



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

# Costruire in legno

edifici a basso consumo energetico

2ª edizione riveduta e ampliata

Cristina Benedetti  
Carlo Dal Vera  
Mariangela Gavioli  
Davide Gigli  
Maurita Glorioso  
Cristina Pasquale  
Simona Pezzucchi  
Elia Terzi

**bu,press**

bozen  
bolzano  
university  
press

Con il sostegno di:



I contenuti del libro sono stati curati da:

**Cristina Benedetti** per l'impostazione generale  
**Carlo Dal Vera** e **Cristina Pasquale** per la progettazione  
esecutiva dei dettagli costruttivi  
**Maurita Glorioso** per la progettazione tridimensionale dei  
dettagli costruttivi  
**Mariangela Gavioli** per i materiali e lo studio delle fasce  
climatiche  
**Davide Gigli** per la fisica tecnica e la progettazione  
termoigrometrica  
**Simona Pezzucchi** per l'analisi del comfort interno e l'acustica  
**Elia Terzi** per la descrizione e l'analisi dei sistemi costruttivi

Un ringraziamento particolare a **Norbert Hofer** e **Lukas Hofer**  
per la competenza e la disponibilità.

Il progetto grafico del libro è stato curato da:

**Mater | generative design** - [www.studiomater.com](http://www.studiomater.com)  
**Emanuele Pangrazi** concept design e illustrazioni digitali  
**Chiara Poli** grafica e montaggio

Finito di stampare nel mese di marzo 2014.  
Tipografia: Alcione, Lavis

-----  
Distribuzione

Universitätsbibliothek Bozen  
Biblioteca Universitaria di Bolzano  
University Library of Bozen-Bolzano

Bozen-Bolzano University Press

Universitätsplatz 1 / piazza Università 1  
I - 39100 Bozen/Bolzano  
T: +39 0471 012 332  
F: +39 0471 012 309  
[www.unibz.it/universitypress](http://www.unibz.it/universitypress)  
[universitypress@unibz.it](mailto:universitypress@unibz.it)

© 2014 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: gennaio 2009  
2ª edizione riveduta e ampliata: giugno 2009  
1ª ristampa: luglio 2009, 2ª ristampa: luglio 2010,  
3ª ristampa: marzo 2014

ISBN 978-88-6046-026-4

# Indice

**Introduzione 005**

**Il progetto e la verifica termoigrometrica 008**

Introduzione 008

Caratteristiche dei materiali 010

Caratteristiche della sezione 011

Verifica termoigrometrica di un elemento costruttivo 012

· I dati geo-climatici 012

· I dati fisico-tecnici 012

· La costruzione della stratigrafia 012

· L'analisi termica invernale 016

· L'analisi termoigrometrica 018

· La verifica alla condensa 018

· L'analisi termica estiva 020

**Studio dei materiali in relazione alle fasce climatiche 022**

**Simbologia 026**

**Dettagli costruttivi**

1 · Attacco a terra 027

2 · Sbalzo 045

3 · Pareti interne 061

4 · Parete esterna 077

5 · Tetto verde 093

6 · Coperture piane 105

7 · Copertura inclinata - linea di gronda 119

8 · Copertura inclinata - colmo 135

**Il comfort interno 151**

Il concetto di benessere 152

Indoor air quality 152

Fonti e sostanze 154

Sistemi di controllo e verifica 155

Il legno e l'indoor air quality 158

L'isolamento acustico 159

Sistemi di trasmissione del suono 160

Gli edifici in legno e l'acustica 162

Alcune indicazioni di riferimento 163

**Repertorio dei prodotti di legno e a base legno 165**

**Bibliografia 171**



# Introduzione

*Cristina Benedetti*

Nel panorama architettonico europeo si sta affermando un nuovo linguaggio, sensibile e attento ai problemi dell'ambiente e dell'energia, caratterizzato dall'uso di materiali diversi, dove il legno, utilizzato come materiale strutturale, è sempre considerato una componente importante nelle scelte progettuali, rappresentando un elemento carico di valenze simboliche ed emotive che da sempre segna epoche e culture.

In molti Paesi europei si ritiene che il legno impiegato nelle costruzioni sia una misura efficace per ridurre l'effetto serra e ne viene incentivato l'utilizzo attraverso politiche mirate di sviluppo e programmi di promozione, nell'edilizia pubblica come in quella privata. Il tasso di utilizzazione della risorsa legno risulta tuttavia nettamente inferiore al tasso di crescita: smentendo una credenza diffusa, le riserve forestali aumentano mentre le foreste diventano in media sempre più vecchie e per poter garantire al bosco un equilibrio naturale occorre pianificare

tagli e consumi del legno. Nel nostro Paese i freni alla diffusione delle abitazioni a struttura di legno sono preconetti di tipo culturale: gli utenti associano l'immagine di tali edifici agli chalet di montagna, a manufatti provvisori, ad edifici di tradizione locale, non credono alla durata nel tempo, esasperano i problemi legati alla manutenzione, sottolineano la cattiva reazione al fuoco di questo materiale senza apprezzarne la resistenza. Ma spesso i problemi sono legati ad una cattiva progettazione o ad una superficiale realizzazione: i tecnici, infatti, hanno carenza di formazione e di informazione. Nell'ambito delle costruzioni in legno è quindi opportuno non solo sviluppare sistemi efficienti ed innovativi, ma anche fornire esempi convincenti dal punto di vista tecnico ed estetico e solida preparazione di base per progettisti ed artigiani.

## **Il sistema a telaio**

Un cambiamento rivoluzionario nella tecnica costruttiva dei sistemi costruttivi continui ebbe

luogo nei primi decenni del XIX secolo, contemporaneamente alla "conquista" del continente nord americano, da Chicago alla costa del Pacifico.

Cambiamento "rivoluzionario" perché la tecnica costruttiva divenne veloce, leggera, agile nell'impianto tipologico e distributivo degli edifici, grazie all'impiego del legno.

Tale impiego non derivò da tendenze stilistiche non motivate né da una improvvisa evoluzione di usi e tradizioni: esso si inquadrò, e trova ancora oggi una motivazione storica di largo respiro, negli eventi sociali ed economici che caratterizzano il continente Nord Americano nei primi decenni del XIX secolo.

Era immanente su ogni attività e su ogni iniziativa, l'esigenza di "fare presto" per ragioni obiettive (occupare la terra, costruire strutture) e per ragioni psicologiche, di entusiasmo, di spirito di avventura. Parimenti, lo sviluppo di macchine per la produzione industrializzata di chiodi ne abbassò considerevolmente il prezzo rendendoli un bene di largo consumo la cui vendita era

diffusa capillarmente in tutti i luoghi raggiunti dai pionieri nella lunga marcia verso occidente. Mai forse come in questo caso la connessione fra fenomeni sociali, economici e tecniche costruttive per l'edilizia fu così stretta e conseguente, rappresentando il motore che ha portato alla nascita e allo sviluppo dei sistemi Balloon e Platform, i primi sistemi costruttivi industrializzati sulla scena del processo edilizio. Tutti i componenti adottati nei due sistemi hanno dimensioni standardizzate, risultano economici e sono realizzabili in breve tempo: anche operai non specializzati, sotto la guida di un capomastro, possono realizzare la strutture di un edificio di medie dimensioni in circa quattro giorni. Nel tempo, ricerche e studi si sono orientati verso la ricerca di soluzioni tecniche per edifici di quattro o cinque piani (limite costruttivo che aveva sempre confinato la costruzione dell'abitazione in legno ad edifici unifamiliari e a schiera). Nel 1996 un programma europeo (COST Action E5) ha studiato tali aspetti analizzando (e risolvendo) problemi di varia natura: isolamento acustico e termico, disegni e calcoli strutturali, comportamento al fuoco e nei riguardi del sisma. Tutti questi aspetti sono stati sperimentati con la costruzione di "Timber Frame 2000", ovvero una costruzione di sei piani realizzata in Gran Bretagna.

### **Il Cross-lam (X-lam)**

In Europa, sulla scia della strada percorsa da K.Wachsmann con il "General Panel System", le nuove tendenze portano a sistemi preassemblati, "aperti" e flessibili, facilmente combinabili con altri sistemi e materiali, che evidenziano profondi cambiamenti sia della concezione strutturale sia del linguaggio architettonico; inoltre l'industria dei prodotti derivati dal legno per uso strutturale si è chiaramente orientata verso la produzione di componenti caratterizzati da proprietà meccaniche elevate e controllate.

In particolare l'esigenza di conciliare aspetti ambientali ed energetici, come la riduzione degli sprechi, la limitazione dei consumi, l'uso di risorse rinnovabili, hanno contribuito negli ultimi anni allo sviluppo di un nuovo sistema costruttivo. dove i componenti strutturali sono rappresentati da grandi elementi a pannelli.

Essi costituiscono attualmente la tendenza più seguita per le costruzioni di legno in Austria e in Germania, così come in Alto Adige e nel Veneto.

L'ottimizzazione del processo è data nel fornire elementi preassemblati (che hanno come unico limite quello dimensionale del mezzo di trasporto e degli spazi di manovra dello stesso per arrivare al luogo di destinazione) e dai tempi di realizzazione dell'edificio estremamente contenuti.

I pannelli sono caratterizzati da elementi di grandi dimensioni (grazie alle connessioni con "giunti a pettine"), a vari strati incollati a tessitura incrociata (secondo le modalità costruttive del compensato). La dimensione e lo spessore dei vari elementi (sia delle pareti sia dei solai), l'assemblaggio dei vari strati incollati e incrociati, i dettagli delle connessioni, la posizione e lo spessore dell'isolante, le specie legnose impiegate dipendono dal brevetto delle varie Ditte costruttrici, dalle necessità statiche e, non da ultimo, dai risultati architettonici che si vogliono raggiungere.

### **Conclusioni**

L'impegno alla ricerca di un numero sempre maggiore di aziende del settore e l'utilizzo di questo materiale da parte di architetti di successo (da Thomas Herzog a Tadao Ando) sta "rilanciando" questo materiale: i nuovi sistemi costruttivi in legno massiccio permettono nuove possibilità formali e linguistiche, con architetture raffinate nei dettagli, con impiego di materiali diversi, e con una attenzione particolare ai consumi energetici e all'ecosostenibilità.

In particolare una crescente sensibilizzazione nei confronti delle tematiche energetiche ha sviluppato una nuova concezione del progettare e le scelte architettoniche sono

più legate all'uso di risorse rinnovabili piuttosto che a scelte estetiche ed il materiale legno ritorna come innovazione tecnologica della tradizione costruttiva.

Vanno congiuntamente lo sviluppo tecnologico ed il controllo di qualità: le strutture preassemblate in stabilimento assicurano l'affidabilità del sistema e la qualità dei componenti, le lavorazioni in cantiere sono ridotte al minimo, le macchine a controllo numerico permettono lavorazioni complesse e accurate, la perfezione delle connessioni, la realizzazione di manufatti un tempo tecnicamente impensabili od estremamente costosi.

L'industria ha risolto molti aspetti che costituivano un limite per l'applicazione di questo materiale nel campo delle costruzioni, come il comportamento al fuoco e le problematiche connesse alla durabilità e alla manutenzione. Altri aspetti, come quelli sismici, necessitano invece di una revisione più approfondita in conformità alle normative italiane.

Ai docenti dei vari livelli il compito di supplire alla carenza di informazione e conoscenza delle caratteristiche intrinseche di questo materiale e delle sue potenzialità tecniche e architettoniche.

In questo quadro si inserisce la realizzazione di questo libro (il primo di una collana) che

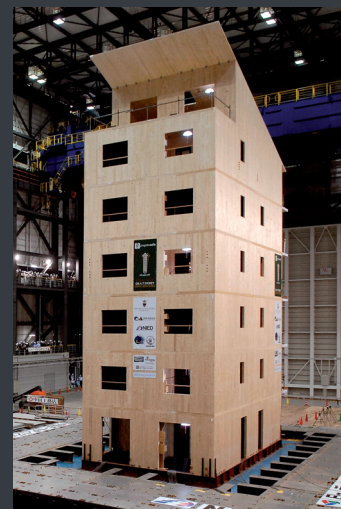
prende spunto da molteplici esperienze attivate all'interno del Master CasaClima della Libera Università di Bolzano. In collaborazione con il CNR-IVALSA (Istituto per la valorizzazione delle specie legnose, sede di San Michele all'Adige, istituto diretto dal prof. A. Ceccotti) ed all'interno del progetto SOFIE<sup>1</sup>, alcuni "studenti" del Master - i coautori del libro - hanno collaborato alla progettazione della nuova foresteria dell'Istituto che impiegherà i pannelli utilizzati per la costruzione dell'edificio sottoposto ai test sismici a Miki (i disegni relativi alla parte "dal progetto ... alla realizzazione" di ogni capitolo rappresentano infatti alcuni dettagli di tale progetto, così come l'analisi termica relativa). Questa pubblicazione rappresenta perciò anche il "Manuale d'uso" per la progettazione e realizzazione di un progetto con il sistema costruttivo X-lam, oltre che a telaio.

<sup>1</sup> (SOFIE è l'acronimo di Sistema cOstruttivo casa FIEmme - progetto di ricerca promosso dalla Provincia Autonoma di Trento per la messa a punto di un sistema costruttivo multipiano con struttura portante realizzata mediante pannelli lamellari a strati incrociati di tavole di abete ad elevate prestazioni

meccaniche e a basso consumo energetico, che nel contempo soddisfa elevati livelli di sicurezza al fuoco e ai sismi, elevato comfort acustico, durabile nel tempo, con costi analoghi a quelli dell'edilizia tradizionale, e realizzato interamente con legno trentino).

Particolare attenzione è stata riservata in questa sperimentazione agli aspetti sismici. La leggerezza del materiale limita gli effetti delle sollecitazioni indotte dal sisma e i particolari giunti riescono a dissipare grandi quantità di energia dinamica senza che l'edificio ne risenta. Oltre a numerose prove effettuate in Italia sono stati eseguiti due test: il primo presso la tavola vibrante del NIED (National Institute for Earth Science and Disaster Prevention) a Tsukuba, in Giappone, il più importante istituto di ricerca sismica al mondo, dove un edificio alto tre piani costruito con questo sistema è stato sottoposto a tre tipi di ondate sismiche, diverse per tipologia e intensità, tra le quali quelle del terremoto avvenuto a Kobe nel 1995:

L'edificio ha risposto in maniera positiva a tutti e tre i test. Il secondo test è stato condotto nell'ottobre 2007: un esperimento senza precedenti, un edificio di sette piani realizzato con tale sistema sulla tavola vibrante più grande e potente al mondo, quella di Miki, a Kobe, è perfettamente riuscito.



SOFIE  
Sistema cOstruttivo casa FIEmme

# Il progetto e la verifica termoigrometrica

## Introduzione

Ogni edificio ha un comportamento in continuo riequilibrio tra le condizioni climatiche interne ed esterne:

- comportamento termico come risposta alle condizioni di temperatura esterna/ interna, invernali e/o estive.
- comportamento igrometrico come risposta alle condizioni di umidità esterna/ interna, invernali e/o estive.

La prevalenza della condizione invernale o estiva dipende dal contesto climatico in cui la costruzione si trova; per es. dall'altitudine e/o dalla latitudine.

Le informazioni di base riguardano i singoli materiali, ma per comprendere il comportamento complessivo di un elemento costruttivo sono necessarie analisi e verifiche puntuali.

I risultati ottenuti dal calcolo non devono essere considerati per il loro valore assoluto. Sarà invece importante comprenderne l'ordine di grandezza: materiali simili possono dare valori assoluti differenti, stratigrafie simili danno sempre ordini di grandezza confrontabili.

Tabella dei materiali

n.	MATERIALI	d	$\rho$	m	$\lambda$	R	$s_d$	$T_{gr}$ (°C)	$P_{sat}$ (Pa)	$P_d$ (Pa)	c	$f_0$	
NUMERAZIONE STRATI	DESCRIZIONE MATERIALI												
		A		B		E	ANDAMENTO TEMPERATURE	PRESSIONE DI SATURAZIONE	PRESSIONE DELL'INTERFACCIA		D		

Tabella della sezione

ELEMENTO IN ESAME		
Spessore totale	(cm)	A
Massa superficiale totale	(kg/m <sup>2</sup> )	B
Resistenza termica totale	(m <sup>2</sup> K/W)	C
Trasmittanza termica totale	(W/m <sup>2</sup> K)	
Sfasamento onda termica	(h)	D
Smorzamento onda termica	(%)	