

Salvatore Sbacchis

Capriate in legno

**SOFTWARE PER LA VERIFICA
DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI**

- Il sistema a trave reticolare per le coperture
- Elementi generali di calcolo matriciale
- Gli elementi strutturali della Capriata Palladio
- Verifica delle sezioni allo Stato Limite Ultimo
- Esempi di calcolo allo S.L.U.
 - Verifica a flessione semplice
 - Sforzo normale
 - Verifica a taglio
- Aggiornato alle NTC e alla Circolare n. 617/2009

Salvatore Sbacchis
CAPRIATE IN LEGNO

ISBN 13 978-88-8207-424-1
EAN 9 788882 074241

Software, 55
Prima edizione, aprile 2011

Sbacchis, Salvatore <1953>
Capriate in legno / Salvatore Sbacchis. – Palermo : Grafill, 2011.
(Software ; 55)
ISBN 978-88-8207-424-1
1. Capriate in legno.
721.5 CDD-22 SBN Pal0233141
CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

© **GRAFILL S.r.l.**

Via Principe di Palagonia, 87/91 – 90145 Palermo
Telefono 091/6823069 – Fax 091/6823313
Internet <http://www.grafill.it> – E-Mail grafill@grafill.it

Finito di stampare nel mese di aprile 2011

presso **Officine Tipografiche Aiello & Provenzano S.r.l.** Via del Cavaliere, 93 – 90011 Bagheria (PA)

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

A mia madre

INDICE

INTRODUZIONE	p.	11
1. IL LEGNO E SUE APPLICAZIONI	"	13
1.1. Il legno come materiale da costruzione	"	13
1.2. diffusione del legno	"	14
1.3. Standardizzazione della produzione	"	14
1.4. Estetismi e regolamenti	"	15
1.5. L'avvento del legno lamellare	"	15
1.6. Varietà dei tipi di legno	"	16
1.7. La casa in legno. Il "Balloon frame"	"	16
1.8. L'uso del legno in varie epoche	"	17
1.8.1. L'età antica	"	17
1.8.2. Medioevo e Rinascimento	"	17
1.8.3. L'età moderna	"	18
1.8.4. L'età contemporanea	"	19
1.8.5. La standardizzazione del XX secolo	"	19
2. IL LEGNO COME MATERIALE DA COSTRUZIONE	"	21
2.1. Il legno materiale "organico"	"	21
2.2. Il legno di reazione	"	21
2.3. Il primato della "flessione"	"	22
2.4. I vantaggi del legno	"	22
2.5. Gli svantaggi del legno	"	23
2.6. Differenze di legno	"	23
2.6.1. Differenze tra specie e specie	"	24
2.6.2. Differenze tra le stesse specie	"	24
2.6.3. Differenze stagionali	"	24
2.6.4. Differenze tra legno di base, di fusto e di chioma	"	24
2.6.5. Differenze per coltura	"	24
2.6.6. Differenze tra legno giovane e vecchio	"	25
2.6.7. Differenze tra parti d'albero	"	25
2.6.8. Differenze nella sezione del tronco	"	25
2.7. Requisiti di accettabilità strutturale	"	26
2.7.1. I nodi	"	26
2.7.2. La fibratura	"	26
2.7.3. Le fessurazioni	"	26
2.7.4. La resina	"	27

2.7.5.	La cipollatura.....	p.	27
2.7.6.	L'umidità.....	"	27
2.8.	Gli attacchi biologici.....	"	27
2.8.1.	I funghi.....	"	27
2.8.2.	Gli insetti.....	"	28
3.	IL LEGNO LAMELLARE.....	"	29
3.1.	Cenni.....	"	29
3.2.	Principi costitutivi.....	"	30
3.3.	Fasi di produzione.....	"	31
3.4.	Forme e dimensioni.....	"	32
4.	LE COPERTURE IN LEGNO.....	"	34
4.1.	Il sistema spingente.....	"	34
4.2.	Tipologie di copertura.....	"	34
4.2.1.	La copertura a "shed".....	"	34
4.2.2.	La copertura a "portale".....	"	35
5.	LA COPERTURA A "CAPRIATA".....	"	36
5.1.	introduzione.....	"	36
5.2.	Nascita ed evoluzione.....	"	36
5.3.	La struttura.....	"	37
5.4.	I componenti.....	"	37
5.5.	Tipo di capriata.....	"	38
5.5.1.	Il tipo "alla lombarda".....	"	39
5.5.2.	Il tipo "alla piemontese".....	"	39
5.5.3.	Il tipo "alla francese" e "all'italiana".....	"	39
5.6.	La forma della capriata.....	"	39
6.	LA NORMATIVA ITALIANA.....	"	42
6.1.	La normativa in uso.....	"	42
6.2.	La normativa "N.I.CO.LE.".....	"	43
6.3.	L'iter normativo.....	"	43
7.	CARATTERISTICHE MECCANICHE DEL LEGNO.....	"	44
7.1.	Il legname da costruzione.....	"	44
7.2.	L'orientamento della fibratura.....	"	44
7.3.	La casualità dei nodi.....	"	44
7.4.	L'anisotropia delle fibre.....	"	44
7.5.	La legge di Hooke.....	"	45
7.6.	Le prove meccaniche.....	"	45
7.6.1.	Prova in direzione assiale.....	"	45
7.6.2.	Prova in direzione trasversale.....	"	46
7.6.3.	Prova in direzione inclinata.....	"	46
7.7.	Esame comparativo con l'acciaio.....	"	46

7.7.1.	Confronto con l'acciaio	p.	47
7.8.	Il fenomeno del "fluage"	"	48
7.9.	Il comportamento ciclico a fatica	"	48
7.10.	Usura e durezza	"	48
8.	IL PROBLEMA STRUTTURALE	"	50
8.1.	I codici di calcolo	"	50
8.2.	La verifica allo stato limite ultimo (SLU) e d'esercizio (SLE)	"	50
8.3.	Classificazione dei legni	"	51
8.4.	Il comportamento del legno	"	52
8.5.	Velocità e durata dei carichi	"	52
8.6.	La compressione assiale	"	52
8.7.	Il comportamento del legno a trazione	"	54
8.8.	Unione di continuità	"	55
8.9.	Il comportamento a momento flettente	"	55
8.10.	Le tensioni	"	57
8.11.	Il legno a sezione circolare	"	57
8.12.	Il comportamento anisotropo	"	57
8.13.	Gli archi	"	58
8.14.	La freccia elastica	"	59
9.	LA CAPRIATA PALLADIO	"	60
9.1.	origine ed evoluzione	"	60
9.2.	Principio del triangolo indeformabile	"	61
9.3.	Schemi di assemblaggio	"	63
9.4.	Gli elementi costruttivi	"	63
9.5.	Il funzionamento	"	65
9.6.	Considerazioni progettuali	"	66
10.	LO SCHEMA RETICOLARE	"	68
10.1.	Il triangolo indeformabile	"	68
10.2.	Discretizzazione della capriata	"	68
10.2.1.	L'elemento asta	"	69
10.2.2.	L'elemento nodo	"	69
10.2.3.	I collegamenti	"	69
10.2.4.	La catena	"	69
10.2.5.	Il monaco	"	69
10.2.6.	La controventatura	"	70
10.3.	Il carico	"	70
10.4.	Il materiale	"	70
10.5.	I codici di calcolo	"	70
10.6.	La trave reticolare	"	71
10.7.	Le strutture reticolari	"	72
10.8.	Condizioni di stabilità della trave reticolare	"	73
10.8.1.	La biella	"	73

10.8.2. Il nodo.....	p.	74
10.8.3. La cerniera	"	74
10.9. La trave reticolare.....	"	74
10.9.1. Elementi della trave reticolare	"	74
10.10. I carichi.....	"	75
10.11. Il modello statico	"	75
10.12. Tiranti e puntoni	"	75
10.13. Isostaticità della trave reticolare.....	"	75
11. I METODI DI CALCOLO DELLA CAPRIATA.....	"	77
11.1. La rappresentazione vettoriale.....	"	77
11.2. I metodi grafici	"	77
11.3. Il metodo delle sezioni o di Ritter	"	81
12. IL METODO MATRICIALE.....	"	85
12.1. Cenni	"	85
12.2. Discretizzazione digitale	"	86
12.3. Equazione matriciale di equilibrio	"	86
12.3.1. Ordinamento dei dati	"	86
12.3.2. Equazione matriciale	"	87
12.3.3. La matrice di equilibrio	"	87
13. LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO	"	89
13.1. premessa	"	89
13.2. Il dimensionamento	"	89
13.3. Parametri di sicurezza	"	90
13.4. Il carico.....	"	91
13.5. Le azioni nello stato limite ultimo.....	"	91
13.6. Le azioni nello stato limite di esercizio.....	"	91
13.7. La resistenza dell'elemento strutturale.....	"	92
13.8. Dalle Tensioni Ammissibili agli Stati Limite	"	92
13.9. Le tensioni "nicole".....	"	93
13.10. La verifica allo Stato Limite di Esercizio (S.L.E.).....	"	95
13.11. Il coefficiente di carico.....	"	96
13.11.1. Classi di servizio per umidità	"	96
13.11.2. Classe di durata.....	"	96
13.12. Il carico della neve	"	97
13.13. Stati limite di esercizio	"	97
13.14. Giunture e unioni.....	"	98
14. VERIFICHE DI RESISTENZA.....	"	99
14.1. Le sollecitazioni semplici.....	"	99
14.1.1. La trazione assiale; i tiranti.....	"	99
14.1.2. La compressione assiale: i puntoni	"	100
14.1.3. Il carico di punta	"	101

14.2.	La flessione: l'arcareccio.....	p.	102
14.2.1.	Lo sbandamento laterale.....	"	102
14.3.	Il Taglio. Appoggi e unioni.....	"	103
14.3.1.	Taglio agli appoggi.....	"	104
14.3.2.	Sforzi obliqui alla fibratura.....	"	105
14.3.3.	Appoggio intagliato.....	"	106
14.2.	Sollecitazioni composte: sforno normale, flessione e taglio.....	"	106
14.2.1.	La flessione biassiale: l'arcareccio.....	"	106
14.2.2.	La tensoflessione.....	"	107
14.2.3.	Pressoflessione: i montanti.....	"	108
14.3.	Stati limite di servizio.....	"	108
15.	ESEMPI DI CALCOLO	"	109
15.1.	Esempio n. 1 – Verifica a flessione semplice.....	"	109
15.2.	Esempio n. 2 – Sforzo normale di compressione.....	"	110
15.3.	Esempio n. 3 – Verifica a Taglio.....	"	111
16.	I GIUNTI	"	112
16.1.	Forma dei nodi.....	"	112
16.2.	La verifica delle unioni.....	"	112
16.3.	Unioni per intaglio.....	"	114
16.4.	Tensioni ortogonali alla fibratura.....	"	115
16.4.1.	Azione interna.....	"	115
16.4.2.	Azione esterna.....	"	115
16.5.	La compressione inclinata alla fibratura.....	"	116
16.6.	Taglio.....	"	116
16.7.	L'unione catena-montante.....	"	117
16.8.	L'intaglio "a dente semplice".....	"	117
16.9.	L'unione montante-saetta.....	"	119
16.10.	L'unione montante-monaco.....	"	120
16.11.	L'unione saetta-monaco.....	"	121
16.12.	Esempio di calcolo.....	"	122
17.	GUIDA ALL'INSTALLAZIONE DEL PROGRAMMA "CAPRIATA PALLADIO"	"	125
17.1.	Introduzione al software allegato.....	"	125
17.2.	Requisiti minimi hardware e software.....	"	125
17.3.	Procedura per la richiesta della password utente.....	"	125
17.4.	Procedura per l'installazione del software.....	"	126
17.5.	Procedura per la registrazione del software.....	"	126
18.	IL PROGRAMMA "CAPRIATA PALLADIO"	"	127
18.1.	Presentazione.....	"	127
18.2.	Il metodo interattivo.....	"	127
18.3.	Premessa sul codice di calcolo matriciale.....	"	127
18.4.	Caratteristiche della capriata.....	"	128

18.4.1.	Verifica dell'isostaticità	p.	128
18.4.2.	Coordinate nodali	"	129
18.4.3.	Pendenza della falda	"	130
18.4.4.	Le fasi del programma	"	130
18.5.	Note al programma	"	131
18.5.1.	La sezione degli elementi strutturali	"	131
18.5.2.	Le forze nodali	"	131
18.5.3.	Riepilogo delle forze applicate al sistema	"	132
18.5.4.	Reazioni vincolari	"	132
18.5.5.	Verifica equilibrio globale	"	132
18.5.6.	L'equilibrio dei nodi	"	132
18.5.7.	Gli sforzi sulle aste	"	133
18.5.8.	Le verifiche	"	133
18.5.9.	Correzione valori tensionali	"	133
18.6.	Verifica delle sezioni	"	133
18.7.	Verifica dei nodi	"	133

Introduzione

Tra i materiali più usati dall'uomo per le sue fabbriche il legno è sicuramente l'unico materiale proveniente da cellule vegetali viventi. Come tutti i materiali oggetto d'interesse per la moderna Scienza e Tecnica, anche il "legno d'albero" è un prodotto del pensiero umano.

Come il "cemento armato" nasce dall'unione di ghiaia, sabbia, cemento e ferro, o come la "muratura" è frutto di legami tra pietra e malta, o ancora, come gli "acciai" dipendono dall'unione tra ferro e carbonio, anche il detto "legno da costruzione" proveniente dal materiale cellulare allungato a sostegno della pianta, ha bisogno di essere pensato prima di essere impiegato.

Quindi, per "legno", intendiamo il prodotto finito ricavato dalle fibre prodotte dalle innumerevoli specie arboree, tagliate, essiccato e lavorato in varia consistenza e forma destinato ai vari usi in opere di Architettura e Ingegneria.

Nel dizionario della lingua italiano alla voce "Legno" troviamo: "1. Parte dura del tronco e dei rami delle piante con funzione di sostegno e conduzione della linfa / 2. Materiale da costruzione ricavato dal tronco degli alberi".

Come gli altri materiali da costruzione anche il legno per essere usato deve essere sottoposto a controlli numerici all'interno di rigorosi calcoli numerici che alla fine forniscono il suo essere "pesante" o "leggero". La letteratura scientifica ci offre poi tabelle, numeri e formule in grado di catalogarne le caratteristiche meccaniche, i coefficienti di sicurezza che stanno alla base tra causa ed effetto, sollecitazione e deformazione.

La sicurezza delle costruzioni si fonda quindi su riferimenti "formulati" da molte scienze. Per accedere nel mondo dei formulari, il legno deve essere in un certo senso "istituzionalizzato", sottoposto al vaglio di rigorosi controlli scientifici che ne descrivono il comportamento rispetto ai tre parametri fondamentali che regolano la sicurezza e la stabilità delle costruzioni, l'aspetto costitutivo, geometrico e dell'equilibrio.

L'aspetto costitutivo (COS) è quello che governa le proprietà meccaniche del materiale. La compatibilità (COM) si rivolge agli aspetti geometrici delle deformazioni e gli spostamenti che gli elementi strutturali subiscono nello spazio. L'equilibrio (EQU), invece, governa le relazioni tra azioni e reazioni che stanno alla base di ogni possibile spostamento e/o deformazione.

Progettare una struttura in legno significa quindi conoscere il materiale legno attraverso questi tre processi, che alla fine compongono il corpus della "firmitas" vitruviana (Marcus Vitruvius Pollio; 46-30 a.C.). Nel suo I libro del «De Architectura», assieme a "utilitas" e "venustas", Vitruvio assume la "firmitas" come uno dei tre pilastri concettuali dell'Architettura.

Importanti a questo punto per la tecnica gli sviluppi delle altre scienze che hanno operato attorno al problema Equilibrio. Da quelle matematiche che ci consentono di ragionare numericamente a quelle geometriche per le sue funzioni che ci forniscono le leggi grafiche necessari alla rappresentazione dei diagrammi di taglio, sforzo normale, momento, deformazione, lavoro.

Ad esempio, la teoria dei vettori, l'algebra matriciale e la fisica in particolare ci forniscono gli strumenti atti a indagare i modelli di resistenza, come la Legge di Hooke. E dove non arrivano le

matematiche o i computers ci sono la logica e anche una buona dose di intuito derivante dalla pratica della “Professione”.

Tra i più recenti contributi degli ultimi decenni resi allo studio strutturale ci sono quelli provenienti dalla “matematica applicata all’uso dei calcolatori”. Dal primo uso del calcolo matriciale della contraerea di sua Maestà d’Inghilterra nella Grande Guerra, i computer, alti quanto un edificio, sono ora sottili tanto da entrare nel palmo di una mano, e grazie alla capacità di operare milioni di operazioni al secondo hanno cambiato l’approccio con la statica, la Scienza e la Tecnica delle costruzioni. Il calcolo strutturale ne è stato completamente cambiato. Si pensi all’introduzione di nuove variabili in un calcolo, alla sperimentazione, alla prototipazione virtuale, come pure la capacità di simulare il tempo, o l’invecchiamento di una struttura.

L’informatica ci mostra solo un po’ le sfide del domani. Molti campi aspettano ancora risposte, specialmente sul fronte dei rischi sismici e alluvionali, uragani, smottamenti, esplosioni, eccetera. Grazie a queste nuove tecniche i “disastri” non sono più visti come fino al XVI secolo segnali fatalistici di castighi divini ma come il normale processo conseguenza dell’iniziale “creazione”.

Il crescente costo dei materiali da costruzione, il depauperamento dei giacimenti ligniferi, il restringersi degli spazi urbani, spingono l’economia ruotante attorno al legno a esplorare nuove frontiere e di ricercare nuove risposte abitative.

Sotto questa ottica, il presente volume ripercorre il materiale “legno”, ne riscopre la provenienza, ne indaga le caratteristiche meccaniche, i modi d’uso nel tempo, gli strumenti informatici a esso collegati.

A conclusione del libro è proposto un programma di calcolo per la verifica della Capriata Palladio” allo Stato limite ultimo, dove all’interno del programma sono state informatizzate tutte le informazioni discusse nel libro.

La scelta verso questo tipo di copertura è motivata dal fatto che nelle sue molteplici varianti e sfaccettature, la capriata in legno rappresenta tra le tipologie di copertura più in uso in architettura quella che più di tutte ha saputo raccontare e rappresentare nel tempo l’evoluzione e il gusto dell’abitare dell’uomo. Il legno è stato da sempre il materiale principe che l’uomo ha adottato da quando decise di intraprendere il lungo e affascinante cammino di civiltà che lo porterà ad abbandonare la caverna per poi passare dalla palafitta in legno, al grattacielo in acciaio oggi, e domani chissà.

L’Autore

Capitolo 1

Il legno e sue applicazioni

↳ 1.1. IL LEGNO COME MATERIALE DA COSTRUZIONE

Grazie alla diffusione dei boschi il legno ha avuto un ruolo importante nella realizzazione esclusiva di intere dimore di alcuni popoli che lo usano come materiale per parti funzionali come solai e coperture, o ancora per opere di ingegneria e macchine di ausilio alla vita quotidiana. Costruzioni preistoriche rinvenute nel centro Europa hanno mostrato una successione ravvicinata di pali in legno infissi nel terreno a cui hanno fatto capo costruzioni a telaio ligneo con elementi portanti verticali costituiti da pali-pilastrini che delineano i fondamentali tipi strutturali di costruzioni lignee.

Da quando l'uomo lasciò la caverna, il legno assieme ad altri materiali naturali come fango, pietra e mattoni crudi diventerà il primo materiale se non il più antico, ad essere utilizzato per la realizzazione di costruzioni capaci di ripararlo e proteggerlo assieme alla sua famiglia e le sue cose. Nel tempo, la scarsa durabilità del legno rispetto alla pietra ha finito col cancellare il patrimonio edilizio in legno presente nei centri urbanizzati del mondo antico.

La volontà di realizzare strutture stabili, di dominare lo spazio e il territorio durante la storia dell'abitazione, ci porta a intraprendere un lungo cammino che inizia quando si decide di costruire capanne rette da sistemi di sostegno a palafitta sulle acque. Il legno, come materiale prodotto dell'albero, nel periodo che va fino a quello pre-industriale assunse da subito un ruolo importante per il favorevole rapporto peso/resistenza, e la sua convenienza rispetto ad altri materiali che pur disponibili in quantità maggiore in natura risultavano pesanti, difficili da trattare o richiedevano particolari competenze e conoscenze tecniche.

Dal punto di vista statico il legno era anche l'unico materiale in grado di assorbire le sollecitazioni di flessione e fu quindi idoneo a sostituire l'arco di pietra nelle opere orizzontali.

Il legno, dunque, rappresentò la risorsa più semplice da usare rivelandosi subito adatto alla realizzazione di ambienti idonei alla vita sociale. Facile da lavorare, da montare, da trasportare, soprattutto dalle popolazioni residenti nelle zone boschive e dai nomadi del deserto che avevano bisogno di ricoveri formati da tende mobili sostenute da pali di sostegno in legno.

Prima che l'uomo imparasse a destreggiarsi con la pietra, questo sistema costruttivo rappresentò l'unico, se non il solo di cui disponesse per la realizzazione di strutture portanti verticali e le sovrastrutture orizzontali.

Il successo del legno si deve alla sua resistenza a trazione e alla pronta disponibilità in prossimità degli insediamenti. Determinanti pure, la pronta disponibilità sotto forma circolare, la lunghezza, leggerezza, lavorabilità che si offrivano ottimamente per il trasporto e l'assemblaggio. A favorirne lo sviluppo anche la facilità con cui si potevano realizzare i nodi e le legature attraverso la fasciatura con fibre naturali e le unioni chiodate o a incastro.

Primo materiale da costruzione per eccellenza, il legno è stato sin dagli inizi usato con assiduità in tutti i componenti costruttivi portanti e complementari. Per la sua alta resistenza a compressione e flessione fu usato in seguito per le ossature portanti anche di elementi pesanti come nella realizzazione di centine per opere murarie e ponti per attraversamenti.

Col tempo, con l'evoluzione tecnologica e l'esplosione demografica, il legno cominciò a rivelarsi materiale insufficiente. Cominciò a scarseggiare, a non rispondere più alle nascenti esigenze e richieste di materiale per la costruzione della metropoli moderna. Da materiale primario, passa a ruolo ornamentale.

Con lo sviluppo dei Comuni, i costruttori abbandonano il legno e sfruttano materiali più resistenti e difensivi come la muratura. Il legno viene impiegato per le sole parti complementari. L'industria siderurgica dell'acciaio poi sostituirà definitivamente il legno anche per gli orizzontamenti.

Oggi, anche la muratura è soppiantata dal cemento armato. Materiali giovani ma già in crisi. Oggi, la crisi energetica e gli alti costi dei materiali "moderni" (acciaio, cemento, eccetera) stanno portando gli strutturisti a studiare le nuove possibilità offerte dal legno lamellare che sta dando una risposta positiva alle tante esigenze strutturali rappresentate dall'architettura moderna e la crisi energetica.

↳ 1.2. DIFFUSIONE DEL LEGNO

Il legno è oggi divenuto un materiale razionato. Viene usato sempre meno per la completa realizzazione di edifici, tranne che nelle tipologie abitative montane tipiche delle zone del Nord Europa e delle alte zone montane italiane che per tradizione e ragioni climatiche usano ancora pareti portanti di legno massiccio unite a incastro.

Negli edifici della tradizione nordica e del centro Europa, ad esempio, la struttura in legno a traliccio assume ancora un importante ruolo se si pensa all'alto valore di isolamento termico che lo pone nei paesi nordici all'avanguardia tra le applicazioni ecologiche come materiale tecnologico dominante per eccellenza. In questi edifici, sono gli altri materiali a comparirvi come secondari per realizzareOMPagnamenti murari o per dare consistenza strutturale sufficiente alla parete lignea soggetta a spostamenti.

Andando verso i centri urbani il legno va abbandonando le opere primarie e prende posto tra le strutturali secondarie, come solai, scale, capriate, eccetera. Negli agglomerati urbani l'uso strutturale del legno viene stabilito dai regolamenti edilizi, unici strumenti legislativi tra l'altro in grado di incentivarne o ostacolare le applicazioni e l'economia che ruota attorno alle costruzioni in legno, in particolare nei Centri "storici".

Tutti questi fattori di differenziazione di soluzioni da Nord a Sud, tra zone montane e rivierasche non bastano a spingere l'imprenditoria edile verso un modo di costruire in toto in legno. Si può però far sì che il legno s'imponga nel mondo delle costruzioni come parte di un miscuglio tecnologico globale, dove le conoscenze tecniche acquisite sui diversi materiali pur rimanendo autonome da zona a zona, possano fondersi per risolvere alcuni problemi della costruzione delle metropoli.

↳ 1.3. STANDARDIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE

La grande possibilità di scelta di materiali strutturali, ha generato nell'Architettura contemporanea un compromesso tra i materiali cosiddetti "moderni".

Una soluzione per il legno sembra derivare dall'uso del legno lamellare, dove l'unico problema sembra essere rappresentato dalla difficoltà di trasporto delle grandi dimensioni delle travi attraverso le piccole arterie cittadine e periferiche, impraticabili dai mezzi articolati. Problema che dovrebbe risolversi con l'uso di travi reticolari lamellari da montare sul posto. Infatti, col passaggio dal si-

stema a incastro al sistema intelaiato a listelli, gli elementi strutturali sono passati dalla forma “intera” ad aste realizzate unendo tra loro piccoli elementi segati uniformi.

Più facili da lavorare e trasportare, i listelli hanno finito col condizionare l’indotto economico del mondo delle costruzioni in legno standardizzandone alcuni processi di fabbrica che vanno dalla misure delle tavole alle dimensioni e tipi di chiodi per le unioni.

↳ 1.4. ESTETISMI E REGOLAMENTI

Rispetto agli edifici realizzati con materiali diversi, quelli in legno non hanno mai rappresentato grandi problemi di “estetica”. Ciò in quanto non potendo essere ricoperto se non da vernici, è rimasto un materiale che si sviluppa “a vista”. Per questo motivo dove c’è grande disponibilità di altri materiali più stabili e resistenti, come acciaio, muratura e cemento, la costruzione in legno viene vista come opera povera e provvisoria.

L’Architettura elegante e monumentale, quella progettata per durare nei secoli, eretta per rimanere a “memoria”, quando è ricorsa al legno per realizzare le parti strutturali le ha sempre tenute nascoste alla vista rivestendole con pietra o intonaco. A ragione di ciò, gli orizzontamenti in legno esposti all’esterno non hanno sopportato i rigori del passare del tempo. Quelle sopravvissute sono quelle giovani che lo hanno fatto attraverso le capriate, i solai e i soffitti lignei tramandatici da edifici storici e borghi medievali.

Per la loro facile attaccabilità provenienti da varie cause, i pochi elementi lignei sopraggiunti sino a noi sono quelli che sono stati sottoposti a manutenzione di sostituzione con altri materiali più duraturi, più sicuri e rispondenti ai requisiti moderni di durabilità. E non solo. Tra l’altro la scomparsa del legno è dovuta anche ad alcuni regolamenti edilizi e le Norme Tecniche sulle Costruzioni che ne sconsigliano l’uso dove ci sono forti pericoli sismici o di incendi.

↳ 1.5. L’AVVENTO DEL LEGNO LAMELLARE

La tecnologia del legno lamellare ha avuto un notevole incremento negli ultimi decenni. Si usa per la realizzazione di travi da costruzioni e altri elementi strutturali tramite incollaggio di piccoli elementi in legno. Una tecnica che si sta diffondendo un po’ ovunque sia nelle zone montane e sia in quelle marine o cittadine. Specie nelle metropoli influenza in modo rilevante il modo di realizzare le chiusure verticali degli ambienti e gli orizzontamenti delle architetture moderne.

Il legno lamellare è divenuto l’alternativa più economica e conveniente rispetto ai tradizionali materiali edili sempre più costosi quali gli acciai e il cemento armato. Tra l’altro il lamellare, grazie agli sviluppi tecnologici ha generato un vero e proprio stile architettonico per le varie forme e soluzioni che permette di realizzare. Viene lasciato a vista, e crea soluzioni diverse a secondo dei tipi di legno che passano dal cartone, al bambou, al riciclato, assumendo sempre nuovi valori funzionali ed estetici. In architettura il legno lamellare viene prediletto in certi tipi di costruzioni che richiedono risposte progettuali moderne dove lo “stile” è esigente come nei musei, nelle chiese, auditorium e teatri.

Il suo successo è da attribuire all’ottimo rapporto economico uso/costi, all’ottima prestazione resistenza/peso se rapportata ad altri materiali, alle tecnologie che rendono il legno affidabile agli incendi, l’isolamento, la facilità di assemblaggio e la sicurezza.

Anche se col lamellare si possono realizzare parti orizzontali e verticali, quest’ultime rimangono affidate a materiali più resistenti come il cemento armato; materiale al quale viene confermato il primato di specialista nella realizzazione dei corpi verticali portanti come pareti e pilastri.

Nelle strutture miste, quindi, si assiste all'esaltazione delle capacità portanti del cemento armato nei pilastri e nelle opere di fondazioni, mentre al legno lamellare, per la sua caratteristica di leggerezza e alta resistenza a flessione viene prevalentemente assegnato il compito di resistere alle strutture inflesse come travi, solai, coperture, scale, eccetera.

↳ 1.6. VARIETÀ DEI TIPI DI LEGNO

Oltre al legno massiccio e lamellare, esistono tipi di strutture che possono essere realizzate con materiali composti da pannelli di fibre di legno, truciolati o compensati.

Le tipologie strutturali possibili con questi tipi di legni sono svariate. Vanno dalla semplice trave appoggiata alla cupola geodetica. Dal punto di vista strutturale, si prediligono tuttavia schemi staticamente isostatici per via della variazione dimensionale delle travi per le continue variazioni di umidità. Una ulteriore applicazione che si sta già affermando è quella che sfrutta la precompressione interna o esterna tramite l'utilizzo di tenditori in acciaio di rinforzo alle lamelle che ne aumentano la capacità a resistenza elastica.

↳ 1.7. LA CASA IN LEGNO. IL "BALLOON FRAME"

Questo tipo di abitazione racchiude in se tutte le caratteristiche tecniche costruttive applicate al legno. Il "Balloon frame" è un modo tradizionale di costruire case in legno e risale essenzialmente alle popolazioni di origine anglosassone. Il massimo sviluppo si ha avuto soprattutto nell'area nord-americana durante il periodo di colonizzazione degli Stati Uniti, con gran parte degli edifici dell'Ottocento realizzati con questo sistema costruttivo per via della ricchezza di alberi e di foreste di cui era ricca l'America.

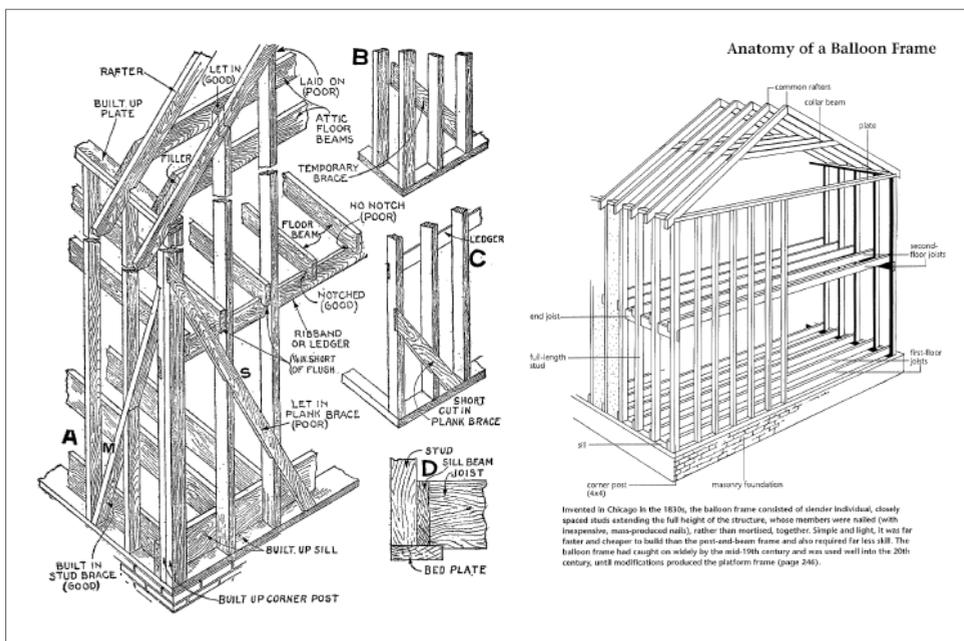


Fig. 1.1. Manuale tecnico per edifici "Balloon Frame".

Tecnica abbastanza lontana, invece, dalla tradizione costruttiva italiana che ha preferito per i suoi borghi medievali e le città nascenti, materiali più resistenti e duraturi come la pietra. Mentre la manualistica inglese relativa a queste tecniche costruttive si è andata via via arricchendo e affinando, nelle altre parti d'Europa, specialmente nella parte meridionale d'Europa. In Italia, questo modo di costruire è stato pressoché ignorato dalla trattatistica.

I diversi tipi di costruzioni per civile abitazione realizzati con struttura portante, tompagnature e orizzontamenti completamente in legno si distinguono sostanzialmente per il modo di concepire la struttura portante.

Tali sistemi costruttivi vengono generalmente distinte tre categorie:

- *Holzskelettbauweise* ad ossatura portante di legno;
- *Fachwerkbau* a traliccio di legno;
- *Holzrahmenbau* ad intelaiatura di legno.

Tra i sistemi costruttivi più comuni vanno citati il “balloon frame” e il “platform frame”. Entrambi i metodi appartengono alla terza categoria dei sistemi costruttivi della *Holzrahmenbau* nella versione europea o *Timber frame* nella versione inglese.

↪ 1.8. L'USO DEL LEGNO IN VARIE EPOCHE

1.8.1. L'età antica

Dell'architettura antica conosciamo le grandiose e note opere monumentali ma poco conosciamo dei fitti nuclei di dimore in legno, canne e fango che le attorniavano. Nell'architettura greca antica il legno trova impiego essenzialmente nelle coperture dei templi; pur avendo la configurazione a falde erano realizzate sul principio della sovrapposizione di elementi inflessi e appare quasi completamente accertato che la tecnica greca non conoscesse l'uso della capriata.

Nell'architettura romana il legno è ancora utilizzato per le coperture, per i solai degli edifici residenziali pluripiano e per le centine delle strutture archivoltate. **Vitruvio** (I secolo a.C.) si occupa del legno e individua nell'abete la specie più idonea per realizzare le travi dei solai in quanto “non così presto per lo peso si piega, ma sempre dritto rimane nelle travature”. Viceversa in Vitruvio non appare il concetto di capriata e le illustrazioni di tali soluzione costruttiva, presenti nelle traduzioni del XVI secolo, sembra siano essenzialmente dovute alla cultura rinascimentale dei traduttori. La copertura lignea a capriate appare in tarda epoca romana nelle basiliche pagane e quindi in quelle cristiane come nel caso di *San Paolo Fuori le Mura* le cui originarie capriate sono databili attorno al IV secolo d.C.

Sempre in epoca romana si concretizza l'uso delle fondazioni su pali in legno per edifici in muratura. Ancora, Vitruvio ricorda: “*Ma s'egli non si trova il sodo, che il suolo sia mosso, ovvero palustre, all' hora quel luogo si deve cavare e votare e con pali d'Alno, o di Olivo, o di Rovere arsicciati conficcare, e con le macchine fatte a questo proposito siano battute le palificate spessissime e gli spaccii che sono tra i pali siano empiti di carboni e le fondamenta siano empite di sodissime murature*”.

Nella tecnica costruttiva romana era impiegato il legno anche nella costruzione di ponti temporanei come quello sul Danubio, progettato da Apollodoro di Damasco (I sec. d.C.).

1.8.2. Medioevo e Rinascimento

Durante il Medioevo l'impiego del legno si diversifica ulteriormente in funzione della tradizione locale e delle condizioni geografiche ed economiche. Nelle regioni alpine e centro-europee

continua lo sviluppo della costruzione interamente in legno (*blockbau*) e quella a telaio (*fachwerk*) con tamponamenti misti delle maglie.

In estremo Oriente il legno trova uso nella realizzazione di edifici residenziali e di templi, con particolari e sofisticati sistemi di incastro di elementi pregiosamente decorati. In Cina si diffonde, dagli inizi del Secondo Millennio, per le opere pubbliche, l'uso di elementi lignei con sezioni standardizzati. Successivamente in Giappone si stabilirà, per la dimora privata, un sistema strutturale a telaio ligneo modulare.

Nel nord-Europa, in particolare nelle *stavkirche* norvegesi, al telaio ligneo si associano pareti in forti tavoloni e il telaio in elevazione si collega alle complesse strutture delle coperture. In Gran Bretagna la dimora in legno segue la tradizione del sistema a telaio, mentre le capriate per gli edifici di maggiore impegno statico adottano soluzioni molto articolate con catena rialzata ed altri artifici.

Le case a telaio con tamponamento in muratura trovano diverse interpretazioni in Francia, Germania e Austria. Nella Francia meridionale il telaio ligneo è spesso celato sotto l'intonaco, in Germania, viceversa, è sapientemente esibito come in Gran Bretagna. Nelle regioni dell'Est europeo la tradizione della dimora interamente in legno permane per secoli affiancandosi a quella in muratura.

Nel Rinascimento italiano il materiale è prevalentemente impiegato per solai, capriate e centine di cupole. Il **Palladio** sancisce i fondamentali tipi di capriate e codifica i principi delle strutture reticolari per i ponti, si occupa in generale del legno e specifica le modalità di esecuzione delle fondazioni su pali lignei.

Il legno è stato anche il materiale privilegiato nello studio della trave inflessa. Leonardo da Vinci, nel Rinascimento, inizierà una serie di osservazioni sul proporzionamento delle sezioni resistenti e sulle deformazioni delle travi; nel secolo successivo Galileo Galilei imposterà correttamente la metodologia di calcolo per determinare le sollecitazioni sulla trave inflessa, problema definitivamente risolto dalla scienza delle costruzioni dell'Ottocento con il contributo dei francesi J.A. Bresse, L. Navier e A.J.C. Barré de Saint-Venant.

Con la colonizzazione delle Americhe sono importati nel Nuovo Mondo i tipi costruttivi tradizionali europei della 'casa' in legno, tipo *blockbau*, e di quella a telaio, nelle più diverse interpretazioni, come pure i sistemi per realizzare le centine delle cupole e le capriate. Lo stile palladiano è il più diffuso.

1.8.3. L'età moderna

Nel Nord America, in età preindustriale, si evolvono le costruzioni in legno massiccio. Nella seconda metà dell'Ottocento il sistema *balloon frame* costituito da una intelaiatura di tavoloni in legno di dimensioni standardizzate unite con chiodatura viene impiegato dai pionieri americani. Il sistema trova ampia diffusione nelle prime abitazioni di Chicago e San Francisco, continuando a trovare largo impiego nell'edificato residenziale dimensionalmente minore.

In Europa, fra Settecento e Ottocento, le strutture in legno coprono luci sempre maggiori con soluzioni strutturali spesso ibride; Betancourt propone per la *Sala equestre di Mosca* una copertura a capriate di 48 metri di luce dopo i ponti in legno dello svizzero H.U. Grubenmann a struttura iperstatica reticolare. Per la copertura della *Galleria delle Macchine* all'Esposizione di Copenaghen si utilizza un arco reticolare molto simile a quello disegnato da Palladio per i ponti, mentre per il *Teatro di Karlsruhe* si fece ricorso alla curvatura forzata del legno per realizzare puntoni di capriate di 20 metri di luce. Questi puntoni erano formati da due tavoloni di grosso spessore stretti agli estremi e distanziati al centro da cunei fissati ai tavoloni. Lo stato di coazione così indotto nei tavoloni permetteva di realizzare puntoni lenticolari molto rigidi.

Con il contributo della teoria delle strutture, nell'Ottocento si raggiungono elevate luci (capriate, reticolari rettilinee e spaziali, cupole reticolari geodetiche, strutture in lamellare). L'introduzione della ghisa e dell'acciaio in epoca industriale decretano il declino del legno, situazione rimasta tale fino alla seconda metà del Novecento anche con l'avvento del legno lamellare.

La tecnica del legno lamellare trova origine nel sistema a tavoloni *a cottello* introdotto in Occidente da Fra Giovanni degli Eremitani ai primi del Trecento, ripreso da P. Delorme nel Cinquecento; nel 1825 il sistema viene perfezionato del colonnello francese A. Rose Emy ma anticipato dal toscano G. Del Rosso che lo descrive in un trattato pubblicato nel 1797.

1.8.4. L'età contemporanea

Da tutte queste esperienze precedenti si svilupperà, oltralpe in Svizzera e in Austria, agli inizi del Novecento, la tecnica del moderno legno lamellare che consentirà la realizzazione di elementi rettilinei unitari ad elementi curvilinei e strutture reticolari spaziali di grande luce fino a quaranta metri. Nonostante siano stati superati i 70 metri di luce con cupole in lamellare, il legno naturale ha ritrovato nuovo interesse nelle regioni in cui l'insegnamento della tradizione è rimasto vivo come in Finlandia e in centro Europa (Baviera, Austria, Svizzera). Analogamente in Giappone, luogo di antichissima tradizione costruttiva con il legno, diversi architetti sono attualmente impegnati nella rielaborazione delle soluzioni costruttive con questo materiale compresi cartone e bambou.

1.8.5. La standardizzazione del XX secolo

A caratterizzare il XX secolo è principalmente la standardizzazione. Nel Novecento, l'urbanesimo con l'afflusso di popolazioni contadine verso le città con abitazioni houseshop, portò a una radicale trasformazione del territorio. Servivano strade, energia per le fabbriche e servizi. Cambiamento andato tutto a danno delle grandi aree boschive limitrofe ai centri urbani che per espandersi e sopravvivere avevano bisogno di reperire aree industriali all'interno dei centri abitati e vicini alle arterie di trasporto in nome del progresso. L'enorme richiesta di legname per realizzare questi grandi centri obbligavano l'industria di trasformazione del legno a passare da un legno grezzo e povero proveniente direttamente dai tronchi prelevati dalle immediate vicinanze dell'abitato, a un legno più pregiato, selezionato e sofisticato, proveniente da terre sempre più lontane e da alberi sempre più vecchi e rari. Tale bisogno portò le industrie a standardizzare la filiera del legno in quanto non potevano usare la scarsa qualità di legnami dall'aspetto grezzo, impegnativo nella lavorazione, di scarsa quantità e qualità che si traduceva in un processo produttivo antieconomico. Altra trasformazione l'ebbero le vie di comunicazione, insufficienti al movimento di una così alta quantità di legno alle volte trasportato da lunghe distanze per via fluviale o ferroviaria e in alcuni casi anche teleferica. Questa "corsa al legno" perdurata per decenni ha portato a uno sfruttamento intensivo di ettari di foreste. In breve, inizia la coltivazione in serie di alberi selezionati. Contemporaneamente venivano depositati i primi brevetti di costruzione di edifici in legno. E per una più redditizia filiera del legno, l'industria legnaria standardizzò i macchinari. Vengono messi a punto nuovi tipi di "legno" capaci di rispondere alle sempre più mutate e maturate esigenze del mercato edile. Interventi migliorativi e organizzativi vengono apportati nella filiera del legno. Vennero studiati tipi di seghe per il taglio, migliorata la catena di lavorazione, studiati il tipo e modello di chiodo adatto ai vari tipi di incastri, si studiano tipo di colle e corde adatte per le legature delle giunture del legname.

Tra i miglioramenti più significativi introdotti dalla standardizzazione si hanno:

- velocizzazione delle operazioni di posa;
- unioni facili e veloci con perni, chiodi e resine;

- diminuzione del numero d'operai necessari alla costruzione;
- trasformazione del campo costruzioni in legno in impresa;
- realizzazione di un'ideale ed efficace filiera del legno;
- fondazione di scuole professionali rivolte al trattamento del legno;
- considerare legno e conoscenze su di esso come fonti di nuovo reddito;
- uniformazione dei macchinari per la fabbrica, uso e trasporto del legno.

Preistoria	Viene impiegato nelle primitive dimore
I sec. a.C	Vitruvio ne descrive i tipi di legname
IV sec. d.C.	Introduzione delle capriate
XI-XII sec.	Standardizzazione nell'architettura cinese. Gli <i>stavkirke</i> norvegesi
XIV-XVIII sec.	Casa blockbau e fachwerk nel centro Europa
XVI-XVII sec.	Studi della trave inflessa di Leonardo Da Vinci e Galileo Galilei
1825	Sistema Emy legno lamellare
1832	Il Balloon framing a Chicago
1905	Pannelli lignei multistrato
1915	Legno lamellare
1933	Resine sintetiche di incollaggio
II metà del '900	Parallam, microllam, solai legno-calcestruzzo, pannelli plastificati

Tab. 1.1. *Tabella dei principali impieghi del legno nel tempo.*

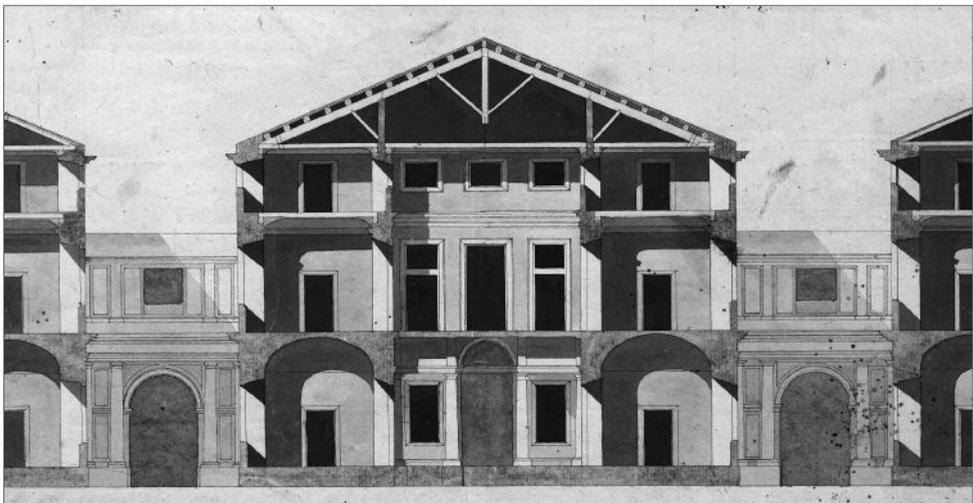


Fig. 1.2. *Edificio con copertura a capriata Palladio.*