



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

APPUNTI DI FISICA TECNICA

le guide pratiche del
Master CasaClima

1

2^a edizione riveduta

collana diretta da Cristina Benedetti



BOZEN · BOLZANO UNIVERSITY PRESS

sponsorizzato da:



collana diretta da:

docente del modulo:

*a cura degli studenti del 4° Ciclo
del Master CasaClima:*

progetto grafico a cura di:

finito di stampare:

distribuzione:

Cristina Benedetti

Martin H. Spitzner

Maria Teresa Girasoli e Marianna Marchesi per l'elaborazione dei contenuti
Martina Demattio e Matteo Rondoni per l'analisi termica con Dämmwerk
con il contributo di **Daniele Cappato, Salvatore Di Dio e Martin Orehek**

Marianna Marchesi

Un ringraziamento particolare a **Marco Baratieri** e **Peter Erlacher** per la
competenza e la disponibilità.

Gennaio 2010, Bozen-Bolzano University Press

Universitätsbibliothek Bozen, Biblioteca Universitaria di Bolzano
Bozen-Bolzano University Press
Universitätsplatz 1 - piazza Università, 1
39100 Bozen-Bolzano Italy
T: +39 0471 012 300
F: +39 0471 012 309
www.unibz.it/universitypress
universitypress@unibz.it

© 2010 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.

2ª edizione riveduta
ISBN 978-88-6046-034-9

INDICE

1. Isolamento termico	7
1.1 Fabbisogno di energia per il riscaldamento	7
1.2 Meccanismi di trasmissione del calore	10
1.3 Conduttività termica λ	12
1.4 Resistenza termica R	15
1.5 Resistenza termica di intercapedini d'aria non ventilate	18
1.6 Resistenza termica di intercapedini d'aria ventilate	21
1.7 Trasmittanza termica U	22
1.8 Trasmissione del calore in una parete multistrato	25
1.9 Ponti termici	29
1.10 Calcolo del risparmio economico annuo derivato da un intervento di isolamento termico	33

2. Protezione dall'umidità	37
2.1 Umidità dell'aria	37
2.2 Meccanismi di trasmissione del vapore	41
2.3 Formazione di condensa	43
2.4 Protezione dalla diffusione del vapore	50
2.5 Verifica di Glaser	53
2.6 Formazione di muffa	61
3. Tenuta all'aria e ventilazione	63
3.1 Tenuta all'aria	63
3.2 Blower-door test	66
3.3 Ventilazione	68

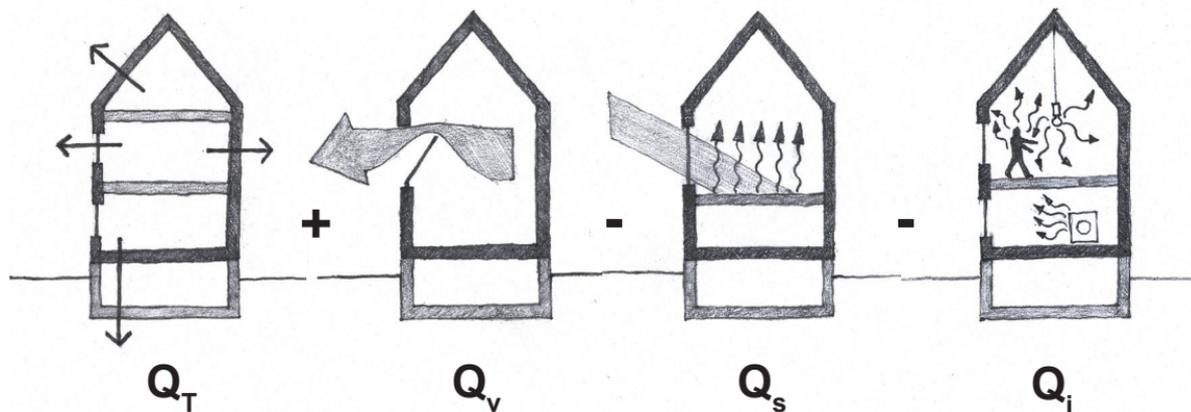
4. Condizioni di benessere nell'edificio	71
4.1 Benessere termoigrometrico	71
4.2 Benessere termico estivo	74
Appendice	85
A.1 Resistenza termica di un elemento costruttivo, costituito da strati eterogenei	85
A.2 Panoramica dei principali materiali termoisolanti	94
A.3 Esercitazione	120
A.4 Esempio di analisi termica con il software Therm 5.2	134
A.5 Esempio di analisi termica con il software Dämmwerk 2009	139
Bibliografia	159

1.1 FABBISOGNO DI ENERGIA PER IL RISCALDAMENTO

Il **fabbisogno di calore per il riscaldamento** Q_h è il calore che deve essere fornito all'ambiente riscaldato per mantenere la temperatura di progetto dello spazio riscaldato⁽¹⁾.

Il fabbisogno di calore⁽²⁾ di un edificio, durante la stagione di riscaldamento⁽³⁾, è dato dalla differenza fra le dispersioni termiche complessive e i guadagni termici complessivi:

$$Q_h = (Q_T + Q_v) - (Q_s + Q_i) \quad [\text{kWh/a}]$$



⁽¹⁾UNI EN 832.

⁽²⁾I singoli importi delle voci presenti nel calcolo devono essere determinati secondo il metodo definito dalle norme UNI EN 832 e UNI EN ISO 13790.

⁽³⁾Il periodo di riscaldamento indica il tempo in cui la temperatura interna desiderata è superiore alla temperatura media esterna.

⁽⁴⁾Le perdite per trasmissione di un edificio riscaldato a temperatura interna uniforme dipendono dalla differenza tra temperatura interna ed esterna, dalla durata del periodo di calcolo e dalle caratteristiche termiche degli elementi costruttivi che delimitano lo spazio riscaldato verso l'esterno, il terreno e gli ambienti non riscaldati.

⁽⁵⁾Le perdite per ventilazione di un edificio dipendono dalla differenza tra temperatura interna ed esterna, dalla durata del periodo di calcolo, dalla portata d'aria di rinnovo dell'edificio e dalla capacità termica volumica dell'aria.

⁽⁶⁾Gli apporti solari variano in funzione dell'insolazione disponibile nella località interessata, dell'orientamento delle superfici di raccolta, della presenza di ombreggiatura permanente e della capacità di assorbimento delle superfici esposte al sole.

dove

Q_T = perdite per trasmissione [kWh/a]

sono le dispersioni termiche per trasmissione di calore attraverso gli elementi costruttivi, opachi e vetrati, costituenti l'involucro, verso l'esterno, in aderenza al terreno, verso vani attigui non riscaldati, e tramite i ponti termici geometrici e costruttivi⁽⁴⁾;

Q_V = perdite per ventilazione [kWh/a]

sono le dispersioni termiche mediante aerazione, naturale o forzata, e derivanti da infiltrazioni d'aria attraverso l'involucro⁽⁵⁾;

Q_s = apporti solari [kWh/a]

sono i guadagni termici gratuiti dovuti alla radiazione solare mediante irraggiamento attraverso gli elementi costruttivi trasparenti o opachi⁽⁶⁾;

Q_i = apporti interni [kWh/a]

sono i guadagni interni gratuiti generati da sorgenti interne di calore, diverse dal sistema di riscaldamento, quali apporti dovuti al metabolismo degli occupanti⁽⁷⁾, alle apparecchiature elettriche e agli apparecchi di illuminazione.

Il fabbisogno di energia per il riscaldamento Q è l'energia che deve essere fornita al sistema di riscaldamento per soddisfare il fabbisogno di calore⁽⁸⁾.

Il fabbisogno di energia indica il consumo sostenuto per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria e dipende dall'efficienza del

sistema di riscaldamento:

$$Q + Q_r = (Q_h + Q_w) / \eta_h \quad [\text{kWh/a}]$$

dove

Q = fabbisogno di energia per il riscaldamento dell'edificio [kWh/a]

Q_r = calore recuperato dai sistemi ausiliari, dai sistemi di riscaldamento e dall'ambiente [kWh/a]

Q_h = fabbisogno di calore per il riscaldamento dell'edificio [kWh/a]

Q_w = fabbisogno di calore per la produzione d'acqua calda [kWh/a]

η_h = rendimento del sistema di riscaldamento [-].

(7) Tale valore è fortemente influenzato dal numero di persone che vivono nell'edificio e dall'attività svolta.

Il calcolo viene elaborato facendo riferimento a un "abitante medio".

La presenza di una persona può essere considerata come una fonte di calore di 60-120W.

(8) UNI EN 832.

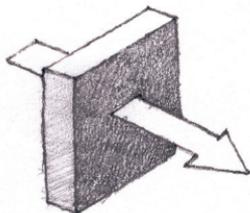


fig. 1.1 Conduzione termica

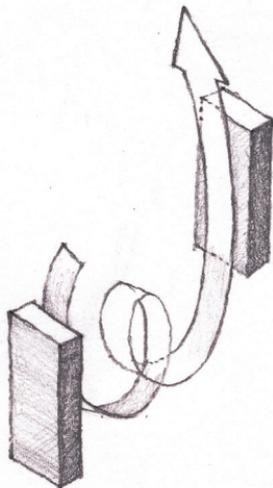


fig. 1.2 Convezione termica

1.2 MECCANISMI DI TRASMISSIONE DEL CALORE

La trasmissione di calore avviene attraverso tre meccanismi:

- conduzione termica,
- convezione termica,
- irraggiamento termico.

La **conduzione termica** (fig. 1.1) è lo scambio di calore che avviene all'interno di mezzi solidi, liquidi o gassosi, quando, a causa di una differenza di temperatura, viene trasferita energia cinetica da molecole situate in regioni a temperatura maggiore verso altre molecole in aree adiacenti a temperatura più bassa. Il trasferimento di energia avviene per contatto molecolare, senza spostamento delle particelle.

La **convezione termica** (fig. 1.2) è lo scambio di calore che avviene quando almeno uno dei due corpi interessati allo scambio termico è un fluido (mezzo liquido o gassoso) in movimento.

Il calore viene trasmesso per effetto del trasferimento di materia. Il fenomeno si verifica quando un fluido entra in contatto con un corpo a temperatura maggiore rispetto a quella del fluido stesso. Con l'aumento della temperatura il fluido si espande, la sua densità diminuisce e, per effetto della spinta di Archimede, sale, in quanto meno denso del fluido a temperatura più bassa che lo circonda. Ciò genera moti convettivi in cui il fluido caldo si sposta verso l'alto e quello freddo si muove verso il