

# la ventilazione naturale degli ambienti

## studio analitico semplificato

LORENZO AGNOLETTO, EROS GRAVA

### 1. INTRODUZIONE

La necessità di garantire adeguati ricambi d'aria all'interno degli ambienti, oppure la convenienza di sfruttare le caratteristiche dell'aria esterna per ottenere il raffrescamento dei medesimi, soprattutto nelle stagioni più calde, fanno sì che si renda necessaria l'apertura delle finestre per periodi più o meno lunghi. La valutazione della portata d'aria messa in movimento in questa situazione è un problema molto complesso in quanto essa è funzione oltre che delle cause che la originano (differenze di temperature e velocità del vento), anche delle caratteristiche dell'apertura e dell'ambiente in cui tale moto si realizza.

La complessità reale del fenomeno ed il numero di parametri imprevedibili fa sì che anche lo studio più accurato non fornisca risultati analogamente affidabili, per cui, in questo caso, può essere preferibile adottare certe appropriate approssimazioni che permettano notevoli semplificazioni nello studio del problema. In questo lavoro viene presentata una procedura analitica semplificata che consente di valutare la quantità di aria che entra (e/o esce) in un ambiente a causa di una differenza di temperatura tra interno ed esterno, quando viene effettuata l'apertura di una finestra (o porta).

Dott.ing. Lorenzo Agnoletto, dott.ing. Eros Grava - Istituto di Fisica Tecnica, Università di Padova



### 2. IPOTESI SEMPLIFICATIVE

Nella trattazione di seguito riportata, vengono adottate le seguenti ipotesi semplificative:

- la differenza di densità, causa della forza motrice, si suppone concentrata nelle due sezioni di ingresso e di uscita;
- l'aria all'interno ed all'esterno dell'ambiente si considera a temperatura uniforme, priva quindi di gradienti di temperatura;
- non si tiene conto dell'influenza del vento.

### 3. VALUTAZIONE DELLA PORTATA D'ARIA

#### 3.1. Calcolo della portata d'aria quando non si considerano resistenze al moto all'interno degli ambienti

La portata di aria che si instaura attraverso una apertura, in presenza di una differenza di temperatura tra interno ed esterno, nel caso in cui vengono trascurate le cadute di pressione che si verificano nel moto dell'aria all'interno dell'ambiente e si tenga conto solo di quelle concentrate nel passaggio attraverso le sezioni ristrette, può essere valutata applicando il principio di Bernoulli tra le due posizioni estreme del moto (sezione di ingresso e di uscita).

Si consideri l'apertura (una finestra) di figura 1: le sezioni di ingresso e di uscita coincidono (fig. 2), e nella situazione in cui la temperatura dell'aria interna è maggiore di quella esterna, il flusso

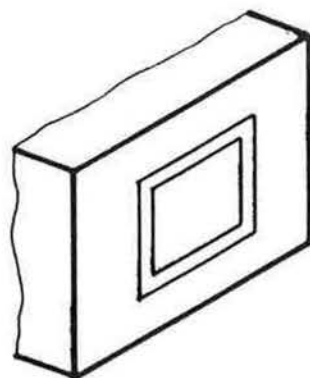


FIGURA 1  
Situazione considerata

**SIMBOLOGIA**

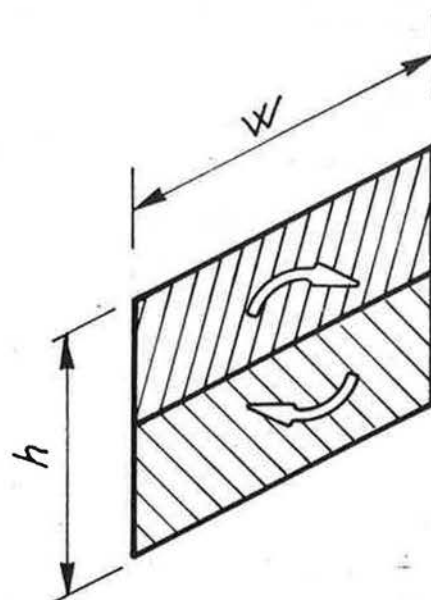
A	: area	(m <sup>2</sup> )
C	: coefficiente di perdita	(-)
g	: accelerazione di gravità	(m/sec <sup>2</sup> )
h	: altezza della apertura	(m)
H	: distanza tra i piani medi di ingresso ed uscita	(m)
m	: portata di massa	(kg/sec)
M	: massa molecolare dell'aria	(kg/kgmole)
P	: pressione	(kgf/m <sup>2</sup> )
q	: flusso termico	(W/m <sup>2</sup> )
$\bar{R}$	: costante universale dei gas ideali	(kgf/kgmole K)
T	: temperatura	(K)
v	: velocità	(m/sec)
w	: lunghezza di apertura	(m)
W	: portata volumetrica	(m <sup>3</sup> /min)
$\rho$	: densità dell'aria	(kg/m <sup>3</sup> )

**Pedici**

a	: aria
c	: convezione
e	: esterno
i	: interno
mr	: mutua radiazione
p	: passaggio
r	: radiazione solare
s	: superficiali
u	: uscita

d'aria sarà entrante nella parte inferiore della finestra ed uscente nella parte superiore.

Nell'ipotesi assunta che l'aria all'esterno dell'ambiente considerato si consideri a temperatura uniforme, l'andamento della sua pressione, in funzione dell'altezza, può essere valutato attra-



**FIGURA 2**  
Direzione del moto dell'aria

verso la relazione:

$$P_{e,y} = P_{e,0} e^{-\frac{Mgy}{\bar{R}T_e}} \quad (1)$$

dove:

- $P_{e,y}$ : pressione dell'aria esterna ad un'altezza generica y;
- $P_{e,0}$ : pressione dell'aria esterna al livello del suolo (y = 0);
- M: massa molecolare dell'aria;
- g: accelerazione di gravità;
- y: altezza generica;
- $\bar{R}$ : costante universale dei gas;
- $T_e$ : temperatura dell'aria esterna.

Analogamente, per l'aria interna si potrà scrivere:

$$P_{i,y} = P_{i,0} e^{-\frac{Mgy}{\bar{R}T_i}} \quad (2)$$

dove le variabili rappresentate nella (2) hanno lo stesso significato di quelle viste nella (1) riferite, però, alle condizioni interne. Nell'ipotesi di considerare l'aria come gas ideale, si può scrivere l'equazione di stato nella seguente forma:

$$\frac{M}{\bar{R}T} = \frac{\rho}{P} \quad (3)$$

dove  $\rho$  è la densità dell'aria.

Sostituendo la (3), calcolata per  $y=0$ , nella (1) si ha:

$$P_{e,y} = P_{e,0} e^{-(\rho_e g y / P_{e,0})} \quad (4)$$

Analogamente nella (2), si ottiene:

$$P_{i,y} = P_{i,0} e^{-(\rho_e g y / P_{e,0}) T_e / T_i} \quad (5)$$

Nelle condizioni reali la (4) e (5), tenendo conto che gli esponenti sono molto piccoli, possono essere approssimate attraverso le seguenti relazioni:

$$P_{e,y} = P_{e,0} - \rho_e g y \quad (6)$$

$$P_{i,y} = P_{i,0} - \rho_e g y T_e / T_i \quad (7)$$

In figura 3 è rappresentato l'andamento della differenza delle pressioni tra l'esterno e l'interno in senso verticale; in esso si può evidenziare una linea (asse neutro n) in corrispondenza alla quale vi è equilibrio tra interno ed esterno.

L'applicazione del principio di Bernoulli al percorso completo fatto dall'aria durante il suo moto, consente di valutare la quantità di aria circolante attraverso l'apertura.

Si considerino i due elementini  $j$  di altezza infinitesima  $dy$  ciascuno e distanti  $2y$  tra di loro (fig. 3); l'applicazione del principio di Bernoulli alla porzione di fluido che li attraversa (entrante nell'elementino sotto ed uscente da quello sopra) nell'ipotesi in cui le resistenze al moto siano concentrate in corrispondenza alle sezioni di in-

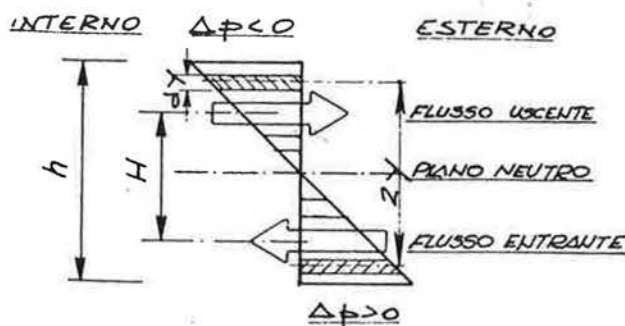


FIGURA 3  
Andamento della differenza delle pressioni tra interno ed esterno

gresso ed uscita, consente di scrivere

$$\Delta P_{i,j} + \Delta P_{u,j} = 0 \quad (8)$$

dove:

$\Delta P_{i,j}$ : differenza di pressione disponibile tra esterno ed interno in corrispondenza alla sezione di ingresso relativamente all'elementino  $j$ ;

$\Delta P_{u,j}$ : differenza di pressione disponibile tra interno ed esterno in corrispondenza alla sezione di uscita relativamente all'elementino  $j$ ;

I due termini della (8) possono essere espressi come:

$$P_{i,j} = (P_{e,e} - P_{i,e}) - \rho_e C_e v_j^2 / 2 \quad (9)$$

$$P_{u,j} = (P_{i,u} - P_{e,u}) - \rho_i C_u v_j^2 / 2 \quad (10)$$

dove:

$P_{e,e}$ : pressione dell'aria esterna in corrispondenza al punto di ingresso;

$P_{i,e}$ : pressione dell'aria interna in corrispondenza al punto di ingresso;

$P_{i,u}$ : pressione dell'aria interna in corrispondenza al punto di uscita;

$P_{e,u}$ : pressione dell'aria esterna in corrispondenza al punto di uscita;

$\rho_e$ : densità dell'aria esterna;

$\rho_i$ : densità dell'aria interna;

$C_e$ : coefficiente di perdita concentrata all'ingresso;

$C_u$ : coefficiente di perdita concentrata all'uscita.

Sostituendo la (9) e (10) nella (8), e supponendo  $C_e = C_u = C$  si ha:

$$(P_{e,e} - P_{i,e})_j - \rho_e C v_j^2 / 2 + (P_{i,u} - P_{e,u})_j - \rho_i C v_j^2 / 2 = 0 \quad (11)$$

cioè:

$$(P_{e,e} - P_{e,u})_j - (P_{i,e} - P_{i,u})_j = (\rho_e + \rho_i) C v_j^2 / 2 \quad (12)$$

utilizzando la (6) e (7), la (12) diventa:

$$(\rho_e g 2y - \rho_e g 2y T_e / T_i) = (\rho_e + \rho_i) C v_j^2 / 2 \quad (13)$$

per cui la velocità media nell'elementino  $j$  sarà:

$$v_j = \sqrt{\frac{2g\rho_e(1 - T_e/T_i)2y}{C(\rho_e + \rho_i)}} \quad (14)$$

La (14) può essere anche scritta come:

$$v_j = K \sqrt{2y} \quad (15)$$

dove K assume la seguente espressione:

$$K = \sqrt{\frac{2g \rho_e (1 - T_i/T_e)}{C(\rho_e + \rho_i)}} \quad (16)$$

La portata di massa di fluido  $dm_j$  che attraversa l'elementino  $j$  considerato avente profondità  $w$ , sarà:

$$dm_j = (w dy) K \sqrt{2y} \quad (17)$$

Da cui la portata globale che attraversa l'apertura sarà ottenibile come:

$$m = \int_0^{h/2} dm_j \quad (18)$$

che risolta fornisce la seguente relazione:

$$m = (w h/2) K 0,442 h \quad (19)$$

ponendo  $H = 0,442 h$  ed esplicitando le grandezze all'interno della costante K si ha:

$$m = A \sqrt{\frac{2 \rho_e g H (1 - T_i/T_e)}{C(\rho_e + \rho_i)}} \quad (20)$$

dove A è l'area netta di passaggio del fluido; per cui se  $w$  ed  $h$  sono le dimensioni dell'apertura, l'area netta di passaggio sarà valutabile come:

$$A = 0,5 (w h) \quad (21)$$

La grandezza H può essere pensata come la distanza tra i due piani medi "fittizi" lungo i quali si possono considerare concentrati i flussi di ingresso ed uscita.

Nel caso in cui  $T_i$  e  $T_e$  siano compresi tra 273 e 303 gradi Kelvin la portata d'aria può essere espressa in  $m^3/\text{min}$  come:

$$W = \frac{146}{\sqrt{C}} A \sqrt{H \left(1 - \frac{T_e}{T_i}\right)} \quad (22)$$

che in condizioni normali di funzionamento può essere scritta come:

$$W = 8,36 A \sqrt{H (T_i - T_e)} \quad (23)$$

analogamente a quella riportata in [1].

### 3.2. Calcolo della portata d'aria in presenza di perdite di carico continue lungo il moto

Nel caso in cui si voglia tener conto di perdite di pressione concentrate (resistenza al moto durante il percorso dell'aria), la (8) deve essere modificata come segue:

$$\Delta P_{i,j} + \Delta P_{u,j} + \Delta P_p = 0 \quad (24)$$

dove  $\Delta P_p$  rappresenta la perdita di pressione che si realizza nell'interno dell'ambiente. La (24), considerando il moto del fluido concentrato lungo i due piani medi "fittizi" distanti H, diventa:

$$m^2 \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{C_i \rho_e}{A_i^2} + \frac{C_u \rho_i}{A_u^2} \right) + \frac{1}{2 A_p^2} C_p \rho_i \right] = \rho_e g H \left( 1 - \frac{T_e}{T_i} \right) \quad (25)$$

dove:

$C_i$  = coefficiente di perdita concentrata all'ingresso;

$C_u$  = coefficiente di perdita concentrata all'uscita;

$C_p$  = coefficiente di perdita concentrata all'interno;

$A_i$  = area di ingresso;

$A_u$  = area di uscita;

$A_p$  = area di passaggio dove agisce la resistenza interna;

$T_i$  = temperatura dell'aria interna;

$T_e$  = temperatura dell'aria esterna;

H = distanza tra i due piani medi di ingresso ed uscita;

g = accelerazione di gravità.

Risolvendo rispetto alla portata di massa si ottiene:

$$m = \sqrt{\frac{\rho_e g H \left(1 - \frac{T_e}{T_i}\right)}{\frac{C_i \rho_e}{2A_i^2} + \frac{C_u \rho_i}{2A_u^2} + \frac{C_p \rho}{2A_p^2}}} \quad (26)$$

dove  $m$  è espresso in kg/s; nel caso in cui  $C_i = C_u = C_p = 1$ , ed  $A_i = A_u = A$ , la portata in  $m^3/\text{min}$  diventa:

$$W = 266 \sqrt{\frac{H \left(1 - \frac{T_e}{T_i}\right)}{\frac{\rho_e + \rho_i}{A^2} + \frac{\rho_i}{A_p^2} \rho_e}} \quad (27)$$

#### 4. PORTATA D'ARIA PER DIFFERENTI TIPI DI APERTURE

Il valore della portata d'aria messa in movimento in conseguenza di determinate aperture delle finestre, valutabile tramite la (22) o (27), dipenderà quindi dalle varie situazioni particolari che si possono verificare e che possono essere rag-

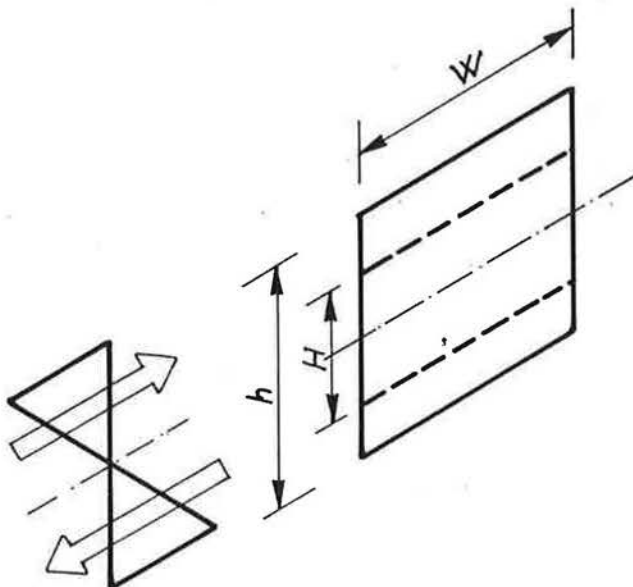


FIGURA 4  
Moto dell'aria nel caso di una sola finestra

gruppate nei seguenti casi:

- una sola apertura;
- più aperture su uno stesso piano;
- più aperture su piani diversi.

#### 4.1. Portata d'aria in presenza di una sola apertura

Considerando la figura 4 e ponendo  $H = 0,44$  h e

$A \equiv A_i \equiv A_u = \frac{w \cdot h}{2}$  la portata d'aria in  $m^3/\text{min}$  sarà data, come già visto, dalla (23):

$$W = 8,36 A \sqrt{H (T_i - T_e)} \quad (28)$$

#### 4.2. Più aperture su uno stesso piano

Si può assumere che il moto dell'aria attraverso una finestra sia indipendente dalla presenza dell'altro, dato che in questo studio non si è considerato l'effetto provocato dalla presenza del vento e l'ambiente esterno è considerato essere a temperatura costante.

Se il valore dell'altezza è uguale per tutte le finestre, la portata d'aria sarà valutabile attraverso la (22) se non ci sono ostacoli che realizzano una resistenza apprezzabile al cammino dell'aria, oppure, nel caso contrario, attraverso la (27).

Ponendo  $H = 0,44$  h

$$A \equiv A_i \equiv A_u = 0,5 \sum_1^{n_f} A_f$$

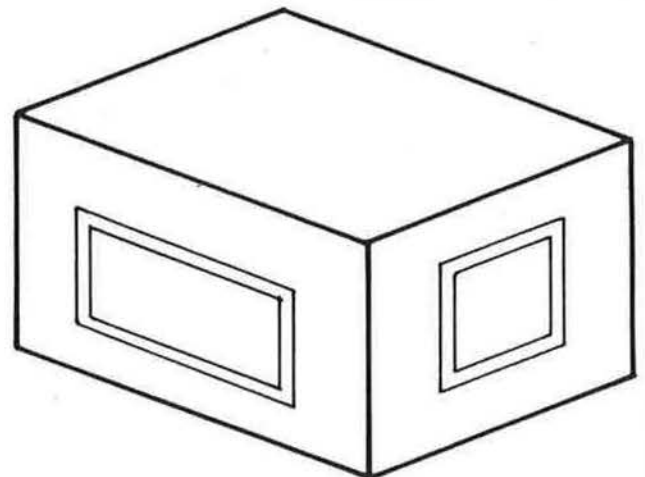


FIGURA 5  
Ambiente con più finestre su uno stesso piano

dove:

$n_f$  : numero delle finestre;

$A_f$  : area delle finestre.

#### 4.3. Portata d'aria in presenza di più aperture su piani diversi

In questa situazione si possono rappresentare due differenti casi, però equivalenti dal punto di vista del fenomeno termico e fluidodinamico:

- a) finestre tutte da un lato (fig. 6);
- b) finestre su più lati (fig. 7).

In queste due situazioni, nel caso siano interessati più ambienti, può aversi anche un moto d'aria tra ambienti diversi ed è necessario pertanto tener conto delle resistenze al moto (essenzialmente concentrate sulle aperture interne) che ne conseguono, per cui deve essere usata la (27).

### 5. BILANCIO TERMICO DELL'AMBIENTE

#### 5.1. Bilancio termico in assenza di ventilazione naturale

Il comportamento termico di un ambiente può essere analizzato attraverso la soluzione del sistema di equazioni che rappresentano il bilancio termico dei flussi di calore che interessano ciascuna delle superfici interne delle pareti che compongono l'involucro [2]. Infatti, per la  $j$ -esima parete dell'involucro (fig. 8), il bilancio termico sulla superficie interna può essere rappresentato come:

$$(q + q_c + q_{mr} + q_r)_j = 0 \quad (29)$$

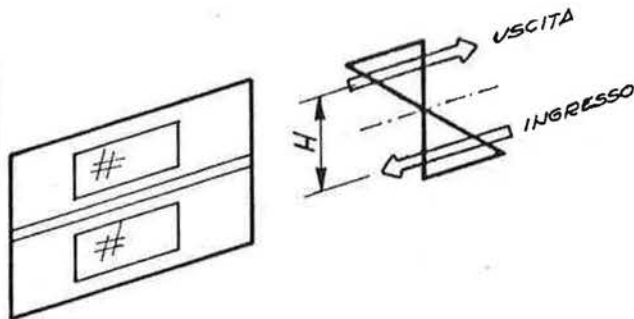


FIGURA 6  
Moto dell'aria nel caso di più finestre su uno stesso lato dell'ambiente

dove:

$q$  : flusso di conduzione che arriva sulla superficie attraverso la parete;

$q_c$  : flusso di convezione scambiato dalla superficie con l'aria ambiente;

$q_{mr}$  : flusso di mutua radiazione scambiato con le altre superfici interne;

$q_r$  : flusso dovuto alla radiazione solare incidente.

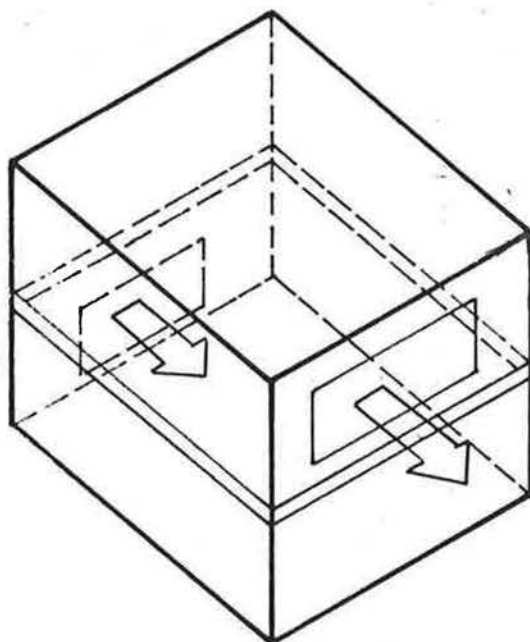


FIGURA 7  
Moto dell'aria nel caso di finestre su più lati dell'ambiente

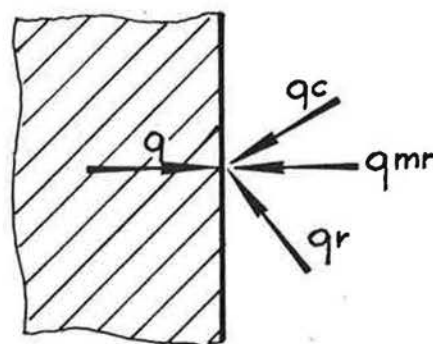


FIGURA 8  
Bilancio termico sulla superficie interna della parete

Esplicitando la (29) si trova il legame che sussiste tra la temperatura superficiale interna della parete in esame con le temperature superficiali delle altre pareti e le relative caratteristiche termofisiche. Scrivendo la (29) anche per le altre pareti, si ottiene un sistema di  $n$  equazioni nelle  $n$  incognite che sono le temperature superficiali. In queste equazioni compare anche la temperatura dell'aria ambiente; per cui se essa è nota il sistema è risolvibile e si ottiene come risultato il valore delle varie temperature superficiali interne delle pareti, altrimenti bisogna scrivere un'altra equazione che rappresenta il bilancio termico sull'aria la quale è del tipo:

$$\sum_{j=1}^n a_j A_j (T_{s,j} - T_i) + W_c + W_a = 0 \quad (30)$$

dove:

- $n$  : numero di superfici dell'ambiente;
- $a$  : coefficiente di convezione tra la superficie e l'aria;
- $A$  : area della superficie;
- $T_s$  : temperatura superficiale interna;
- $T_i$  : temperatura dell'aria interna;
- $W_c$  : flusso termico ceduto all'aria per convezione dovuto a sorgenti di calore;

$W_a$  : flusso termico dovuto all'aria di rinnovo.

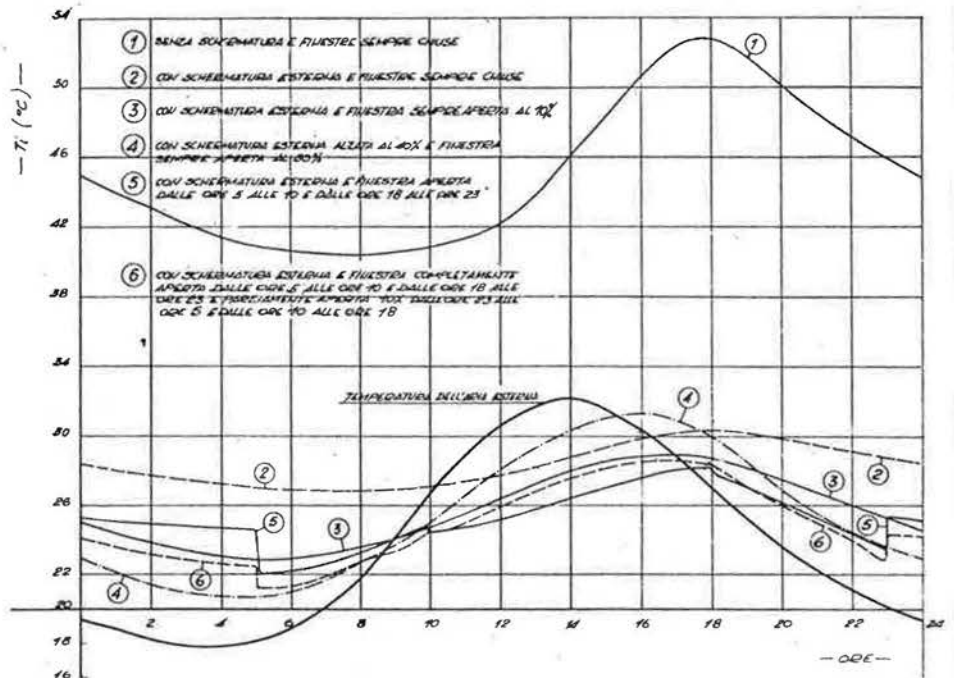
## 5.2. Bilancio termico dell'ambiente in presenza di ventilazione naturale

L'introduzione nel bilancio termico dell'ambiente della (22) o (27) fa sì che la (30), su cui esse vanno ad agire, non sia più di tipo lineare, e ciò rende necessario un calcolo di tipo iterativo. Inoltre, essendo il fenomeno collegato con l'apertura delle finestre, molto veloce nel tempo, sono necessarie particolari tecniche di integrazione dell'equazione generale della conduzione, quale per esempio quella delle differenze finite in cui si può scegliere un tempo di campionamento piccolo a piacere, compatibilmente con la durata del calcolo [3].

## 6. RISULTATI OTTENUTI

L'applicazione di un programma di calcolo che rappresenta, in linguaggio FORTRAN, la metodologia di calcolo presentata nei precedenti paragrafi, consente di ottenere per un ambiente qualsiasi l'andamento della temperatura interna e della portata di aria entrante quando l'apertura delle finestre viene programmata con orario qualsiasi. I risultati riportati nelle figure 9 e 10,

**FIGURA 9**  
Andamenti della temperatura interna dell'ambiente nei vari casi considerati



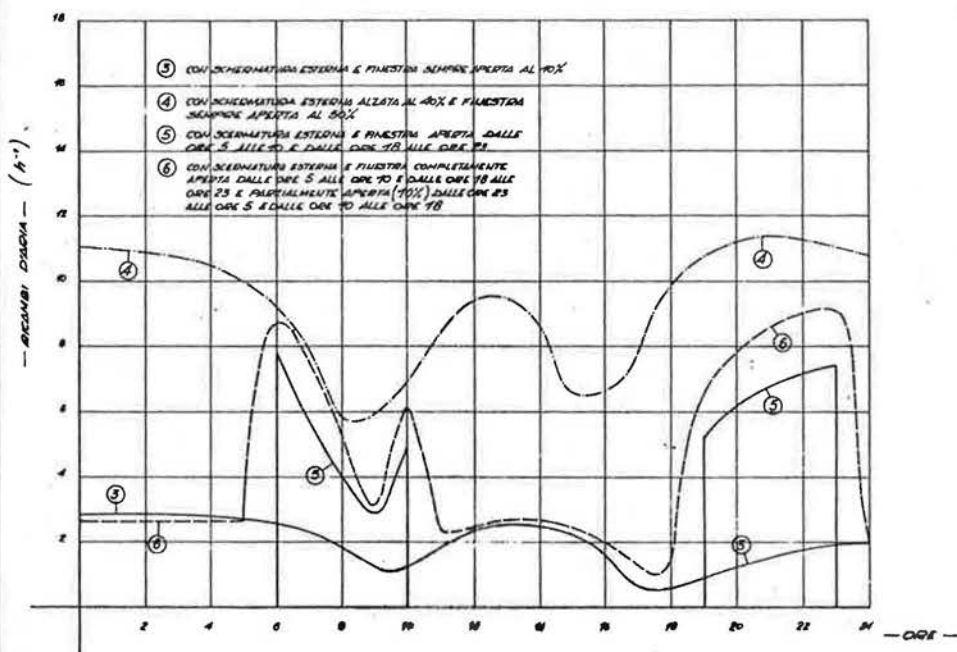


FIGURA 10  
Andamenti dei ricambi d'aria  
nei vari casi considerati

CONDIZIONAMENTO DELL'ARIA · RISCALDAMENTO · REFRIGERAZIONE 10-81

rappresentano a titolo di esempio per l'ambiente di figura 11 (parete disperdente esposta ad ovest) in condizioni meteorologiche tipiche estive, per diverse situazioni di apertura della finestra, rispettivamente i valori della temperatura dell'aria interna e la quantità di aria entrante (e/o uscente) dall'ambiente (espressa in numero di ricambi all'ora).

### 7. METODO SEMPLIFICATO PER LA VALUTAZIONE DELLA PORTATA

La necessità di risolvere il bilancio termico dell'ambiente fa sì che la metodologia sopra illustrata, pur essendo già molto semplificata, non sia di facile applicazione.

Sorge la necessità quindi di fornire delle relazioni che diano direttamente il valore della portata d'aria cercata. D'altro canto, come si vede dall'analisi dei risultati riportati nelle figure 9 e 10, il problema di trovare delle relazioni semplificate è abbastanza complesso, dato l'elevato numero di parametri che entrano in gioco. Si è visto, però, dall'analisi dei risultati ottenuti per una elevata casistica di ambienti differenti, che le caratteristiche termofisiche dell'ambiente (numero di pareti esterne, trasmittanza, volume, ecc.) non avevano apprezzabile influenza se, come parametro, si considera la temperatura dell'ambiente a fine-

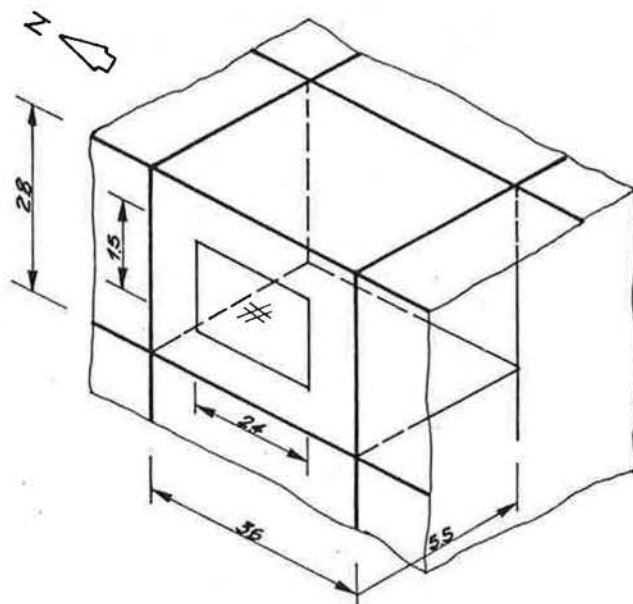


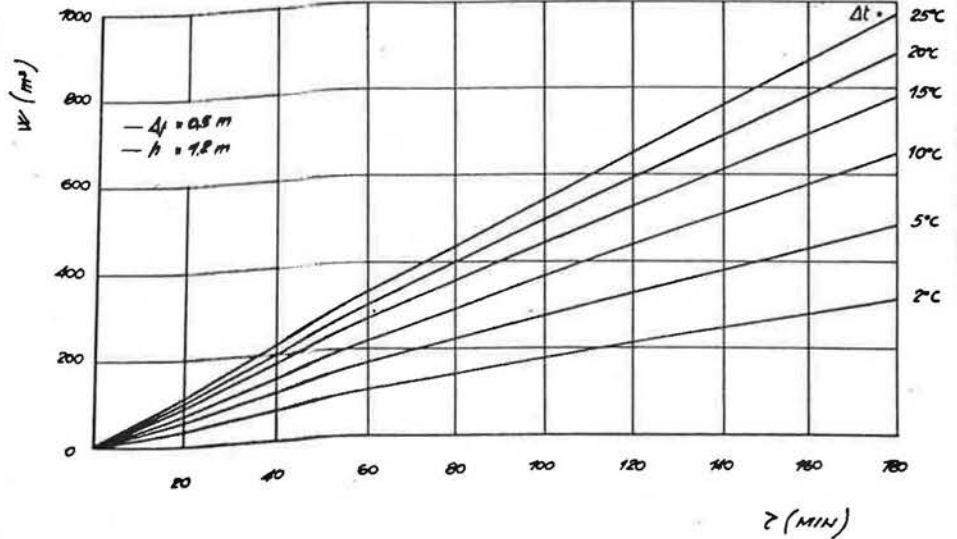
FIGURA 11  
Ambiente considerato

stre chiuse. In tal caso i parametri che influenzano la portata d'aria risultano:

- a) dimensione della finestra;
- b) distanza tra i due piani mediani corrispondenti alle sezioni di ingresso ed uscita;



**FIGURA 12**  
Portata d'aria attraverso un'apertura avente altezza  $h = 1,2$  m ed area  $A_f = 0,5$  m<sup>2</sup>



- c) differenza di temperatura tra l'interno (finestre chiuse) e l'esterno;  
d) tempo di apertura.

Nel caso in cui si possano trascurare le resistenze al moto all'interno dell'ambiente, un'espressione della quantità d'aria  $W$  (in m<sup>3</sup>), defluente nel periodo indicato da  $\tau$  (in minuti) può essere la seguente:

$$W = 4382 \left[ \left[ 0,425 A_f - 0,1126 A_f^2 \right] \cdot \left[ 0,383 \left( \frac{\tau}{60} \right) - 0,027 \left( \frac{\tau}{60} \right)^2 + 0,0038 \left( \frac{\tau}{60} \right)^3 \right] \cdot \left[ 3,712 \left( \frac{\Delta t}{25} \right) - 5,275 \left( \frac{\Delta t}{25} \right)^2 + 2,562 \left( \frac{\Delta t}{25} \right)^3 \right] \right] \cdot \sqrt{h} \quad (31)$$

- $\tau$  : numero di minuti di apertura della finestra;  
 $A_f$  : area della finestra;  
 $\Delta t$  : differenza di temperatura tra l'aria interna ed esterna.

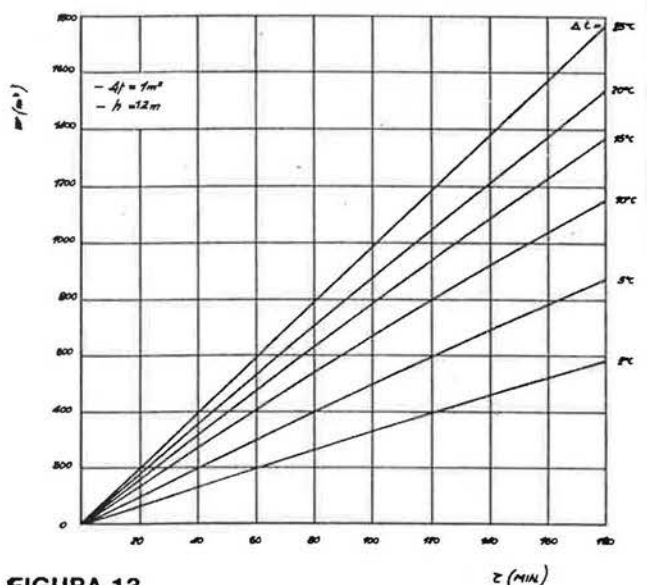
Per condizioni invernali con impianto di riscaldamento acceso, il valore della temperatura  $T_i$  è generalmente 20 °C (l'effetto dell'apertura della finestra sarà quello di diminuire il valore di  $T_i$ ).

In condizioni estive, se non si conosce il valore orario di  $T_i$  (senza apertura delle finestre) una buona approssimazione si può prendere il valore medio giornaliero.

I valori della quantità d'aria, in questa situazione possono essere ricavati anche attraverso l'uso dei diagrammi di figure 12, 13, 14 e 15 per differenti aree delle finestre.

## 9. CONCLUSIONI

Il problema della ventilazione naturale è stato affrontato in questo lavoro sulla base di semplifica-



**FIGURA 13**  
Portata d'aria attraverso un'apertura avente altezza  $h = 1,2$  m ed area  $A_f = 1$  m<sup>2</sup>

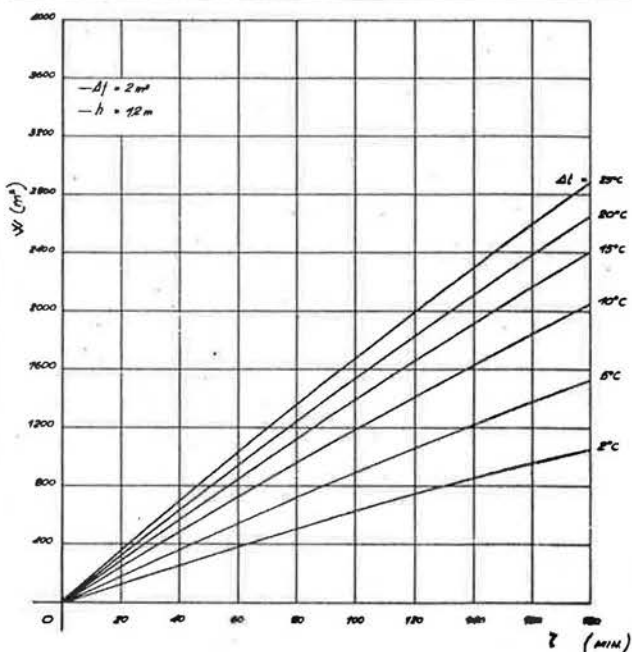


FIGURA 14  
Portata d'aria attraverso un'apertura avente altezza  $h = 1,2$  m ed area  $A_f = 2$  m<sup>2</sup>

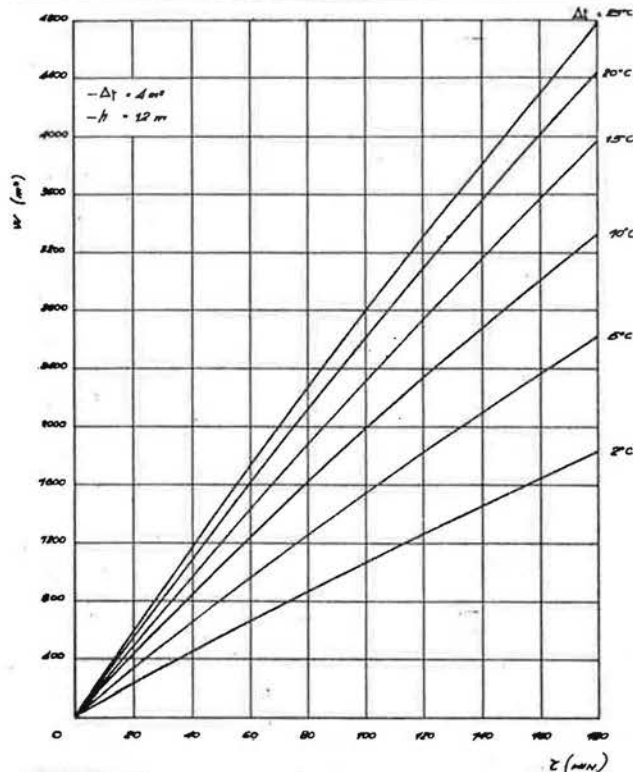


FIGURA 15  
Portata d'aria attraverso un'apertura avente altezza  $h = 1,2$  m ed area  $A_f = 4$  m<sup>2</sup>

zioni molto rilevanti. È impegno degli Autori proseguire nello studio del problema affrontando l'influenza che ha la non uniformità del campo termico all'esterno (presenza di sole e di zone d'ombra) e la presenza del vento.

Si ritiene, tuttavia, che i risultati ottenuti possano essere sufficienti per una prima valutazione dell'incidenza del fenomeno considerato sul comportamento termico ed energetico degli ambienti, in diverse situazioni. Una validazione od un'affi-

namento delle correlazioni qui proposte non può avvenire se non dopo una accurata indagine sperimentale.

Lavoro eseguito nell'ambito del «Progetto Finalizzato Energetica» del CNR; sottotema: «Risparmio di Energia nel Riscaldamento degli Edifici».

#### Bibliografia

- [1] ASHRAE Handbook of Fundamentals 1977, Cap. XIX "Air infiltration and ventilation" ASHRAE, N.Y., 1977.
- [2] L. Agnoletto, P. Brunello, E. Fornasieri, G. Trapanese, R. Zecchin, "Scambi termici per radiazione tra le superfici di ambienti riscaldati: influenza sui carichi termici e sulle

condizioni di benessere", Condizionamento dell'aria 10/1978, PEG Editrice, Milano.

- [3] L. Agnoletto, E. Grava, "Applicazione del metodo delle differenze finite al calcolo del bilancio termico degli ambienti", Quaderno N. 103 dell'Istituto di Fisica Tecnica dell'Università di Padova, marzo 1981.