m). Si rende pertanto necessario apportare qualche correzione ai valori di solito disponibili nei manuali o nelle pubblicazioni specializzate.

In particolare, la correzione per l'altezza si può eseguire [5] mediante l'espressione:

$$v/v_0 = \sigma \cdot (H/H_0)^\gamma \quad (11)$$

dove v_0 è la velocità del vento misurata all'altezza $H_0 = 10$ m e σ e γ sono costanti i cui valori possono stimarsi secondo quanto indicato nella tabella I.

4. Validazione del programma NATVE

NATVE è un programma di calcolo che, seguendo la procedura descritta, consente il calcolo della portata d'aria di ventilazione che, per effetto del vento, attraversa un ambiente dotato di due aperture.

Il modello di calcolo proposto è, a rigore, applicabile solo se la geometria dell'ambiente considerato è semplice; si possono cioè prendere in considerazione per la simulazione al massimo due ambienti comunicanti.

tabella I - Valori di σ e γ per diverse situazioni ambientali [5]

Classe	σ	γ	Descrizione
I	1,3	0,10	oceano o altro specchio d'acqua con almeno 5 km di area libera.
II	1,0	0,15	terreno piano con alcuni ostacoli isolati (per esempio edifici o alberi ben separati l'uno dall'altro)
III	0,85	0,20	aree rurali con edifici ed alberi bassi
IV	0,67	0,25	aree urbane industriali o foreste
V	0,47	0,35	centri di grandi città

Al fine di valutare l'ordine di grandezza dell'errore che si commette impiegando il modello NATVE nella simulazione di geometrie più complesse, sono stati effettuati dei confronti fra dati sperimentali e previsioni di calcolo.

In particolare, sono stati impiegati dati sperimentali relativi a studi [6] e [7] sulla ventilazione naturale effettuati in Usa presso il Florida Solar Energy Center, riguardante due abitazioni monofamiliari, la PV House e la Bettencourt Residence.

Le piante delle abitazioni sulle quali sono state condotte le sperimentazioni sono riportate nella figura 12.

Il confronto fra dati sperimentali e di calcolo è riportato nella figura 13.

Si può rilevare che i valori stimati con la procedura NATVE sono molto vicini a quelli sperimentali, più di quanto non lo siano quelli ottenuti mediante la procedura di calcolo proposta da Chandra [6].

I valori di velocità del vento impiegati nel modello sono quelli misurati nel corso degli esperimenti a circa 10 m sul livello del suolo corretti per la quota di 2,5 m nell'ipotesi che il terreno circostante sia di

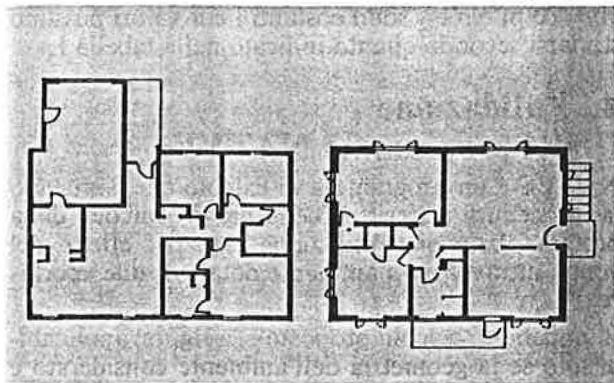


figura 12 - Sezione orizzontale delle due abitazioni FSEC PV House e Bettencourt Residence

tipo piano con presenza di alcuni ostacoli isolati (tab. I).

Il confronto tra dati sperimentali e di calcolo mostra che il modello è - nei casi in cui è stato applicato - sufficientemente affidabile per quanto riguarda la previsione dei ricambi d'aria.

Occorre osservare, inoltre, che ciò che interessa della ventilazione naturale, ai fini progettuali, non è tanto il valore assoluto dei ricambi d'aria né la velocità, quanto l'effetto sul benessere termico. Tale effetto, d'altra parte, non è linearmente correlato con la velocità dell'aria, ma dipende - oltre che da parametri soggettivi quali il livello di attività dell'individuo ed il modo in cui è vestito - anche dalla temperatura media radiante, dall'umidità relativa dell'aria.

Nella figura 14 è riportato un esempio di effetto sul

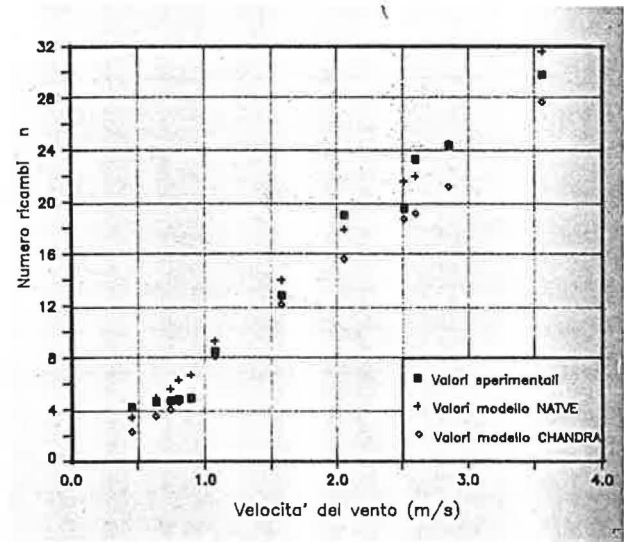


figura 13 - Confronto tra i valori sperimentali dei ricambi d'aria (■) e quelli ottenuti rispettivamente con i modelli di calcolo NATVE (+) e CHANDRA (◇)

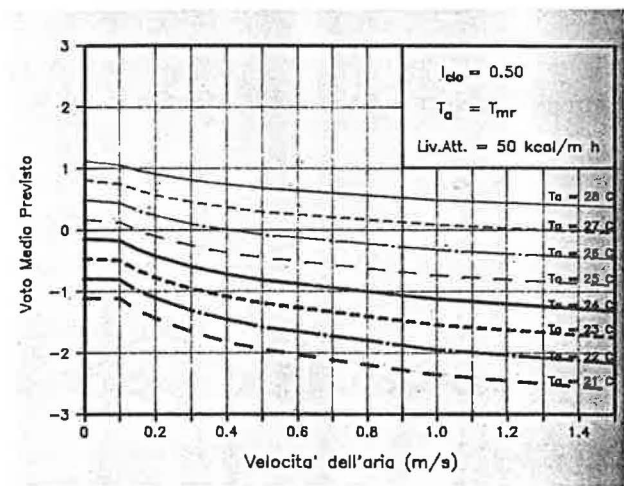


figura 14 - Valori del Voto Medio Previsto (PMV) in funzione della velocità dell'aria

PMV [8] del variare della velocità dell'aria, per certe condizioni ragionevolmente riscontrabili in un giorno d'estate non troppo caldo in una località italiana. Si può osservare che eventuale anche notevole errore di valutazione della velocità dell'aria non porta a sensibili variazioni del PMV.

5. Conclusioni

Da quanto fin qui esposto risulta evidente, da un lato, l'importanza della conoscenza della ventilazione naturale in funzione della geometria delle finestre e del loro orientamento e, dall'altro, le difficoltà connesse con la simulazione del fenomeno fisico che la governa.

Le procedure semplificate di calcolo disponibili in

letteratura, delle quali il modello proposto fa uso, cadono sensibilmente in difetto ogni qualvolta la geometria dell'ambiente considerato si discosta, com'è inevitabile, da quella dei casi semplici previsti.

In ogni caso l'errore che si commette, ai fini della previsione del PMV, è piuttosto limitato. Si può pertanto affermare che una procedura di calcolo come quella esposta è un utile strumento per valutare gli effetti sul benessere termico estivo, specialmente nelle prime fasi del processo progettuale.

Il lavoro è stato svolto nell'ambito del Progetto Finalizzato Energetica

Bibliografia

- [1] A.D. Penwarden, A.F.E. Wise: "Wind environment around buildings" - B.R.S. Report, HMSO, Watford, 1975
- [2] D.M. Summers, T. Hanson, C.B. Wilson: "Validation of computer simulation of wind flow over a building model" - *Building and Environment*, Vol. 21, n. 2, 1986
- [3] J.F. Van Straaten: "Thermal performance of buildings" - Elsevier Publishing Company, N.Y. 1967
- [4] B. Givoni: "Man, Climate and architecture" - Applied Science Publisher, London 1976
- [5] ASHRAE Handbook, Fundamentals, 1981
- [6] S. Chandra: "A design procedure to size windows for naturally ventilated rooms" - Proceedings of the Eighth National Passive Solar Conference, Santa Fe, New Mexico, 1983
- [7] S. Chandra, A. Kerestecioglu, W. Cromer: "Performance of naturally ventilated homes" - Proceedings of the Seventh National Passive Solar Conference, Knoxville, USA, 1982
- [8] P.O. Fanger: "Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering" - McGraw-Hill Book Company, USA, 1972