



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

UMIDITÀ E TENUTA ALL'ARIA

le guide pratiche del
Master CasaClima

7

collana diretta da Cristina Benedetti

bu,press

bozen
bolzano
university
press

collana diretta da: **Cristina Benedetti**

coordinamento: **Maria Teresa Girasoli**

docente di riferimento: **Peter Erlacher**

a cura degli studenti del Master CasaClima: **Elena Stagni** per l'elaborazione dei contenuti.

progetto grafico a cura di: **Marianna Marchesi**

progetto di layout e copertina: **Elena Stagni e Julia Ratajczak**

stampa: Lanarepro, Lana

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
universitypress@unibz.it

© 2012 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, ottobre 2012
ISBN 978-88-6046-052-3

INDICE

1.	Origine ed effetti dell'umidità negli edifici	7
1.1	Danni da umidità negli edifici	7
1.2	Fonti di umidità negli edifici	9
1.3	Produzione di umidità negli edifici residenziali	11
1.4	Fenomeni di condensazione	13
2.	Umidità e materiali da costruzione	17
2.1	Proprietà igrometriche dei materiali da costruzione	17
2.2	Igroscopicità dei materiali da costruzione	20
2.3	Meccanismi di trasporto dell'umidità	25
2.3.1	Trasporto di vapore per diffusione	26
2.3.2	Trasporto di vapore per convezione	27

2.3.3	Trasporto di acqua per capillarità	28
3.	Verifica igrometrica degli elementi costruttivi	31
3.1	Verifica in regime stazionario: UNI EN ISO 13788:2003	32
3.2	Verifica in regime dinamico: UNI EN 15026:2008	36
3.3	Confronto tra verifica in regime stazionario e verifica in regime dinamico	39
4.	Tenuta all'aria dell'involucro edilizio	41
4.1	Permeabilità, tenuta all'aria e tenuta al vento dell'involucro edilizio	41
4.2	Conseguenze della scarsa ermeticità dell'involucro edilizio	43
4.3	Progettare la tenuta all'aria	47
4.4	Schede di dettaglio	49
4.5	Tecniche di misurazione della tenuta all'aria	73
4.6	Requisiti di tenuta all'aria in Italia e secondo gli standard CasaClima e Passivhaus	77

5.	Traspirabilità dell'involucro edilizio	81
5.1	Qualità igrometrica delle stratigrafie	81
5.2	Valutazione e confronto delle stratigrafie	84
5.2.1	Individuazione delle tipologie di elementi costruttivi	84
5.2.2	Parametri, metodi e strumenti di calcolo	86
5.2.3	Schede di valutazione	92
	Appendice	157
A.1	Proprietà dei materiali da costruzione	157
	Bibliografia	169
	Le guide pratiche del Master CasaClima	175

1.1 DANNI DA UMIDITÀ NEGLI EDIFICI

Ciascun edificio è soggetto a condizioni termiche e igrometriche in continuo mutamento per le diverse condizioni climatiche esterne ed interne a cui è sottoposto.

Oltre a influenzare in maniera significativa la sensazione di benessere negli ambienti confinati, l'umidità può costituire un rischio per le strutture edilizie e rappresenta la prima causa di danno in edilizia (fig. 1.1).

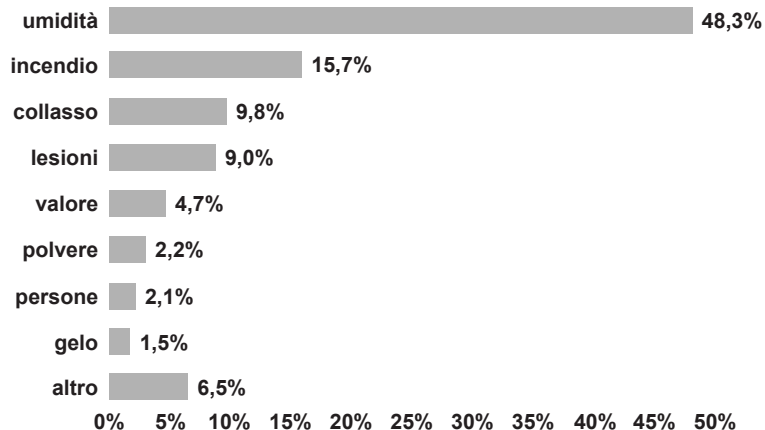


fig. 1.1 Statistica sulle cause di danno agli edifici (Elaborazione da dati Rizkallah, Achmus, Kaiser, 2003)



fig. 1.2 Degrado dei materiali a causa di condensa interstiziale (Foto: Peter Erlacher, 1995)



fig. 1.3 Muffa su una superficie interna (Foto: Peter Erlacher, 1995)

L'umidità è pertanto un fenomeno che deve essere tenuto in adeguata considerazione in particolare in edifici a basso consumo energetico dove, per gli elevati spessori di isolamento termico e l'elevata ermeticità dell'involucro edilizio, i rischi di danni da umidità sono maggiori.

Per evitare che l'umidità costituisca un problema è quindi importante garantire una corretta gestione del fenomeno e prendere adeguate misure sia in fase progettuale che esecutiva.

I danni più frequenti riconducibili all'umidità sono:

- danni alle strutture e degrado dei materiali (fig. 1.2);
- riduzione della conducibilità dei materiali isolanti, con conseguente peggioramento delle prestazioni energetiche dell'involucro;
- formazione di muffe e colonie fungine sulla superficie degli elementi costruttivi, con conseguente peggioramento della salubrità e della qualità dell'aria interna (fig. 1.3);
- migrazione di sali e formazione di efflorescenze;
- variazione dimensionale e danneggiamento dei manufatti, per problemi legati ai cicli gelo-disgelo.

1.2 FONTI DI UMIDITÀ NEGLI EDIFICI

A seconda della fonte, l'umidità⁽¹⁾ si distingue in (fig. 1.4):

- umidità esterna (dovuta alla composizione stessa dell'aria e ai fenomeni meteorologici);
- umidità interna (dovuta allo svolgimento di attività all'interno degli ambienti);
- umidità di costruzione o umidità residua (presente in ciascun materiale da costruzione);
- umidità da risalita capillare dal terreno;
- umidità da infiltrazione diretta attraverso i componenti edilizi (coperture, serramenti, gronde, ecc.).

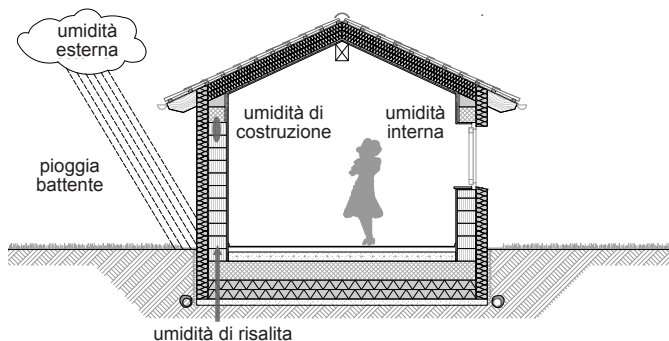


fig. 1.4 Fonti di umidità negli edifici

⁽¹⁾ Si rimanda alla guida pratica del Master CasaClima Appunti di Fisica Tecnica per la definizione delle grandezze caratteristiche per misurare l'umidità.

Se alcune di queste fonti sono fisiologiche e legate al normale comportamento dell'edificio, altre sono patologiche e associate a un difetto di progettazione o a un cattivo funzionamento dell'organismo edilizio. Queste ultime, non essendo prevedibili in fase di progettazione, possono causare danni da umidità, che si manifestano quando le strutture edilizie sono sottoposte a carichi di umidità superiori a quanto queste siano in grado di "sostenere".

1.3 PRODUZIONE DI UMIDITÀ IN EDIFICI RESIDENZIALI

All'interno degli ambienti confinati si produce umidità in quantità variabili a seconda delle attività svolte all'interno (tab. 1.1).

Attività	Produzione media di vapore (l/giorno)
Cucinare	3,0
Fare la doccia	2,0
Fare/Asciugare il bucato	2,0
Lavare i piatti a mano	0,4

tab. 1.1 *Produzione media giornaliera di umidità per alcune attività (GEN Report 14788:2005)*

In ambito residenziale la produzione media giornaliera di vapore per una famiglia di quattro persone può essere stimata approssimativamente in 10 litri al giorno.

Al fine di mantenere un ambiente interno sano e confortevole l'umidità in eccesso deve essere smaltita.

Un involucro edilizio tipico di edifici residenziali smaltisce per diffusione solo il 2% circa dell'umidità giornalmente prodotta all'interno degli ambienti. Il restante 98% deve essere smaltito con un ricambio dell'aria tramite ventilazione naturale o tramite l'utilizzo di un impianto di ventilazione meccanica controllata (fig.1.5). Questo aspetto non

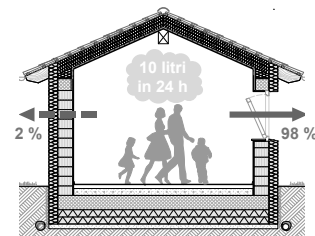


fig. 1.5 *Smaltimento di umidità per diffusione e ricambio d'aria (Elaborazione da dati Peter Erlacher, 2005)*

⁽²⁾ Si rimanda al capitolo 2 per la definizione dei parametri igrometrici caratteristici dei materiali da costruzione.

deve essere sottovalutato: l'involucro edilizio non è in grado di smaltire l'umidità prodotta giornalmente al suo interno e solo una minima parte (0,2 litri/giorno, se si considerano i 10 litri/giorno prodotti mediamente da una famiglia di 4 persone) viene smaltita per diffusione.

I restanti 9,8 litri/giorno dovranno essere smaltiti tramite ricambio dell'aria, in modo da evitare che l'umidità prodotta rimanga all'interno dell'involucro edilizio, generando condizioni di discomfort e il rischio che si verifichino fenomeni di condensazione.

Questa considerazione vale qualsiasi siano i materiali con i quali si realizza l'involucro edilizio: anche utilizzando materiali traspiranti⁽²⁾ la percentuale di umidità smaltita per diffusione non aumenterà in modo significativo e rimarrà nell'ordine di grandezza del 2 - 3%. Lo smaltimento dell'umidità interna non può pertanto in nessun caso essere demandato alla sola diffusione, ma deve sempre essere demandato ad un adeguato ricambio dell'aria.

1.4 FENOMENI DI CONDENSAZIONE

La capacità dell'aria di contenere umidità non è illimitata e diminuisce al diminuire della sua temperatura.

La formazione di condensa avviene se, durante il processo di migrazione attraverso l'elemento costruttivo, l'andamento delle pressioni parziali di vapore, che dipendono dalla temperatura esterna ed interna e dalla resistenza al passaggio del vapore della struttura, supera in un qualsiasi punto l'andamento delle pressioni di saturazione.

Pertanto, se il flusso di vapore, avente pressione parziale di vapore p_v , incontra, nel suo processo di migrazione, un punto avente una pressione di saturazione p_{sat} per cui si verifichi la condizione $p_v > p_{sat}$, si avrà condensazione: i grammi di umidità in eccesso rispetto all'umidità di saturazione verranno smaltiti attraverso condensa (passaggio dallo stato gassoso a quello liquido).

In Italia la verifica di eventuali fenomeni di condensazione è regolata dal DPR 59/2009 che prevede che per le strutture opache siano verificate:

- l'assenza di fenomeni di condensazione superficiale;
- la formazione di condensa interstiziale in quantità limitate (v. cap. 3).

Il progettista deve per ogni componente edilizio verificare la presenza sia di fenomeni di condensazione interstiziale che di fenomeni di condensazione superficiale.

Il DPR 59/2009 prevede che le verifiche igrometriche siano eseguite in

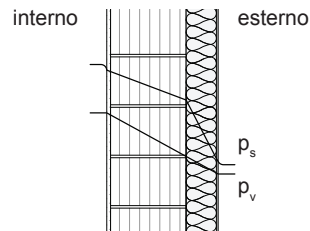


fig. 1.6 Andamento della pressione parziale di vapore e della pressione di saturazione in assenza di condensa

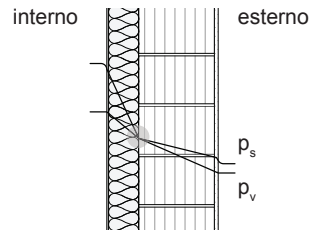


fig. 1.7 Andamento della pressione parziale di vapore e della pressione di saturazione in presenza di condensa

⁽³⁾ DPR 59/2009 - Allegato B.

⁽⁴⁾ La norma UNI EN ISO 13788:2003 definisce algoritmi per determinare le condizioni climatiche interne di temperatura e umidità relativa in funzione dell'uso dell'edificio e delle condizioni climatiche esterne, corrispondenti ai valori medi mensili di temperatura e umidità relativa della località in cui si vuole effettuare la verifica.

⁽⁵⁾ DPR 59/2009, art. 3, c. 2, lett. a), b) e c).

conformità alla norma UNI EN ISO 13788:2003⁽³⁾. Benché questa norma preveda condizioni climatiche interne mensili⁽⁴⁾, è importante sottolineare che il DPR 59/2009 impone che le condizioni climatiche interne siano, in assenza di un sistema di controllo dell'umidità relativa interna, pari a $T_i = 20 \text{ °C}$ e $UR = 65\%$ ⁽⁵⁾ per tutte le zone climatiche e durante tutto il corso dell'anno. Queste condizioni al contorno sono molto rigide in particolare in un clima come quello italiano, in quanto non tengono conto delle diversità che questo presenta sia a livello regionale che stagionale.

I fenomeni di condensazione superficiale e la formazione di muffa sono fenomeni tipici di edifici poco isolati e/o in cui non sono stati corretti i ponti termici. In edifici residenziali le basse temperature superficiali insieme ad alti tassi di umidità relativa sono la causa principale della formazione di condensa sulle superfici interne. Secondo la verifica imposta dal DPR 59/2009 ($T_i = 20 \text{ °C}$; $UR = 65\%$) la temperatura superficiale interna dovrebbe sempre essere superiore a $13,2 \text{ °C}$ per evitare la formazione di condensa superficiale. Per evitare la formazione di muffa sarebbe invece necessario garantire una temperatura superficiale maggiore o uguale a $16,7 \text{ °C}$ (temperatura di saturazione per le condizioni $T_i = 20 \text{ °C}$ e $UR = 80\%$), in quanto la norma UNI EN ISO 13788:2003 considera che la formazione di muffe possa verificarsi anche nel caso in cui venga mantenuto per diversi giorni un tenore di umidità relativa superiore all'80% in corrispondenza delle superfici interne (tab. 1.2).

Garantire temperature superficiali interne superiori a 16,7 °C significa, in altre parole, garantire entrambi i requisiti (assenza di formazione di muffa e di condensazione superficiale sulle superfici interne).

Umidità relativa	Temperatura di saturazione
40%	6,0
50%	9,3
60%	12,0
65% (verifica DPR 59/2009)	13,2 · condensazione
70%	10,0
80%	16,7 · crescita muffe
90%	18,3

tab. 1.2 Temperatura di rugiada per diverse condizioni di umidità relativa e per temperatura interna ipotizzata costante a 20 °C.

I fenomeni di condensazione interstiziale sono fenomeni che riguardano prevalentemente gli edifici isolati, nei quali la presenza dell'isolamento termico consente maggiori temperature superficiali interne e "sposta" l'eventuale punto di condensa all'interno dell'elemento costruttivo. La condensazione interstiziale può avvenire in corrispondenza dell'interfaccia tra due strati, in più interfacce o all'interno di uno strato. Nella maggior parte dei casi però avviene in corrispondenza tra due strati,

soprattutto se costituiti da materiali di caratteristiche termoigrometriche differenti.

Il DPR 59/2009 consente la formazione di condensa interstiziale in quantità limitate, ponendo come condizione il rispetto della quantità ammissibile di condensa per il materiale interessato da condensazione e la completa rievaporazione della quantità di condensa accumulata nel corso dell'anno: la formazione di condensa interstiziale non è quindi esclusa.

La presenza di condensa interstiziale può essere verificata, in fase progettuale, attraverso verifiche igrometriche in regime stazionario, ai sensi della UNI EN ISO 13788:2003, o in regime dinamico, ai sensi della UNI EN 15026:2008 (v. cap. 3).