

**Collana:**  
**L'ISOLAMENTO TERMICO E**  
**ACUSTICO**

**VOL.4**  
***Muffa, condensa***  
***e ponti termici***

*Guida completa*  
*all'analisi igrotermica degli edifici*

***Rossella Esposti***  
***Giorgio Galbusera***  
***Alessandro Panzeri***  
***Claudia Salani***

Edito da TEP srl  
Via Savona 1/B, 20144 – Milano

Tutti i diritti sono riservati.  
Nessuna parte può essere riprodotta in alcun modo (comprese  
fotocopie e microfilm) senza il permesso dell'editore.

Prima edizione: Ottobre 2009  
Prima ristampa: Marzo 2010  
Seconda ristampa: Dicembre 2010  
Seconda edizione: Gennaio 2014

Stampa:  
Ingraph srl via Bologna 104/106  
20038 Seregno, Milano

Copertina: Susanna Mammi  
Coordinamento scientifico ed editoriale: Giorgio Galbusera

---

## INTRODUZIONE

Stiamo assistendo in questi anni a un secondo risveglio della coscienza progettuale.

Il primo, ormai consolidato, riguarda la consapevolezza collettiva circa l'importanza della progettazione energetica: nessun intervento in ambito edilizio, di nuova costruzione o su un edificio esistente, oggi può escludere una riflessione sull'efficienza energetica. Questo perché esistono regole severe dedicate che non si possono più dimenticare, ma soprattutto perché si è diffusa nel mercato la sensibilità per il contenimento dei consumi, per il risparmio energetico e in generale per la sostenibilità ambientale.

Il secondo risveglio a cui stiamo assistendo è una conseguenza del primo e riguarda proprio il tema di questo volume, ovvero l'analisi igrotermica degli edifici.

L'importanza del controllo delle prestazioni igrotermiche sta assumendo ormai un ruolo cruciale con conseguenze riguardanti tre aspetti fondamentali:

1. il raggiungimento di un alto livello di comfort degli spazi abitati,
2. il rispetto delle verifiche di legge,
3. la garanzia di non incappare in contenziosi a intervento ultimato.

Proprio come è successo in ambito energetico la consapevolezza su questi argomenti si sta sviluppando partendo dalla presa di coscienza dei requisiti minimi obbligatori (come il controllo della condensa superficiale e interstiziale), per passare poi allo studio della prassi sulla buona "regola d'arte" (riguardante ad esempio il rischio di formazione di muffa), per finire all'approfondimento attraverso strumenti sempre più avanzati (è il caso della valutazione igrotermica in regime dinamico).

La prima parte del libro, che riprende e aggiorna la prima edizione (datata 2009), è dedicata all'analisi delle regole di base per una corretta progettazione igrotermica, ovvero a come governare i fenomeni di rischio condensa superficiale, muffa e condensa interstiziale. La seconda parte invece propone un interessante approfondimento sull'analisi dinamica degli stessi fenomeni in accordo con una normativa più sofisticata (ovvero la norma UNI EN 15026:2008). Nella terza parte si affronta il tema dei ponti termici col duplice obiettivo di capire come si possono analizzare correttamente e come si possono correggere. Infine nella quarta parte è proposta una riflessione sulle modalità di diagnosi corredata da una guida all'intervento e alla soluzione dei problemi riscontrati.

Ci auguriamo di aver creato una guida pratica per tutti coloro che sono interessati alla progettazione e alla diagnosi igrotermica

Buona lettura, consultazione e proficuo uso professionale.

Gennaio 2014

---

# INDICE:

## INTRODUZIONE

### PARTE 1: “Igrotermia in regime stazionario”

Rossella Esposti e Giorgio Galbusera

1. INTRODUZIONE.....	4
2. MIGRAZIONE DEL VAPORE NELLE STRUTTURE.....	4
2.1 Aria umida.....	5
2.2 Il diagramma psicrometrico.....	7
3. GRANDEZZE E UNITÀ DI MISURA.....	9
3.1 Umidità assoluta $x$ .....	9
3.2 Pressione di vapore $P_{vap}$ .....	9
3.3 Pressione di saturazione $P_{sat}$ .....	9
3.4 Umidità relativa $UR$ .....	9
3.5 Temperatura di rugiada.....	10
3.6 Permeabilità al vapore $\delta$ .....	11
3.7 Fattore di resistenza al vapore $\mu$ .....	11
3.8 Spessore equivalente d'aria $Sd$ .....	12
4. INQUADRAMENTO LEGISLATIVO E NORMATIVO.....	13
4.1 Cosa prescrive la legge.....	13
4.2 Rischio di condensazione superficiale.....	15
4.3 Rischio di formazione di muffa.....	20
4.4 Rischio di condensa interstiziale.....	24
4.5 Verifica del tempo di asciugatura.....	32
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	34

### PARTE 2: “Igrotermia in regime dinamico”

Giorgio Galbusera e Claudia Salani

1. INTRODUZIONE.....	36
2. DAL REGIME STAZIONARIO AL REGIME DINAMICO.....	36
2.1 I limiti del modello di Glaser (UNI EN ISO 13788).....	36
2.2 Igroscopia in regime dinamico (UNI EN 15026).....	37
2.3 Quando passare all'analisi dinamica?.....	38
3. MODELLO FISICO E CARATTERISTICHE IGROSCOPICHE.....	39
3.1 Introduzione.....	39
3.2 Meccanismi di migrazione del vapore.....	40
3.3 Modello di calcolo.....	43
3.4 Caratteristiche dei materiali.....	45
3.5 La funzione dell'equilibrio igroscopico $w$ .....	46
3.6 Coefficiente di trasporto liquido $Dw$ .....	47
3.7 Influenza dell'umidità sulla conduttività termica $\lambda$ .....	49
3.8 Influenza dell'umidità sul fattore $\mu$ .....	50
4. CONDIZIONI AL CONTORNO.....	52
4.1 Dati climatici esterni.....	52
4.2 Dati climatici interni.....	53

---

---

5.	ESEMPIO D'ANALISI IN REGIME DINAMICO.....	56
5.1	Valutazioni in regime stazionario.....	57
5.2	Valutazioni in regime dinamico .....	59
5.3	Confronto dei risultati e conclusioni .....	63
	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	64

### **PARTE 3: “Ponti termici”**

**Rossella Esposti, Giorgio Galbusera e Alessandro Panzeri**

1.	L'ANALISI DEI PONTI TERMICI .....	66
1.1	L'importanza dei ponti termici .....	66
1.2	Definizione di ponte termico .....	68
1.3	Ponti termici nel calcolo del fabbisogno energetico.....	69
1.4	Ponti termici nel calcolo della trasmittanza termica.....	70
2.	LA VALUTAZIONE ENERGETICA DEL COEFFICIENTE $\psi$ .....	72
2.1	Il significato di $\psi$ secondo UNI EN ISO 14683 .....	72
2.2	I contenuti della norma UNI EN ISO 10211 .....	75
2.3	La valutazione del coefficiente lineico .....	79
3.	STRUMENTI DI CALCOLO .....	80
3.1	Metodi di calcolo e incertezza prevista .....	80
3.2	Il software IRIS .....	82
3.3	Il software THERM .....	86
4.	INTERVENTI PER LA CORREZIONE DEI PONTI TERMICI .....	89
4.1	Ponti termici strutturali (travi, pilastri ecc.) .....	89
4.2	Pilastri d'angolo.....	90
4.3	Ponti termici parete/serramento .....	91
4.4	Cassonetti per avvolgibili .....	91
4.5	Ponti termici su aggetti e balconi .....	92
4.6	Piano pilotis .....	92
4.7	Fondazioni e ambienti non riscaldati .....	93
4.8	Attacco della copertura piana .....	94
4.9	Attacco della copertura a falda .....	94
	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	95

### **PARTE 4: “Diagnosi igrotermica e contenziosi”**

**Alessandro Panzeri**

1.	COME IMPOSTARE LA DIAGNOSI IGROTERMICA .....	97
1.1	Premessa .....	97
1.2	Interpretare il quesito del giudice .....	98
1.3	Raccolta dati .....	100
1.4	Indagini .....	102
1.5	Soggetti coinvolti.....	103
1.6	Errori e cause .....	105
1.7	Soluzioni.....	106
2.	ESEMPI DI DIAGNOSI .....	107
	Esempio 1: cattiva gestione dell'utenza .....	107
	Esempio 2: errori di progetto .....	118
	Esempio 3: errori di realizzazione.....	124

---

---

3.	VALUTAZIONE DEL COEFFICIENTE LINEICO IN OPERA .....	131
3.1	Coefficienti lineici senza correzione .....	132
3.2	Coefficienti lineici con ponte termico corretto .....	135
3.3	Conclusioni .....	136
	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	137

## **PARTE 5: “Appendici”**

### APPENDICE A

**Franco Calvi e Michele Gaverini**

	CONFRONTO DEI METODI PER LA VALUTAZIONE DEI PONTI TERMICI .....	139
A.1	Valutazione del coefficiente $\psi$ .....	139
A.2	I ponti termici analizzati .....	140
A.3	Metodologie di calcolo e risultati .....	144
A.4	Conclusioni .....	147

### APPENDICE B

**Alessandro Panzeri**

	IGROTERRIA PER ELEMENTI CONTROTERRA .....	148
B.1	Introduzione .....	148
B.2	Igrotermia contro terra .....	148

### APPENDICE C

**Valentina Raisa**

	QUALITÀ DELL'ARIA INTERNA .....	151
C.1	Introduzione .....	151
C.2	Inquinamento dell'aria interna .....	151
C.3	I sintomi associati ad una scorretta qualità dell'aria .....	153
C.4	Le malattie collegate all'edificio .....	153
C.5	Il problema della ventilazione .....	154
C.6	Riferimenti bibliografici .....	162

---