



FREIE UNIVERSITÄT BOZEN  
LIBERA UNIVERSITÀ DI BOLZANO  
FREE UNIVERSITY OF BOZEN · BOLZANO

Fakultät für Naturwissenschaften  
und Technik

Facoltà di Scienze  
e Tecnologie

Faculty of Science  
and Technology



master casaclima

## VENTILAZIONE NATURALE

le guide pratiche del  
Master CasaClima

3

collana diretta da Cristina Benedetti



BOZEN · BOLZANO UNIVERSITY PRESS

sponsorizzato da:



collana diretta da:

**Cristina Benedetti**

docenti del modulo:

**Giuliana Leone, Gabriele Pasetti Monizza**

*a cura degli studenti del Master  
CasaClima:*

**Giuliana Leone** (capitoli 1, 5), **Gabriele Pasetti Monizza** (capitoli 2, 3, 4), **Ilaria Brauer** per l'elaborazione dei contenuti.

*progetto grafico a cura di:*

**Marianna Marchesi**

Un ringraziamento particolare per la consulenza tecnica a **Marco Baratieri** e **Irene Paradisi**. Un ulteriore ringraziamento particolare a **Maria Teresa Girasoli**, **Astrid Parteli** e **Julia Ratajczak**.

*stampa:*

dipdruck, Bruneck/Brunico

*distribuzione:*

Freie Universität Bozen/Libera Università di Bolzano  
Bozen-Bolzano University Press  
Universitätsplatz 1 Piazza Università  
39100 Bozen/Bolzano Italy  
T: +39 0471 012 300  
F: +39 0471 012 309  
[www.unibz.it/universitypress](http://www.unibz.it/universitypress)  
[universitypress@unibz.it](mailto:universitypress@unibz.it)

© 2011 Bozen-Bolzano University Press  
Bozen/Bolzano  
Proprietà letteraria riservata

Diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione e di adattamento totale o parziale con qualsiasi mezzo sono riservati per tutti i paesi.

1ª edizione, febbraio 2011  
ISBN 978-88-6046-037-0

## INDICE

---

<b>1. Quando e perché</b>	<b>7</b>
1.1 Il comfort	8
1.2 Ventilazione, comfort e progetto	10
1.3 Le carte bioclimatiche	12
- <i>Carta bioclimatica di Olgyay</i>	13
- <i>Carta bioclimatica di Givoni</i>	20
<b>2. Il vento e la fisica dell'atmosfera</b>	<b>27</b>
2.1 Il vento e la classificazione dei moti	27
2.2 Le forze che agiscono nell'atmosfera	32
2.3 Il vento nell'atmosfera	39
2.4 La misurazione e la rappresentazione del vento	42
<b>3. Il vento nell'ambiente urbano</b>	<b>51</b>

3.1	L'interazione tra vento ed ambiente urbano	51
3.2	Aerodinamica del tessuto urbano	58
3.3	Il metodo semplificato del CSTB	66
3.4	Il rilievo e la pianificazione della ventilazione urbana	83
3.5	Un caso studio per l'analisi della ventilazione a livello urbano: l'areale ferroviario di Bolzano	92
<b>4.</b>	<b>La ventilazione naturale nell'architettura</b>	<b>103</b>
4.1	Il quadro normativo in materia di ventilazione naturale degli ambienti	104
4.2	I principi fisici della ventilazione naturale	109
4.3	Le strategie di ventilazione naturale	116
4.4	L'analisi e il dimensionamento dei sistemi di ventilazione naturale	129
-	<i>Modelli per la previsione approssimata delle portate d'aria</i>	130
-	<i>Modelli per la determinazione approssimata delle velocità delle correnti d'aria interne</i>	134

<b>5. Torri del vento: dalla storia ai dati progettuali</b>	<b>147</b>
5.1 La storia	147
- <i>Malqaf</i>	149
- <i>Badgir</i>	153
5.2 Le formule	157
- <i>Principi fisici di funzionamento delle torri del vento</i>	157
- <i>Apertura della torre: design, dimensioni e perdite di carico localizzate</i>	161
- <i>Il condotto: dimensioni, design e modalità di funzionamento della torre</i>	166
- <i>Il condotto: pressione, velocità e comfort</i>	175
<b>Bibliografia</b>	<b>195</b>



Nella tradizione costruttiva dei climi caldi si sono sviluppate delle strategie progettuali che hanno consentito di mantenere all'interno degli ambienti le condizioni di comfort. Si tratta di strategie progettuali che, intervenendo sugli aspetti architettonici dalla scala del dettaglio a quella dell'edificio, modificano i parametri fisico-ambientali del microclima interno e di conseguenza agiscono sulla risposta fisiologica del corpo umano migliorando la sensazione di benessere.

Queste strategie possono classificarsi in due gruppi: quelle mirate a modulare i carichi termici in ingresso (*solar control* e uso di elementi ad elevata inerzia termica); quelle che consentono di rimuovere il calore in eccesso dagli ambienti (raffrescamento radiativo, raffrescamento evaporativo, raffrescamento ipogeo e, appunto, ventilazione naturale).

Gli edifici tradizionali delle zone climatiche calde sono tutti caratterizzati dall'utilizzo di una o più di queste tecniche di raffrescamento passivo, a seconda del contesto geoclimatico in cui si sono sviluppate; fra queste strategie progettuali, la ventilazione naturale è la più utilizzata, soprattutto in climi caldo-umidi.

*(1) Secondo B. Givoni, lo stress termico è principalmente influenzato da tre parametri ambientali: temperatura, umidità e velocità del flusso d'aria. L'incisività di uno dei parametri rispetto agli altri dipende poi dall'entità di ciascuno rispetto al valore degli altri due.*

## 1.1 IL COMFORT

La sensazione di comfort dipende dalla capacità di adattamento del corpo umano alle condizioni ambientali esterne. In generale, in climi caldi il corpo umano deve perdere calore per mantenere la sua temperatura costante. Questo è possibile attraverso i meccanismi di convezione, conduzione e irraggiamento (*dry heat loss*), fin quando sussiste una differenza di temperatura positiva fra il corpo umano e l'ambiente. Quando i tre meccanismi diventano insufficienti, perchè la temperatura ambiente ha raggiunto un valore critico, la dispersione di calore è affidata alla sudorazione (traspirazione, *wet heat loss*).

La temperatura critica non è però definibile in modo assoluto ma in funzione di altri parametri ambientali e in particolare dell'umidità relativa e della velocità dei flussi d'aria<sup>(1)</sup>. La sudorazione aumenterà, quindi, al crescere del bilancio termico interno del corpo umano e sarà tanto più efficace quanto maggiore saranno i movimenti d'aria che lambiscono il corpo e quanto minore sarà il tasso di umidità degli stessi.

Il **coefficiente di regolazione di sudorazione**  $E_{sw}$  esprime quindi la risposta di adattamento del corpo umano, in funzione della produzione metabolica  $M$ , della cessione di calore sensibile e latente dovuto alla respirazione (rispettivamente  $C_{res}$ ,  $E_{res}$ ) e delle perdite di calore attraverso la pelle  $E_{dif}$ . A tali processi si associano i meccanismi di scambio convettivo e radiativo a onde lunghe ( $\Delta R$  e  $C_v$ ):

$$E_{sw} = [M - (C_{res} + E_{res} + E_{dif})] + (\Delta R + C_v)$$

Tutti questi fattori risultano influenzati a loro volta da:

- condizioni termo-igrometriche esterne (temperatura, umidità relativa e pressione del vapore);
- caratteristiche dell'abbigliamento (scambi conduttivi) e posizione degli occupanti rispetto al sole, al cielo e agli elementi dell'ambiente circostante (scambi radiativi);
- velocità dei flussi d'aria che lambiscono il corpo (scambi convettivi);
- attività svolte dagli individui.

L'aumentare del coefficiente  $E_{sw}$  esprime, quindi, la risposta di adattamento del corpo umano a una condizione anomala di discomfort ( $E_{sw} > 0$ ). Affinchè venga ripristinato l'equilibrio fra le condizioni ambientali esterne e il corpo umano è necessario, quindi, modificare uno o più fattori. Stesse condizioni di comfort possono essere ottenute con diverse combinazioni di questi parametri ma, dal punto di vista progettuale, è possibile agire diminuendo la temperatura dell'aria<sup>(2)</sup> o modificando i parametri ambientali che influiscono sugli scambi radiativi e convettivi corpo umano/ambiente. In particolare, intervenendo sulla velocità dell'aria e sulla temperatura delle superfici che circondano gli occupanti di un ambiente è possibile modificare rispettivamente gli scambi convettivi e radiativi.

<sup>(2)</sup> *La temperatura della massa d'aria può essere moderata grazie a sistemi di raffreddamento evaporativi e/o radiativi sfruttando la presenza di elementi a elevata massa termica (come la struttura muraria - night ventilation; o il terreno - earth cooling).*

<sup>(3)</sup> Quando i flussi d'aria lambiscono le superfici, il coefficiente di scambio convettivo fra le pareti e l'ambiente aumenta, cosicché la temperatura superficiale della massa muraria diminuisce e, di conseguenza, diminuisce anche la temperatura operante interna, migliorando ulteriormente la sensazione di benessere degli individui.

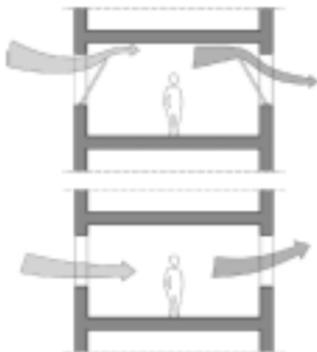


fig. 1.1 Differenti effetti della ventilazione sulle condizioni di comfort interno

## 1.2 VENTILAZIONE, COMFORT E PROGETTO

Attraverso la ventilazione naturale è, quindi, possibile modificare le condizioni ambientali interne (introducendo flussi a temperatura inferiore, *raffrescamento ambientale*) o intervenire sui termini  $\Delta R$  e  $C_v$ .

A seconda del posizionamento delle aperture, infatti, possono ottenersi effetti differenti (fig. 1.1):

- raffrescamento delle superfici della massa muraria tramite scambio convettivo (*raffrescamento strutturale*)<sup>(3)</sup>;
- miglioramento delle condizioni di comfort attraverso l'attivazione del meccanismo di evapotraspirazione del corpo umano (*raffrescamento corporeo*).

La sensazione di comfort rispetto al flusso d'aria dipende anche dalla sua velocità. La scelta della velocità ottimale deve però essere effettuata considerando in modo complessivo il problema. Valori troppo bassi del flusso d'aria, infatti, non hanno effetti a livello fisiologico sulle condizioni di comfort; livelli eccessivi, invece, possono causare disagio psico-fisico negli occupanti degli ambienti. E' relativamente semplice, quindi, individuare un limite inferiore in relazione alla risposta fisiologica dell'organismo umano. Più complessa è, invece, la determinazione del limite superiore che dipende anche da aspetti psicologici, dalle capacità di adattamento e dalle aspettative degli individui.