

Andrea Piero Merlo ~ Alessandro Cetrone
Stefano Fogliani ~ Riccardo Salvato



Dario Flaccovio Editore

La casa e il tetto in legno

Prefabbricazione - Ristrutturazione - Isolamento



- Tecniche costruttive, progettazione e posa, manutenzione, antisismica, antincendio ✓
- Lamellare, massello, materiali ecologici, isolanti, traspirabilità, finiture e prestazioni ✓
- Pareti a telaio, massicce senza colla, pannelli incollati, soluzioni impiantistiche ✓
- Attacco parete-basamento e tetto-parete, tetto ventilato e tenuta dell'aria ✓

Merlo AP. Cetrone A. Fogliani S. Salvato R.

LA CASA E IL TETTO IN LEGNO

Prefabbricazione – Ristrutturazione – Isolamento



Dario Flaccovio Editore

A mio padre Carlo

Merlo A.P. - Cetrone A. - Fogliani S. - Salvato R.

LA CASA E IL TETTO IN LEGNO

ISBN 978-88-579-0089-6

© 2011 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686

www.darioflaccovio.it info@darioflaccovio.it

Prima edizione: luglio 2011

La casa e il tetto in legno : prefabbricazione, ristrutturazione, isolamento / Andrea Piero Merlo ...
[et. al.] - Palermo : D. Flaccovio, 2011

ISBN 978-88-579-0089-6

1. Strutture in legno. I. Merlo, Andrea Piero <1971->.

624.184 CDD-22 SBN Pal0234256

CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Stampa: Tipografia OGR, luglio 2011

RINGRAZIAMENTI

Il timore di tralasciare qualche nome rende sempre difficile fare i ringraziamenti.

Numerosi sono infatti quelli che hanno fornito supporto alla realizzazione di questo volume; alcuni dedicando parte del loro tempo alle mie richieste di confronto, altri mettendo a disposizione immagini. Li ringrazio tutti di cuore, così come ringrazio i co-autori.

Un doveroso ringraziamento va all'Editore per avermi dato la possibilità di scrivere questo testo, nonché per la pazienza dimostrata nella lunga fase di gestazione.

Una particolare gratitudine va a Giancarlo Cimadamore per le continue occasioni di confronto e per la dedizione che pone nel monitorare la sua casa in legno che mette sempre volentieri a mia disposizione.

Ringrazio poi di cuore l'amico Konrad Schweigl senza il quale non avrei mai potuto sviluppare le mie conoscenze e la mia passione per la costruzione in legno.

Da ultimo, ma certamente non per importanza, ringrazio mio padre Carlo per il grande impegno messo, nonostante la sua malattia, nella rilettura del testo e nel validissimo supporto datomi nella sua strutturazione senza purtroppo poter arrivare a vederne l'edizione.

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.

INDICE

Premessa	pag.	9
Introduzione	»	11

PARTE PRIMA – Il legno in edilizia**1. L'elemento legno** di Stefano Fogliani e Andrea Piero Merlo

1.1. Cenni introduttivi.....	»	19
1.2. Aspetti biologici	»	21
1.3. Chimica del legno	»	21
1.4. Tessuti del legno	»	22
1.5. Cause di degrado del legno.....	»	24
1.5.1. Attacchi da parte di funghi	»	25
1.5.2. Attacchi da parte di insetti	»	26
1.6. Sostenibilità ecologica	»	27
1.6.1. Boschi e foreste	»	28
1.6.2. Multifunzionalità delle foreste ai giorni nostri.....	»	29
1.6.3. Selvicoltura e selvicoltura naturalistica.....	»	31
1.6.4. Sfruttamento del bosco, assorbimento della CO ₂ e protocollo di Kyoto.....	»	33
1.6.5. Sostenibilità nella gestione della foresta	»	35

2. Il legno nella costruzione di Alessandro Cetrone e Andrea Piero Merlo

2.1. Moduli elastici	»	37
2.2. Classi di qualità resistente o categorie di resistenza	»	38
2.2.1. Categorie di legname secondo le norme tedesche DIN (metodo a vista).....	»	38
2.2.2. Metodi basati su parametri indicatori di resistenza	»	39
2.2.2.1. Resistenza a compressione.....	»	39
2.2.2.2. Resistenza a trazione.....	»	40
2.2.2.3. Resistenza a flessione.....	»	41
2.2.2.4. Deformazione.....	»	42
2.3. Forme di legno presenti sul mercato.....	»	43
2.3.1. Legno massello o massiccio	»	43
2.3.2. Legno lamellare	»	44
2.3.2.1. Tipologie di sezione e classi di resistenza	»	46
2.3.2.2. Considerazioni finali sul legno lamellare incollato.....	»	46
2.3.3. Legno massiccio incollato	»	47
2.3.4. Pannelli in legno	»	47
2.3.4.1. Pannelli isolanti.....	»	48
2.3.4.2. Pannelli per usi vari a trucioli incollati	»	49
2.3.4.3. Pannelli per usi vari a piallicciato incollato	»	49
2.3.4.4. Pannelli con funzione strutturale	»	50
2.4. Legno e sisma	»	51
2.4.1. Vantaggi del legno in caso di sisma.....	»	52
2.4.1.1. Leggerezza della costruzione.....	»	52
2.4.1.2. Resistenza, elasticità e duttilità	»	52
2.5. Conclusioni.....	»	54

3. Protezione del legno di Andrea Piero Merlo

3.1. Cenni introduttivi.....	»	55
3.2. Strategie protettive.....	»	57
3.2.1. Protezione progettuale	»	58
3.2.1.1. Cura dei particolari costruttivi	»	58
3.2.1.2. Scelta della specie legnosa	»	58
3.2.1.3. Controllo dell'umidità.....	»	59
3.2.1.4. Progettazione contro il fuoco	»	60
3.2.1.5. Sacrificio e sostituzione	»	62
3.2.2. Trattamenti preservanti.....	»	63
3.3. Conclusione	»	64

PARTE SECONDA – Aspetti energetici della costruzione in legno**4. Edilizia ed energia** di Andrea Piero Merlo

4.1. Efficienza energetica in edilizia: una svolta epocale	»	69
------------------------------------------------------------------	---	----

4.2.	Energia grigia.....	»	70
4.3.	Edifici in legno a elevate prestazioni.....	»	71
4.4.	Materiali isolanti ed efficienza energetica.....	»	73

5. Parametri termici di Andrea Piero Merlo

5.1.	Cenni introduttivi.....	»	75
5.2.	Regime stazionario e regime dinamico.....	»	75
5.3.	Parametri termici invernali.....	»	76
5.3.1.	Trasmittanza termica U	»	77
5.3.2.	Conduttività termica λ	»	77
5.4.	Parametri termici estivi.....	»	78
5.4.1.	Sfasamento ϕ	»	78
5.4.2.	Trasmittanza periodica γ_{IE}	»	78
5.4.3.	Fattore di attenuazione f_a	»	79
5.4.4.	Capacità termica c	»	79
5.5.	Ulteriori parametri e considerazioni.....	»	79
5.5.1.	Densità ρ	»	79
5.5.2.	Coefficiente di accumulo del calore o capacità termica volumica ρc	»	79
5.5.3.	Resistenza alla diffusione del vapore μ (adimensionale).....	»	81
5.5.4.	Conclusione.....	»	81

6. Strategie per la prestazione termica di Andrea Piero Merlo

6.1.	Cenni introduttivi.....	»	83
6.2.	Prestazione termica invernale.....	»	83
6.3.	Protezione termica passiva nel periodo estivo.....	»	85
6.4.	Fasce di transizione climatica e periodi di transizione stagionale.....	»	87

7. Flusso di umidità nelle strutture in legno di Andrea Piero Merlo

7.1.	Cenni introduttivi.....	»	91
7.2.	Principi fisici.....	»	91
7.2.1.	Vapore acqueo.....	»	92
7.2.2.	Condensa.....	»	92
7.2.3.	Flusso di vapore.....	»	92
7.3.	Strutture traspiranti.....	»	93
7.4.	Strutture non traspiranti.....	»	94
7.5.	Teli regolatori del flusso di umidità e strato d'aria equivalente S_D	»	95

PARTE TERZA – La copertura in legno

8. Criteri per la progettazione della parte strutturale di Riccardo Salvato e Andrea Piero Merlo

8.1.	Cenni introduttivi.....	»	99
8.2.	Aspetti strutturali.....	»	99
8.3.	Progettazione architettonica.....	»	100
8.4.	Stesura del capitolato.....	»	101
8.5.	Rifacimento di copertura nella ristrutturazione.....	»	102

9. Criteri per la progettazione della parte di chiusura di Andrea Piero Merlo

9.1.	Cenni introduttivi.....	»	105
9.2.	Piano di appoggio per lo strato di isolamento.....	»	106
9.2.1.	Tavolato in legno.....	»	106
9.2.2.	Pianelle.....	»	107
9.2.3.	Pannelli.....	»	107
9.3.	Strato di tenuta all'aria.....	»	107
9.4.	Strato di isolamento.....	»	109
9.4.1.	Tipo di teli regolatori del flusso di umidità.....	»	110
9.4.2.	Posa discontinua o continua dell'isolante.....	»	112
9.5.	Strato di protezione dell'isolamento.....	»	114

10. Coperture ventilate di Andrea Piero Merlo

10.1.	Cenni introduttivi.....	»	117
10.2.	Il tetto non ventilato.....	»	118
10.3.	Il tetto ventilato.....	»	119
10.3.1.	Vantaggi della ventilazione.....	»	120
10.3.2.	Limiti del tetto ventilato.....	»	122

10.3.3.	Prestazione termica invernale.....	»	123
10.3.4.	Prestazione termica estiva	»	124
10.3.5.	Gestione del flusso di umidità	»	126
10.3.6.	Materiali isolanti e accessori	»	127
10.3.7.	Tetto ventilato fra pannelli solari e aperture vetrate	»	129
10.3.8.	Tetto ventilato isolato con fibra di legno	»	130
11. Criticità e accorgimenti particolari <i>di Andrea Piero Merlo</i>			
11.1.	Cenni introduttivi.....	»	133
11.2.	Aperture, fori e altri accorgimenti	»	133
11.3.	Consigli per capitolato, preventivo e verifiche in cantiere	»	136
11.4.	Attacco tetto-parete.....	»	138
PARTE QUARTA – L’edificio in legno			
12. Principali tecniche costruttive <i>di Andrea Piero Merlo</i>			
12.1.	Cenni introduttivi.....	»	143
12.2.	Costruzione leggera	»	144
12.2.1.	Costruzione a telaio tradizionale	»	145
12.2.2.	Costruzione a telaio e lastre	»	149
12.2.3.	Costruzione a telaio portante	»	150
12.3.	Costruzione massiccia	»	152
12.3.1.	Costruzione massiccia a tronchi sovrapposti (Blockbau).....	»	153
12.3.2.	Costruzione massiccia a pannello multistrato di tavole	»	155
12.3.2.1.	Costruzione massiccia a pannello multistrato incollato.....	»	158
12.3.2.2.	Costruzione massiccia a pannello multistrato con elementi metallici	»	159
12.3.2.3.	Costruzione massiccia a pannello multistrato senza elementi metallici né collanti.....	»	163
12.3.3.	Costruzione massiccia a tavole impilate.....	»	163
13. Inerzia termica nella costruzione in legno <i>di Andrea Piero Merlo</i>			
13.1.	Cenni introduttivi.....	»	165
13.2.	Accorgimenti per la protezione termica estiva	»	166
13.2.1.	Superfici vetrate e schermatura	»	166
13.2.2.	Copertura	»	167
13.2.3.	Pareti	»	169
13.2.4.	Rivestimenti interni	»	171
13.2.5.	Soluzioni impiantistiche	»	174
13.3.	Vantaggi dell’inerzia termica nel periodo invernale	»	175
13.4.	Vantaggi dell’inerzia termica nei periodi di transizione stagionale.....	»	176
13.5.	Inerzia termica nell’edificio solare	»	177
13.6.	Inerzia termica nelle costruzioni leggere.....	»	179
13.7.	Inerzia termica nelle strutture massicce.....	»	182
14. Tecniche di isolamento <i>di Andrea Piero Merlo</i>			
14.1.	Cenni introduttivi.....	»	185
14.2.	Isolamento delle pareti.....	»	185
14.2.1.	Isolamento esterno nella parete a telaio.....	»	185
14.2.2.	Isolamento esterno nella parete massiccia.....	»	187
14.2.3.	Isolamento nello spessore della componente strutturale	»	188
14.2.4.	Isolamento interno	»	189
14.3.	Isolamento dei pavimenti.....	»	190
14.3.1.	Isolamento del pavimento del piano terra	»	190
14.3.2.	Isolamento del pavimento interpiano	»	193
14.3.3.	Isolamento del pavimento di solaio a sbalzo	»	194
14.4.	Isolamento della copertura.....	»	194
14.4.1.	Posa continua dell’isolante di copertura	»	194
14.4.2.	Posa discontinua dell’isolante di copertura	»	195
14.4.3.	Attacco tetto-parete e tetto-sistema	»	196
14.5.	Superfici trasparenti	»	196
14.6.	Isolamento degli elementi divisorii interni	»	197
15. Fondazioni, attacco a terra, attacco fra elementi <i>di Andrea Piero Merlo</i>			
15.1.	Cenni introduttivi.....	»	199

15.2.	Protezione dell'attacco fondazione-parete.....	»	199
15.2.1.	Umidità di risalita	»	200
15.2.1.1.	Sopraelevazione rispetto la quota di campagna	»	200
15.2.1.2.	Guaina contro-risalita nell'attacco a terra	»	200
15.2.1.3.	Fondazione ventilata	»	201
15.2.2.	Rischio infiltrazioni	»	203
15.2.2.1.	Impermeabilizzazione dell'attacco a terra	»	203
15.2.2.2.	Isolante nell'attacco a terra	»	204
15.2.3.	Tenuta all'aria dell'attacco a terra	»	205
15.3.	Fissaggio in parete fra moduli e fra solaio e parete	»	205
16. Attacco tetto-parete			
16.1.	Cenni introduttivi.....	»	207
16.2.	Continuità dell'isolamento nel passaggio dalla parete alla copertura	»	207
16.3.	Tenuta all'aria in corrispondenza di elementi strutturali passanti	»	207
16.4.	Tetto-sistema.....	»	210

PARTE QUINTA – Impianti, tendenze e conclusioni

17. Impianti termici *di Andrea Piero Merlo*

17.1.	Cenni introduttivi.....	»	215
17.2.	Impianti termici usuali.....	»	216
17.2.1.	Impianti di riscaldamento a pavimento radiante	»	217
17.2.2.	Impianti di riscaldamento a parete radiante.....	»	217
17.2.3.	Impianti di riscaldamento a radiatori.....	»	219
17.3.	Impianti termici innovativi	»	219
17.3.1.	Ventilazione meccanica controllata con recupero di calore (VMCCRC).....	»	220
17.3.1.1.	Principio di funzionamento	»	220
17.3.1.2.	Benefici, comfort e affidabilità	»	222
17.3.1.3.	Ermeticità dell'edificio.....	»	223
17.3.1.4.	Applicazioni ad alta efficienza.....	»	224
17.3.1.5.	Post-trattamento dell'aria	»	225
17.3.1.6.	Utilizzo estivo	»	226
17.3.1.7.	Limiti dell'impianto	»	226
17.3.1.8.	Trasporto di aria e omogeneizzazione della temperatura.....	»	227
17.3.2.	Piastre radianti elettriche e applicazioni nella costruzione in legno.....	»	228
17.3.3.	Sistema misto VMCCRC-piastre radianti elettriche	»	230
17.3.3.1.	Versione con post-trattamento dell'aria	»	231
17.3.3.2.	Versione adattata ai climi freddi	»	232
17.3.3.2.1.	Scelta tra automazione e manualità.....	»	232
17.3.3.2.2.	Biomasse e produzione di acqua calda	»	232
17.3.3.2.3.	Comportamento radiante o convettivo.....	»	233
17.3.3.3.	Conclusioni	»	234
17.4.	Considerazioni economiche.....	»	235

18. Tendenze *di Andrea Piero Merlo*

18.1.	Cenni introduttivi.....	»	237
18.2.	Edilizia in legno di tipo convenzionale	»	237
18.3.	Edilizia in legno ad alta efficienza energetica	»	238
18.4.	Edilizia ecologica in legno	»	239
18.5.	Edilizia ecologica in legno ad alta efficienza energetica.....	»	240

19. Conclusioni *di Andrea Piero Merlo*

19.1.	Abitazioni in legno agli inizi del XXI secolo	»	243
19.2.	Luoghi comuni nei confronti della costruzione in legno	»	243
19.2.1.	Efficienza energetica	»	244
19.2.2.	Sicurezza al fuoco.....	»	244
19.2.3.	Degradabilità del legno.....	»	244
19.2.4.	Costi.....	»	245
19.2.5.	Bioedilizia	»	245
19.2.6.	Manutenzione e affidabilità nel tempo	»	246
19.3.	Casa in legno generica.....	»	246

Bibliografia	»	247
Sitografia	»	247

Premessa

In Italia l'interesse crescente per la costruzione in legno è stato alimentato da motivazioni differenti, spesso legate al contesto culturale o normativo dell'epoca o a eventi particolari. Di conseguenza chi oggi si rivolge al legno lo deve fare con un approccio più complesso di quello in voga in passato. Ad esempio sul finire del secolo scorso il suddetto interesse era in gran parte legato all'utilizzo di materiali naturali spesso utilizzati nella costruzione in legno. Più tardi, soprattutto dall'inizio del nuovo millennio, un forte impulso alla costruzione in legno è stato dato dalla ricerca di maggiori prestazioni di efficienza energetica. Infine, in seguito al sisma che ha colpito nel 2009 L'Aquila, la questione strutturale e il comportamento in caso di sisma hanno spinto molte persone a ipotizzare l'utilizzo del legno come materiale da costruzione per la loro futura abitazione. Cambiando le esigenze e le motivazioni dei fruitori, mutando il contesto normativo ed evolvendosi le tecniche costruttive, anche la letteratura sul tema deve essere costantemente aggiornata.

È in questo contesto che si inserisce il presente volume, nel quale si tiene in considerazione il fatto che alcune realtà geografiche e alcuni campi di applicazione sono storicamente estranei alla cultura della soluzioni costruttive in legno. Quelle realtà in cui la costruzione in legno trovava diffusione in passato necessitano dal canto loro, per i motivi sopra citati, di una revisione delle tecniche di progettazione e di applicazione, poiché oggi si deve far fronte a nuove sfide in ambito di prestazione.

Se, infatti, la tematica della corretta gestione del flusso di vapore all'interno delle singole strutture e il problema della protezione termica estiva sono alla base di una corretta progettazione in ambito convenzionale, questi elementi sono ancora più importanti nel campo della costruzione in legno.

Utilizzare legno nella costruzione costituisce inoltre un'occasione per apportare innovazione (non solo in termini architettonici) e incremento delle prestazioni. Al tempo stesso il ricorso al legno può presentare delle incognite se la scelta del materiale non è accompagnata da un background tecnico-culturale adeguato.

Questo volume nasce pertanto con l'intento di:

- introdurre e accompagnare il tecnico in quei settori dell'edilizia contemporanea che vedono di giorno in giorno crescere l'utilizzo del prodotto in legno;
- fornire elementi per una conoscenza di base delle caratteristiche del materiale;
- offrire strumenti utili per la pianificazione del progetto o la cura di alcuni dettagli, in modo da contribuire alla diffusione di un utilizzo tecnicamente consapevole del legno.

Per tale motivo l'aspetto puramente strutturale è introdotto e trattato in maniera tale da fornire elementi basilari che rimandano il lettore alla letteratura specifica. Maggiore attenzione è invece dedicata a tematiche particolari, come la protezione progettuale del legno, la tenuta all'aria, la ventilazione, i prodotti e le tecniche complementari all'utilizzo del legno, la protezione termica estiva e applicazioni nel contesto mediterraneo ecc.

La struttura del volume, partendo da un'introduzione delle caratteristiche della materia prima e del singolo elemento costruttivo, prevede una trattazione specifica della fisica tecnica della costruzione in legno per poi fornire strumenti validi all'attività quotidiana del tecnico, incluso l'utilizzo di legno nei suoi progetti.

Informazioni utili nella formulazione di un capitolato e alcuni dettagli costruttivi sono quindi proposti in maniera differenziata, sia in relazione all'applicazione più frequente della copertura lignea sia relativamente alla costruzione interamente in legno, tipologia che sta vedendo un crescente interesse da parte del mercato residenziale.

Ovviamente viene dato grande peso anche al contesto della bioedilizia che vede nel legno uno dei principali elementi trainanti.

Poiché questo volume cade in un periodo molto particolare per l'evoluzione del modo di fare edilizia in Italia, non poteva mancare in conclusione dell'opera una sezione dedicata a varie tendenze e prospettive, focalizzando l'attenzione su alcune considerazioni di carattere promozionale-commerciale che non possono non essere prese in considerazione da chi oggi vuole proporre con forza la semplice copertura o l'intera costruzione in legno.

INTRODUZIONE

L'inizio del nuovo millennio ha visto in Italia la costruzione in legno diffondersi a livello geografico e crescere dal punto di vista della varietà delle tipologie costruttive.

Negli ultimi decenni del secolo precedente vi è stata la comparsa su scala sempre più ampia delle strutture in legno lamellare. Grazie alle sue caratteristiche intrinseche, la tecnologia del lamellare ha coinvolto in primo luogo le grandi strutture, per poi calarsi nella quotidianità dell'edilizia residenziale. Dopo decenni di indiscussa prevalenza della copertura in latero-cemento o in cemento armato, proprio grazie al legno lamellare, la copertura a struttura lignea ha quindi ripreso vigore nelle realtà geografiche in cui era caduta in disuso e anche laddove non apparteneva alla tradizione residenziale.



Figura 1
La copertura a struttura in lamellare è una soluzione sempre più diffusa anche nell'edilizia convenzionale in muratura

In un'epoca come quella attuale, che sembra connotata da elementi di buon auspicio per la diffusione della costruzione in legno, urge più che mai favorire sia lo sviluppo di conoscenze tecniche sia la diffusione di una cultura (nel senso più ampio del termine) della casa in legno. È proprio nel grande interesse manifestato dal settore residenziale che si celano le chiavi del successo che la costruzione in legno coglierà probabilmente nei prossimi decenni anche in Italia.

Come dimostrato dalla storia, il settore edilizio italiano è assai poco dinamico in merito all'innovazione. La normativa nazionale innanzitutto stenta a tenere il passo dell'evoluzione tecnologica, giungendo paradossalmente talvolta a creare qualche disagio a chi propone l'applicazione di soluzioni oramai largamente collaudate altrove. Presso molti operatori del settore del legno è piuttosto diffusa l'idea che alcune norme siano (o siano state in passato) una delle cause, o perlomeno una concausa, della lenta diffusione della soluzione costruttiva da loro proposta. Quel che è certo è che alcuni aspetti normativi non hanno di sicuro favorito il tecnico che si stava avvicinando a questo genere di costruzione. Un esempio fra tutti è la ben nota prescrizione sulla massa superficiale imposta dal D.Lgs. 192/2005. La norma, dando per scontato che una chiusura opaca (parete o copertura) di massa superficiale non inferiore ai 230 kg/m^2 fosse comunque adeguata ad assolvere alla prestazione termica estiva (cosa, come noto, vera solo in alcuni casi), prescriveva l'adozione di una massa pari o superiore al limite sopra indicato. Il tecnico poteva sì adottare delle soluzioni alternative (la stessa normativa lo consentiva), ma facendosi carico in prima persona dell'assunzione di grandi responsabilità, giacché tale normativa non diceva chiaramente cosa era richiesto in caso di massa superficiale inferiore ai 230 kg/m^2 .

In seguito, mediante varie modifiche apportate alla norma, la situazione è stata chiarita, ma per un periodo di alcuni anni molti tecnici, aziende e associazioni hanno ritenuto difficile proporre soluzioni costruttive leggere a causa di questo regolamento per molti aspetti ritenuto privo di fondamento scientifico.

In effetti, in quegli anni, dal punto di vista normativo paradossalmente era più agevole realizzare soluzioni pesanti, caratterizzate da scarsa prestazione termica estiva, piuttosto che soluzioni leggere, dotate di prestazioni nettamente superiori sotto il medesimo aspetto. Complice di tale caos era la scarsa diffusione presso i tecnici della conoscenza del comportamento termico delle strutture in regime dinamico (cioè nei confronti del caldo). Tale lacuna era essenzialmente dovuta al fatto che tutta la normativa termica sino ad allora in vigore riguardava esclusivamente l'aspetto energetico invernale. Di conseguenza la quasi totalità del comparto edilizio italiano (a livello sia di formazione tecnica sia di produzione e commercializzazione) ha di fatto trascurato l'aspetto estivo per quanto riguarda sia i prodotti da costruzione sia quelli per l'isolamento.

Ora si sta fortunatamente iniziando a colmare tale lacuna culturale, soprattutto grazie ai produttori e distributori di isolanti altamente efficaci nei confronti del caldo e ad alcuni costruttori di case in legno.

Sulla questione estiva, al tanto discusso D.Lgs. 192/2005 resta comunque il merito di aver introdotto, sebbene in maniera alquanto criticabile, le prime richieste di prestazione.

Dovrebbe far riflettere che ciò sia inequivocabilmente accaduto in seguito ai



Figura 2

Centro storico di Onna: dopo il sisma la popolazione in parte è stata ospitata in costruzioni in legno

black-out elettrici dell'estate 2003, cioè come risposta tardiva a una chiara situazione di emergenza, in maniera del tutto analoga a quanto accadde esattamente trent'anni prima con la crisi del petrolio, quando furono introdotte le prime normative sull'isolamento contro il freddo.

Le considerazioni inerenti al complesso rapporto fra normativa e costruzione in legno non riguardano il solo aspetto termico. Considerazioni analoghe a quelle citate nel paragrafo precedente potrebbero, infatti, essere portate avanti anche in merito a questioni di carattere strutturale.

Dopo decenni di illogiche sottovalutazioni delle potenzialità della costruzione in legno in campo strutturale, le cose oggi sono molto cambiate, anche a livello normativo. L'evento del terremoto dell'Aquila del 2009 ha inoltre contribuito fortemente a far crollare molti pregiudizi sull'affidabilità strutturale della costruzione in legno. Da tale evento l'immagine del legno ne è uscita fortemente rafforzata, ribaltando addirittura molti luoghi comuni. Sull'onda emotiva dell'evento sisma si è quindi sviluppato un enorme interesse verso la costruzione in legno e in particolare verso alcune tecniche, con il conseguente rischio di perdita di obiettività (almeno da parte del comune cittadino).

Il rischio di cadere in nuove posizioni preconcepite può riguardare sia la scelta a monte fra legno o mattone, sia quella a valle fra le varie tecniche proposte dagli operatori del costruire in legno. Gli enormi interessi commerciali che ruotano intorno al settore dell'edilizia concorrono poi a rendere più complesso e delicato affrontare in maniera corretta questioni molto spinose quali l'affidabilità nel tempo, la sicurezza in caso di sisma, la sostenibilità ambientale, la compatibilità

biologica dei vari prodotti e così via. Basta visitare una qualunque fiera del settore per rendersi conto di ciò. La pressione emotiva di eventi drammatici (come ad esempio il terremoto) o di campagne di promozione commerciale è, infatti, molto elevata sia sul comune cittadino sia sul tecnico e sul redattore di norme. Tutti quanti, con ruoli differenti, si trovano improvvisamente a confrontarsi (soprattutto nel caso del legno) con un settore molto variegato (per prodotti, tecnologie e differenti modalità di esecuzione) e del quale, a volte, fino a non molto tempo prima conoscevano ben poco.

Espressioni come *costruzione in legno* o *casa in legno*, sebbene facciano esplicito riferimento al materiale legno, possono essere interpretate in maniera anche molto differente.

Nel presente testo con la prima espressione ci si riferirà a un edificio in senso generale (anche a uso terziario per esempio), mentre con la seconda a un edificio residenziale del tipo abitazione singola o costituito da un numero molto limitato di unità immobiliari (per esempio un edificio bifamiliare). Entrambe le espressioni fanno chiaro riferimento a soluzioni basate sull'utilizzo del legno, ma non entrano nel merito di quanto il legno sia effettivamente presente in esse.

Un qualunque edificio moderno in legno non sarà infatti costituito solo da questo materiale. Già in passato esistevano edifici in cui il legno era affiancato da altre sostanze o prodotti. Oggi, soprattutto nel campo dell'isolamento, una costruzione in legno può prevedere una vasta gamma di soluzioni differenti. Al legno potranno essere quindi affiancati isolanti di origine naturale (sughero, fibra di legno, ecc.), minerale (per esempio lana di roccia) o sintetica (per esempio polistirene) o altro ancora (per esempio fibra di cellulosa). Come si vedrà in seguito, in base alla tecnica costruttiva adottata, anche il quantitativo di legno destinato ad assolvere a una funzione strutturale potrà essere molto variabile. Con alcune tecniche costruttive la percentuale di legno espressa in relazione alla massa o al volume complessivo può risultare estremamente ridotta.

Comprendere dove sia il punto in cui forse potrebbe non essere più opportuno parlare di costruzione in legno è un tema di grande interesse e attualità. Vista la complessità e la delicatezza di tale argomento, non si ritiene comunque questa la sede appropriata per analizzare dettagliatamente la questione.

Nelle pagine seguenti espressioni quali *costruzione*, *edificio* o *casa in legno* vengono utilizzate nel senso meno restrittivo del termine, quindi anche in relazione a edifici dal contenuto di legno estremamente esiguo. Unica discriminante posta è quella che la funzione strutturale principale sia svolta essenzialmente da elementi lignei. Una volta apprese le numerose informazioni fornite in questo testo e anche quelle reperite presso altre fonti, sarà il lettore, sulla base della sua sensibilità ecologica, delle sue aspettative ecc., a farsi un'idea personale sul *dove inizia la casa in legno*.

Poiché gran parte dell'interesse che molti nutrono verso la costruzione in legno trae le mosse dalla sensazione di naturalità evocata dalla parola *legno* e poiché l'espressione *casa in legno* per molti è sinonimo di efficienza energetica, si è ritenuto opportuno sia dedicare ampio spazio ad alcuni concetti e criteri della cosiddetta bioedilizia sia fornire informazioni anche nel campo dell'impiantistica termica.

Da un lato il lettore troverà quindi numerose considerazioni in merito ai materiali cosiddetti *ecologici* e, in senso più ampio, riguardo al concetto di sostenibilità ambientale; dall'altro grande peso verrà dato a considerazioni sulle soluzioni di impianto termico, in quanto, soprattutto nella costruzione in legno, è di fondamentale importanza considerare l'involucro edilizio e le componenti impiantistiche alla luce della loro interazione-integrazione. Anche chi si avvicina per la prima volta alla costruzione in legno si porrà subito domande in merito agli impianti tecnologici, poiché chiedersi dove passeranno tubazioni e cavi sorge da sé al momento della scelta fra una tecnica costruttiva e un'altra.

PARTE PRIMA
Il legno in edilizia

1. L'ELEMENTO LEGNO

di Stefano Fogliani e Andrea Piero Merlo

1.1. Cenni introduttivi

Le interessanti caratteristiche del legno, pur variando a seconda della specie legnosa presa in esame, hanno permesso all'uomo di sfruttare in svariati modi questa risorsa rinnovabile sin dai tempi più antichi.

Reperibilità, facilità di lavorazione e leggerezza, già caratteristiche importantissime in passato, continuano a rivestire un ruolo fondamentale anche oggi.

Oltre a manifestare interessanti prestazioni di isolamento termico e acustico, il legno è caratterizzato da una considerevole resistenza alla flessione, nonché da una buona resistenza alla corrosione.

Sintetizzando si può dire che il legno è un materiale polifunzionale giacché è:

- resistente;
- combustibile ma resistente al fuoco;
- durevole;
- isolante;
- ecologico.

RESISTENTE

Il legno, grazie alla sua particolare composizione fisica, reagisce molto bene alle sollecitazioni meccaniche, essendo dotato di elevata resistenza a compressione e trazione e nonostante il suo peso limitato. Tutto ciò rende il legno molto interessante nel campo edile e particolarmente indicato in zone soggette a rischio sismico. Le sue caratteristiche intrinseche e le tecniche costruttive permettono, infatti, di realizzare strutture leggere in grado di rispondere in maniera positiva all'azione sismica.

COMBUSTIBILE MA RESISTENTE AL FUOCO

Il legno è un ottimo combustibile grazie alla sua capacità di rilasciare calore durante il processo di combustione. La quantità di calore rilasciata è strettamente legata al potere calorifico specifico del legno in esame. Per potere calorifico si

intende la quantità massima di calore sprigionata durante la combustione totale di 1 kg di un determinato materiale. Tale valore è proporzionale alla quantità di lignina e cellulosa presente nella parete cellulare delle cellule legnose. Il potere calorifico del legno inoltre è inversamente proporzionale al contenuto di umidità presente nella struttura, pertanto in materiali legnosi completamente secchi si possono raggiungere valori di potere calorifico pari a 4600 cal/kg, circa la metà del valore del petrolio. Nonostante la combustibilità del legno, una costruzione realizzata con tale materiale risulta molto sicura in caso di incendio, in quanto il legno è soggetto a una bassa dilatazione termica e manifesta nei confronti del fuoco dei meccanismi di autoprotezione. Questi due aspetti, uniti a una buona tenuta delle prestazioni meccaniche anche a temperature medio-alte, fanno sì che la costruzione in legno (anche se a prima vista ciò può sembrare strano) manifesti in caso di incendio una sicurezza superiore rispetto ad altre soluzioni costruttive.

DUREVOLE

Con il trascorrere del tempo il legno, come tutte le materie organiche, è soggetto a fenomeni di degradazione biologica. Se ciò desta spesso delle perplessità in campo edile, è bene ricordare che ogni materiale manifesta una diversa forma di degrado. Molti prodotti edili non organici sono ad esempio soggetti a degrado per aggressione chimica, gelo ecc. in tempi anche inferiori rispetto a un manufatto in legno opportunamente realizzato. Se la conservazione del legno avviene in ambiente umido (soggetto all'attività degli agenti atmosferici o a fenomeni di condensa) aumenta la probabilità di formazione di funghi e di attacco da parte di agenti patogeni, quindi ha origine il fenomeno degenerativo del materiale legnoso. Al contrario, se la conservazione avviene in ambiente secco, legni come quelli di noce, olivo, olmo, rovere, castagno e larice presentano la capacità di conservare anche per centinaia di anni le proprie caratteristiche pressoché invariate. Risultano invece poco durevoli i legni di pioppo,iglio e salice.

ISOLANTE

Il legno è caratterizzato da una bassa conducibilità termica in quanto la velocità di propagazione del calore all'interno della sua struttura è relativamente bassa. Tale caratteristica lo rende un buon isolante termico nel periodo invernale, mentre la sua elevata capacità termica lo rende particolarmente idoneo nella protezione termica estiva. Il legno è utilizzato in edilizia sotto varie forme. A differenza delle tecniche costruttive basate su elementi strutturali in metallo o in conglomerato di cemento armato, esso non causa ponte termico. Come componente di tamponamento massiccio il legno offre eccellenti caratteristiche sia di accumulo sia di isolamento termico, garantendo così un ottimo compromesso fra prestazione termica estiva e invernale. In assenza di umidità il legno è anche un buon isolante

elettrico, in grado di opporre cioè una forte resistenza al passaggio della corrente elettrica. Nella costruzione massiccia il legno offre anche buone prestazioni nel campo dell'isolamento acustico.

ECOLOGICO

Sia come risorsa rinnovabile sia per le possibili modalità di utilizzo il legno, se opportunamente utilizzato, è da considerarsi un materiale caratterizzato da elevata sostenibilità ambientale.

1.2. Aspetti biologici

Il materiale legno può essere definito come l'insieme dei tessuti vegetali che compongono il tronco e i rami degli alberi, i quali, in base ai caratteri dei frutti e dei fiori, sono distinti in due grandi sottodivisioni: Angiosperme e Gimnosperme. La principale differenza tra le due sottodivisioni consiste nello sviluppo del seme in seguito all'impollinazione: i semi delle Gimnosperme (seme nudo), infatti, si trovano collocati sulle scaglie di strutture simili a una pigna e possono così essere trasportati dal vento oppure cadere nelle zone limitrofe della pianta; i semi delle Angiosperme o Magnoliofite (seme protetto) sono invece racchiusi da un frutto, il cui compito è appunto proteggere il seme dai pericoli derivanti dall'ambiente esterno e incrementare la capacità di disseminazione della pianta. Costituendo il frutto un cibo invitante per gli animali, questi diventano vettori inconsapevoli del trasporto dei semi anche in zone ben lontane rispetto alla pianta madre.

Ogni specie legnosa è individuata grazie a un binomio di nomi latini: il primo si riferisce al genere di appartenenza dell'organismo in esame ed è uguale per tutte le specie che condividono alcuni caratteri principali, il secondo, solitamente descrittivo, individua la specie di appartenenza.

Non tutte le piante possiedono la caratteristica di produrre legno utile alla lavorazione. Tale tipicità può infatti essere associata alle Gimnosperme, in maniera particolare alle conifere (larici, abeti, douglasia, pini ecc.), mentre fra le Angiosperme tale caratteristica è propria delle Dicotiledoni (querce, faggi, castagni, pioppi ecc.). Fra i vari legni lavorabili, solo alcuni trovano inoltre applicazione in campo edile.

1.3. Chimica del legno

Le pareti delle cellule legnose sono pluristratificate e principalmente costituite da cellulosa, lignina ed emicellulose. Sono inoltre presenti (sebbene in minore misura) altre sostanze definite *estrattive*, come i tannini (sostanze solubili), e sostanze

invece insolubili, quindi *non estrattive*, come i silicati, fosfati, carbonati ecc., sostanze residuali che rimangono dopo il processo di combustione sotto forma di ceneri. Principale costituente della materia legnosa, la cellulosa è uno dei polisaccaridi maggiormente presenti in natura. Essa è composta dall'aggregazione di un gran numero di monomeri di base, ossia piccole molecole di glucosio che unite fra loro per mezzo di legami glicosidici formano lunghe catene, le quali, a loro volta, unite tra loro tramite legami idrogeno, formano delle fibrille, con struttura cristallina. Caratteristica principale della porzione cristallina è quella di essere idrofoba, cioè di respingere l'acqua.

La cellulosa è presente all'interno delle pareti cellulari delle cellule legnose in percentuali che vanno dal 47%, nelle latifoglie, fino al 50%, nelle conifere.

Altro importante costituente del legno è la lignina, una struttura polimerica costituita da tante unità di fenilpropano ripetute più volte fino a formare il polimero.

La lignina è un legante naturale, presenta cioè la capacità di tenere unite fra loro le fibre della pianta, incrementandone le caratteristiche di resistenza alle compressioni, agli urti e alle flessioni. Si trova nella parete secondaria delle cellule legnose e in particolare nelle cellule dei tessuti specializzati nel trasporto dell'acqua e dei sali minerali all'interno della pianta (xilema) e nei tessuti con funzione di sostegno (sclerenchima). Il 18% della parete cellulare delle cellule legnose delle conifere è costituita da lignina, mentre nelle latifoglie tale percentuale può arrivare fino al 27%. La lignina protegge inoltre la cellula legnosa dagli attacchi di microorganismi patogeni, impedendo il passaggio degli enzimi digestivi attraverso la parete cellulare.

Terzo importante costituente della materia legno è l'emicellulosa, un polisaccaride strettamente associato alla cellulosa e formato da differenti tipologie di zuccheri (mannosio, xilosio, arabinosio, glucosio, galattosio e ramnosio), i quali, associati, assumono strutture di tipo ramificato.

I vari polimeri che ne derivano prendono il nome proprio dai monomeri di base che li hanno generati e la loro composizione cambia fra conifere e latifoglie, ma anche tra specie diverse.

Caratterizzate da facile idratabilità in presenza di acqua, le emicellulose presentano anche caratteristiche adesive, associandosi fra loro in fase di disidratazione. Esse sono presenti in quantità maggiori nella parete cellulare delle conifere (circa il 26%, mentre nelle latifoglie tale percentuale scende a circa il 22%).

1.4. Tessuti del legno

In generale l'insieme delle cellule specializzate nella stessa funzione, caratterizzate quindi dallo svolgere gli stessi compiti, è definito tessuto.

Tra i tessuti che compongono i fusti delle piante, quelli di maggiore interesse sono:

- tessuto meccanico fondamentale di sostegno: con una percentuale che può arrivare fino all'80% rispetto al volume totale del fusto, rappresenta il tessuto principale. Esso è costituito da cellule fusiformi allungate, le quali sono ordinate parallelamente rispetto all'asse longitudinale dell'albero e hanno la funzione di resistere alle tensioni causate da forze esterne che possono manifestarsi sia come compressioni assiali dirette dall'alto verso il basso sia come movimenti di flessione dovuti per esempio alla forza del vento;
- tessuto conduttore: la sua funzione primaria è il trasporto delle sostanze nutritive (succhi). È costituito da vasi verticali, con diametro variabile;
- tessuto parenchimatico o di riserva: questo tessuto garantisce il trasporto delle sostanze necessarie al metabolismo della pianta. Presenta dei raggi midollari (cellule strutturate in maniera simile a dei nastri) con sviluppo orizzontale dal centro del fusto verso la periferia;
- tessuto secreteore: la sua funzione è di eliminare verso l'esterno prodotti come la resina o la gomma. È composto da cellule tubiformi con sviluppo sia in senso verticale sia orizzontale;
- cambio: è invece uno strato cellulare caratterizzato da un'elevata attività moltiplicativa e si trova localizzato tra il legno e la corteccia della pianta.

Nelle regioni temperate la moltiplicazione cellulare, quindi l'accrescimento della pianta a livello del cambio, non avviene in maniera costante durante l'anno, ma segue il corso delle stagioni. L'apice della fase moltiplicativa è raggiunto durante la primavera. Si hanno poi un rallentamento durante la fase estiva, un'interruzione durante la fase autunnale e infine una cessazione completa del fenomeno durante l'inverno. Analizzando la sezione basale trasversale del fusto delle conifere e della maggior parte delle latifoglie è quindi possibile individuare una serie di anelli concentrici, dai quali è possibile non solo risalire all'età della pianta (ad ogni anello corrisponde un anno di vita), ma anche analizzare i numerosi fattori intercorsi durante le fasi di vita dell'organismo (ad esempio le caratteristiche del terreno, il livello di precipitazioni e di soleggiamento che hanno accompagnato la crescita dell'albero).

Questo genere di valutazioni non può essere fatto invece su specie arboree appartenenti alle zone tropicali, poiché in tali contesti geografici l'attività moltiplicativa a livello del cambio durante l'inverno non viene generalmente interrotta, bensì solamente rallentata. In tali condizioni la comparsa dei suddetti anelli rappresenta infatti un fenomeno puramente fortuito.

Con il trascorrere degli anni le cellule parenchimatiche situate nella porzione centrale del tronco perdono la loro capacità di far circolare la linfa all'interno della

pianta e muoiono, generando uno strato di cellule dure e compatte conosciuto come *durame*, mentre la corona di cellule viventi localizzata verso l'esterno e di colore generalmente chiaro è definita *alburno*.

Se il limite di transizione tra le due parti è nettamente marcato, allora il legno può essere definito *differenziato*. Altrimenti se le due zone non presentano a primo impatto marcate differenze, il legno è detto *indifferenziato*.

Il durame rispetto all'alburno dello stesso tipo di legno è dotato di maggiore durezza, stabilità e resistenza all'azione di organismi patogeni come funghi, muffe e insetti. Queste proprietà sono in grado di ridurre il periodo di degradazione nel tempo.

1.5. Cause di degrado del legno

Le principali cause di degrado del legno sono gli attacchi da parte di organismi patogeni quali funghi e insetti. L'azione di tali agenti può determinare all'interno della sostanza legnosa modificazioni nel colore, nelle proprietà chimiche, fisiche e meccaniche e in alcuni casi provocarne la distruzione o la degradazione totale. Come si avrà occasione di rilevare nei seguenti sottoparagrafi, lo sviluppo di agenti patogeni nel legno non è cosa scontata, ma necessita di condizioni particolari. Di conseguenza il rischio di degrado risulta strettamente collegato al manifestarsi di tali condizioni, in assenza delle quali il materiale legno risulta essere assai duraturo, quindi particolarmente adatto alla costruzione in campo edile (e non solo). Poiché la presenza nel legno di elevati tassi di umidità è una delle principali condizioni necessarie per lo sviluppo di agenti patogeni, una delle contromisure più efficaci è l'adozione di tutti quegli accorgimenti tecnici atti a far sì che il livello di umidità si mantenga entro valori non critici. È da tale constatazione che prende le mosse lo sviluppo di una moderna filosofia progettuale, basata essenzialmente sul controllo preventivo del flusso di umidità all'interno delle componenti costruttive. Tale



Figura 1.1

Mantenere sotto controllo il tasso di umidità è un fattore fondamentale nelle costruzioni in legno (fase di posa di cappotto traspirante in fibra di legno su parete massiccia) (fonte: Genia Noa)

controllo è ottenuto in prima istanza mediante l'adozione di materiali traspiranti abbinati eventualmente a guaine regolatrici del flusso di vapore acqueo.

In tale logica la prevenzione, attuata mediante il controllo attivo delle condizioni operative (in primo luogo umidità) in cui si troveranno gli elementi costruttivi in legno, prende il posto all'intervento di carattere chimico-conservativo tipico dei decenni scorsi.

Questa filosofia progettuale, che fra l'altro è totalmente in linea con i principi dell'edilizia ecologica, trova una diffusione sempre più crescente.

Ciò dimostra che una corretta progettazione, seguita dall'adozione di materiali fra loro compatibili per le caratteristiche, nonché da una corretta posa in opera, si rivela l'approccio in assoluto più efficace, sebbene esistano campi particolari in cui una protezione di tipo chimico continua a rivestire un ruolo importante.

In linea di massima si può quindi affermare che per le nuove costruzioni la via maestra è quella della protezione mediante accorgimenti progettuali, mentre quella di tipo chimico continua a rivestire un ruolo molto importante soprattutto nel campo della ristrutturazione.

1.5.1. Attacchi da parte di funghi

In natura sono presenti due grandi categorie di funghi in grado di associarsi al legno: parassiti e saprofiti.

Si definiscono *parassiti* quei funghi che associandosi con organismi viventi si nutrono delle sostanze nutritive contenute nella linfa, portando in alcuni casi l'organismo ospite alla morte.

I funghi *saprofiti* al contrario si insediano all'interno di organismi non viventi (ad esempio il legno da costruzione) e sono responsabili della degradazione delle sostanze organiche presenti all'interno dei tessuti dell'organismo morto. Questi funghi sono composti da una struttura vegetativa detta *micelio* e da una struttura riproduttiva definita *corpo fruttifero*. È quest'ultimo a generare le spore, cioè le minuscole cellule disidratate che, una volta giunte a contatto con un substrato ricco di sostanze nutritive come la lignina e la cellulosa, originano ife. Queste ultime sono le cellule responsabili del lento ma inesorabile processo di digestione di quelle sostanze organiche che nel caso del legno determinano una perdita di massa all'interno della struttura con conseguente riduzione delle proprietà meccaniche. Lo sviluppo di questa tipologia di funghi è regolato da fattori sia fisici sia chimici.

Tra i fattori fisici che determinano lo sviluppo e la moltiplicazione di tali specie fungine, quelli che rivestono un ruolo essenziale sono: temperatura, tasso di umidità e presenza di luce. Fra i fattori chimici è invece fondamentale la presenza

di ossigeno, perché i funghi, organismi aerobi, non possono vivere in assenza di tale elemento.

Nel settore del legno i funghi più conosciuti e su cui ricade la massima attenzione sono i cosiddetti *funghi da carie*, come il *Serpula lacrymans* e il *Coniophora puteana*.

Il primo, meglio conosciuto come *carie secca*, ha la capacità di svilupparsi molto velocemente in situazioni di forte umidità. Questo tipo di fungo è addirittura capace di produrre esso stesso l'umidità necessaria alla sua crescita nelle porzioni di substrato con minori percentuali di acqua. Il legno attaccato da carie secca presenta modificazioni nel colore (bruno chiaro) rispetto alla situazione iniziale e mostra inoltre profonde lesioni all'interno della struttura.

La *Coniophora puteana*, detta anche *carie umida*, ha bisogno di una percentuale di umidità superiore rispetto a quella della carie secca per potersi sviluppare. Sarà frequente quindi possibile trovare tale specie fungina soprattutto in legni esposti agli agenti atmosferici o soggetti a fenomeni di condensa o infiltrazione.

Di fronte ai timori di attacco del legno da parte di agenti fungini, appare opportuno ricordare che all'interno del durame (quasi mai nell'alburno) possono essere presenti alcune sostanze naturali, le quali, contenendo determinate tossine, impediscono la crescita di funghi dannosi. Al di là di interventi esterni di protezione chimica, la presenza di queste sostanze può conferire al legno caratteristiche di ottima durabilità naturale.

In virtù di tale aspetto sono ad esempio particolarmente resistenti al deterioramento il legno di larice, di robinia e di rovere, mentre legni di abete bianco e rosso, acero campestre, faggio e pioppo sono caratterizzati da una minore durabilità naturale.

1.5.2. Attacchi da parte di insetti

Nel contesto italiano gli insetti più diffusi in grado di compromettere o alterare le prestazioni chimico-fisiche del legno sono quelli delle famiglie degli Anobidi (i tarli), dei Lectidi, dei Cerambici e degli Isotteri.

L'eventuale presenza di alcuni di questi agenti all'interno della struttura lignea può essere riscontrata talvolta anche a occhio nudo grazie alla presenza di fori di uscita causati dalle larve e per la presenza nelle zone limitrofe di tracce di polvere lignea. Altri insetti invece possono non lasciare traccia visibile della loro presenza. In tali situazioni è necessario provvedere a indagini più specifiche e accurate per poterne accertare la presenza. Esistono varie metodologie per ispezionare la struttura nel suo complesso e individuare la presenza di insetti (o funghi) all'interno della struttura lignea. Poiché ciò può essere fatto in alcuni casi anche in

opera, tali indagini risultano di grande interesse nel campo della ristrutturazione. Fra i classici metodi semiinvasivi si ritrova quello della prova endoscopica, consistente in un'esplorazione diretta che consente di visualizzare l'interno del legno grazie alla realizzazione di piccoli fori realizzati per mezzo di un trapano. In tal modo è possibile analizzare porzioni di struttura altrimenti non visibili (per esempio porzioni di travi che poggiano su muri esterni soggetti a fenomeni di infiltrazioni e condensa, quindi zone con alta probabilità di formazione di funghi o larve di insetti). Lo sviluppo di metodologie di indagine con moderne tecnologie offre oggi soluzioni particolarmente interessanti, che abbinano un'affidabilità sempre crescente associata a un'invasività sempre inferiore.

Fra questi un metodo assolutamente non invasivo e utilizzato anche per l'individuazione dei nodi all'interno della struttura lignea è rappresentato dagli ultrasuoni. Con tale tecnica all'elemento sottoposto ad analisi vengono applicati due trasduttori. Il primo emette onde sonore a bassa cadenza, mentre il secondo è applicato sulla faccia opposta dell'elemento in esame. Questa seconda sonda ha la funzione di ricevere le onde ultrasonore che hanno attraversato la struttura. Poiché la velocità di propagazione delle onde sonore è direttamente proporzionale alla densità del materiale, l'analisi a ultrasuoni permette in maniera veloce, pratica e precisa di evidenziare le porzioni di discontinuità presenti all'interno della struttura lignea. Oltre alla presenza di nodi o di naturali irregolarità del materiale è quindi possibile rilevare eventuali zone sottoposte ad attacchi da parte di organismi patogeni. Come nel caso di agenti fungini, il legno manifesta degli importanti meccanismi di autodifesa anche nei confronti degli insetti xilofagi. Nel durame possono essere presenti sostanze tossiche per tali organismi.

Poiché il livello di tossicità di tali sostanze può essere differente per i vari tipi di insetto, un legno può essere dotato di durabilità naturale nei confronti di un gruppo di agenti, mentre può non esserlo o esserlo in maniera inferiore per un altro. Ad esempio il faggio è resistente ai lectidi, ma non lo è invece nei confronti degli anobidi.

Nel caso di trattamento del legno, una sua eventuale bassa durabilità naturale può essere compensata grazie a un trattamento preservante in grado di incrementare il fattore di resistenza alla degradazione.

Nel trattare il legno è però importante sapere che la quantità di sostanza preservante che il legno è in grado di assorbire varia da specie a specie.

1.6. Sostenibilità ecologica

Il legno può essere considerato un materiale prettamente ecologico nell'accezione comune del termine, poiché è innanzitutto una risorsa rinnovabile in tempi

piuttosto contenuti. Ciò fa sì che un suo utilizzo sia di particolare interesse in un contesto come quello odierno, caratterizzato da elevati consumi di risorse a livello planetario.

A differenza di molti altri materiali, il consumo energetico derivante dalle fasi di produzione e lavorazione del legno è inoltre assai contenuto. Durante il ciclo di lavorazione del legno la generazione di scarti e di rifiuti è minima. Questi, oltre a essere caratterizzati da un impatto ambientale basso o addirittura nullo, possono dar vita a sottoprodotti utilizzabili in vari settori e secondo diverse modalità (produzione di energia, compost, segatura ecc.). Se il legno non ha subito particolari trattamenti, può infine, a termine del suo ciclo di vita, essere smaltito mediante compostaggio o utilizzato per la produzione di calore o di energia mediante combustione.

Nel considerare la valenza ecologica del legno è bene sottolineare che questo materiale può essere impiegato in numerosi settori, svolgendo la sua funzione egregiamente e con minore impatto ambientale rispetto a molti altri materiali, i quali talvolta, oltre a non essere rinnovabili, sono caratterizzati anche da un elevato impatto ambientale in fase di produzione, lavorazione, dismissione ecc.

Sulla base di tutto ciò appare quindi evidente che un approccio sostenibile all'utilizzo del legno nelle varie applicazioni debba essere incentrato sull'ottimale gestione di tale risorsa, partendo innanzitutto dalla gestione ottimale del bosco fino a curare tutte le fasi della filiera.

1.6.1. Boschi e foreste

I continui e indiscriminati prelievi di legno hanno determinato nel corso della storia una riduzione delle aree terrestri ricoperte da superfici boschive. Oltre a conseguenze di carattere paesaggistico, ciò ha causato anche modificazioni significative a livello di biodiversità e di condizioni climatiche (non solo a livello



Figura 1.2

Gli alberi arricchiscono il suolo e lo proteggono dal dilavamento. In caso di dissesto idrogeologico i prelievi di legno devono essere assolutamente evitati (fonte: Stefano Fogliani)

microclimatico). La minor superficie boschiva o forestale si traduce inoltre in una minore disponibilità di superfici produttive di legname ed è causa quindi di una riduzione in termini quantitativi della risorsa. Anche se nei giorni nostri il problema della deforestazione ha assunto toni drammatici, la riduzione degli spazi ricoperti da foresta non è, come a prima vista si possa pensare, un fenomeno prettamente contemporaneo. In realtà, l'uomo, ha sempre sottratto spazio agli ambienti boschivi, tant'è che, rispetto all'epoca dell'ultima glaciazione (circa 15000 anni fa), oggi la superficie di foresta si è ridotta del 50%. Il fenomeno della deforestazione si è poi esteso su scala planetaria in seguito alle nuove possibilità tecnologiche e all'incremento dei fabbisogni conseguenti alla rivoluzione industriale. Per contro, soprattutto nei paesi industrializzati, l'abbandono in alcuni contesti di aree agricole non più redditizie ha favorito la riconquista di territorio da parte del bosco. Tale fenomeno però non ha dimensioni tali da compensare a scala planetaria la progressiva riduzione della superficie di foresta.

Attualmente per i boschi italiani si stima un'estensione pari a circa 8.759.200 ha, pari al 29,1% del territorio nazionale. In termini assoluti le maggiori concentrazioni di superficie coperta da bosco si hanno nell'arco alpino e sulla dorsale appenninica.

Per quanto riguarda la nomenclatura, secondo la normativa nazionale (D.Lgs. del 18 maggio 2001, n. 227) i termini *foresta*, *bosco* o *selva* sono sinonimi, pertanto il bosco è definito come “qualsiasi terreno coperto da vegetazione forestale arborea, associata o meno a quella arbustiva, di origine naturale o artificiale e, in qualsiasi stadio di sviluppo, i castagneti, le sugherete e la macchia mediterranea”. Sono invece esclusi i giardini pubblici e privati, le alberature stradali, i castagneti da frutto in attualità di coltura e gli impianti di frutticoltura e di arboricoltura da legno (cioè la coltivazione di alberi in terreni non boscati finalizzata esclusivamente alla produzione di legno e biomassa).

Le formazioni vegetali sopra citate e i terreni su cui esse sorgono devono inoltre avere estensione non inferiore a 2000 m², larghezza media non inferiore a 20 m e copertura non inferiore al 20%, con misurazione effettuata dalla base esterna dei fusti.

1.6.2. Multifunzionalità delle foreste ai giorni nostri

Attualmente sta crescendo la consapevolezza delle conseguenze derivanti da un eccessivo e mal gestito sfruttamento della risorsa forestale, sia in merito a quanto avvenuto in passato sia in relazione a quanto continua ad avvenire in vaste aree del pianeta.

Se da un lato molti paesi sono stati o sono ancora causa diretta o indiretta (come

acquirenti di legno e derivati) di fenomeni di deforestazione, dall'altro in molti contesti si registra una chiara inversione di tendenza, favorita anche da un crescente interesse per la tematica ambientale. Da un numero sempre più grande di persone l'ambiente all'interno del quale si vive è infatti concepito non più come una risorsa da sfruttare indiscriminatamente, bensì come elemento di interazione, il quale, se gestito in maniera sostenibile e nel rispetto delle leggi naturali, è in grado di fornire all'uomo tutto ciò di cui ha bisogno. L'approccio puramente monofunzionale, largamente applicato in passato (dove l'unico fine di attività come quelle selvicolturali era spesso rappresentato dal solo approvvigionamento del legno), è oggi integrato e sostituito da un approccio di tipo multifunzionale, consistente nell'attribuire più funzioni alla stessa area boschiva.



Figura 1.3
Prelievo di legname con modalità non ottimali e conseguente danno paesaggistico e potenziale rischio idrogeologico (fonte: Stefano Fogliani)

In quest'ottica alle foreste possono essere infatti attribuite:

- funzioni economiche;
- funzioni ambientali;
- funzioni sociali.

FUNZIONI ECONOMICHE

Le foreste costituiscono un'importante fonte di reddito in quanto sono in grado di produrre risorse rinnovabili. Queste ultime possono essere materie prime per l'industria del settore legno e del settore carta, oppure combustibile, che può essere utilizzato come energia rinnovabile. I boschi sono quindi generatori di opportunità di lavoro sia diretto che indiretto.

FUNZIONI AMBIENTALI

Una corretta conservazione delle aree boschive preserva o reintegra la biodiversità ecosistemica. Le foreste adeguatamente gestite contribuiscono alla stabilità

ecologica e all'integrità del paesaggio, proteggono il territorio e le persone da frane e valanghe nelle zone di montagna e altrove rallentano il fenomeno di impoverimento dei suoli e di desertificazione. In ogni caso contribuiscono all'assorbimento del carbonio presente nell'atmosfera, riducendo quindi gli effetti delle mutazioni climatiche originate dai processi antropici.

FUNZIONI SOCIALI

Le foreste hanno valore sociale in quanto costituiscono un'occasione per lo sviluppo di un'economia di carattere diffuso e non necessariamente basata sui grandi centri industriali. Riduzione del fenomeno di abbandono del territorio, salvaguardia delle tradizioni ecc. sono risvolti sociali positivi derivanti da una gestione ottimale della risorsa boschiva. In molti casi risulta poi evidente il valore sociale della risorsa bosco, poiché è dimostrato che le foreste favoriscono il benessere psicologico delle persone che le frequentano, incrementandone lo stato di salubrità mentale. Ciò ha valenza sia per chi abita nel territorio sia per il frequentatore occasionale. I boschi, infatti, sono luoghi dove passare il tempo libero, effettuare attività salutari come il trekking, il birdwatching ecc. Sono inoltre luoghi di studio e pace, dove poter ascoltare i suoni della natura e osservare da soli o in compagnia ciò che non è solitamente visibile agli abitanti delle zone urbane. Ciò ovviamente può costituire un'occasione di valorizzazione economica delle aree in cui l'economia del legno può integrarsi con quella della proposta turistico-ricettiva.

1.6.3. *Selvicoltura e selvicoltura naturalistica*

La questione della gestione razionale delle aree boschive non è un tema esclusivamente di oggi. Già alcune delle grandi civiltà del passato, essendo parte della propria economia basata sulla risorsa legno, hanno dovuto fare i conti con le implicazioni derivanti da uno sfruttamento eccessivo o non razionale di boschi e foreste e, di conseguenza, elaborare apposite normative e procedure di gestione. Oggi, in virtù degli elevati consumi e della globalizzazione dell'economia, la pratica della selvicoltura ha assunto una grande importanza sia per una corretta gestione dei boschi sia per il controllo del cosiddetto effetto serra.

La selvicoltura (letteralmente coltivazione del bosco) è, in generale, quella pratica che disciplina la coltivazione e la gestione (per mezzo di interventi colturali) della foresta finalizzata all'erogazione durevole dei prodotti e dei servizi da essa offerta. La legislazione nazionale definisce le attività selvicolturali come "fattore di sviluppo dell'economia nazionale, di miglioramento delle condizioni economiche e sociali delle zone montane, nonché a sostegno di nuove opportunità im-

prenditoriali ed occupazionali anche in forma associata o cooperativa. Esse sono strumento fondamentale per la tutela attiva degli ecosistemi e dell'assetto idrogeologico e paesaggistico del territorio" (art. 6 del D.Lgs. 18 maggio 2001, n. 227). Totalmente in linea con tale concetto, la selvicoltura naturalistica si distingue da altri modelli di amministrazione del bosco propendendo verso un tipo di gestione il più possibile vicino alle dinamiche naturali della foresta.

In tale ottica alla ripiantumazione in seguito a taglio si sostituisce, salvo casi eccezionali, il rinnovamento spontaneo. Ciò ovviamente comporta una modalità di taglio più leggera e mirata. È inoltre data la priorità a strutture miste e irregolari in riferimento alla conformazione del bosco, evitando quindi di originare aree boschive caratterizzate da forme geometriche ben definite, allineamento degli alberi ecc. Tale aspetto ha valenza sia a livello estetico (il bosco appare più naturale) sia a livello funzionale (minore rischio di dissesto idrogeologico). Si predilige inoltre la crescita delle specie autoctone e si pone particolare attenzione a non interferire troppo nelle interazioni spontanee presenti all'interno dell'ecosistema foresta. In altri termini si riducono al minimo gli interventi esterni e si esegue al contempo un prelievo compatibile con la capacità di autorigenerazione del bosco, il quale, nonostante il taglio di alberi, si preserva facendo affidamento sulle sue dinamiche ecologiche.



Figura 1.4

Con la selvicoltura naturalistica è possibile coniugare prelievo di legname, tutela della natura e del paesaggio (Val d'Ultimo in Sud Tirolo – Alto Adige)

Secondo la selvicoltura naturalistica la foresta non è più considerata, come spesso avveniva in passato, un serbatoio cui attingere finché possibile, bensì un ecosistema biologico in continua autorigenerazione in base alle leggi naturali che regolano la vita e le interazioni fra i vari elementi costitutivi.

Obiettivo della selvicoltura naturalistica è quindi il prelievo nel pieno rispetto di tali leggi, cercando per quanto possibile di coltivare il bosco ottenendo risultati prossimi a quelli naturali.

In Italia la selvicoltura naturalistica è stata introdotta a partire dagli anni '50 e '60, dapprima in Trentino Alto Adige e poi in Friuli Venezia Giulia e Valle d'Aosta. Delle aree boschive presenti sul territorio nazionale si stima che il 69,2% sia attualmente caratterizzato da attività selvicolturali con picchi particolarmente elevati in alcune aree geografiche (90,3% in Molise; 87,1% in Umbria; 84,6% in Alto Adige – Sud Tirolo).

1.6.4. Sfruttamento del bosco, assorbimento della CO₂ e protocollo di Kyoto

Trattando l'argomento della costruzione in legno non è possibile non affrontare il tema dell'anidride carbonica. Utilizzare legno vuol dire infatti interferire mediante taglio di alberi nel naturale ciclo di CO₂ legato alla vita degli esseri vegetali. Questo tipo di interferenza può essere positivo o negativo a seconda del tipo di approvvigionamento della risorsa. Se da un lato le azioni di deforestazione vanno ostacolate, poiché hanno sempre risvolti deleteri (in quanto intaccano le capacità delle foreste di autorigenerarsi e quindi di assorbire anidride carbonica), dall'altro l'utilizzo di legname proveniente da selvicoltura naturalistica è una pratica da incentivare. Prelevare legname in maniera compatibile con le capacità di autorigenerazione del bosco non provoca infatti effetti negativi sotto l'aspetto del rilascio di CO₂. Oltre a ciò va considerato che il legno offre in molti casi una validissima alternativa al ricorso ad altri materiali (per produrre o lavorare i quali viene spesso liberata anidride carbonica in atmosfera).

Il prelievo sostenibile di legname è quindi perfettamente compatibile con il protocollo di Kyoto ratificato dall'Italia attraverso la legge del 1 giugno 2002, n. 120, che definisce il *Piano nazionale per la riduzione delle emissioni di gas climalteranti* (anidride carbonica, metano, protossido d'azoto e gas fluorurati).

Secondo tale protocollo all'Italia è stata attribuita una percentuale di riduzione dei valori di gas serra pari al 6,5% rispetto ai valori rilevati nel 1990, perciò nel periodo 2008-2012 non potranno essere rilasciate in atmosfera quantitativi di CO₂ superiori a 487,1 milioni di tonnellate equivalenti. In seguito, con aggiornamento della delibera 123/2002, tale valore è stato nuovamente ricalcolato e fissato a 483,3 milioni di tonnellate di CO₂ equivalenti.

Per il conseguimento di tali obiettivi sono state previste attività e strategie finalizzate all'abbattimento dei quantitativi di anidride carbonica rilasciata in atmosfera. Fra queste trovano spazio misure di incentivazione della produzione di energia elettrica tramite pannelli fotovoltaici, cogenerazione, utilizzo di biocombustibili nei trasporti, promozione dell'efficienza energetica in edilizia, nonché gli incentivi previsti dalla legge finanziaria 2007 per il quadriennio 2007-2010 con sgravi fiscali per chi realizza interventi di riqualificazione energetica riguardanti edifici esistenti. Poiché la riduzione delle emissioni di gas clima-alteranti è intesa come riduzione delle emissioni nette (bilancio tra le quantità di gas serra rilasciate e quelle invece che vengono sottratte), sono previsti anche interventi riguardanti il settore agricolo e forestale, più precisamente attraverso iniziative atte a incrementare e migliorare la gestione delle aree boschive.

Oltre al recupero dei territori abbandonati e alla protezione del territorio dai rischi di dissesto idrogeologico e dalla desertificazione, queste iniziative prevedono anche progetti di riforestazione e di afforestazione.

Per *riforestazione* si intende quel processo grazie al quale una zona un tempo boscata viene ricoperta nuovamente da alberi adatti a quella zona. Ciò, grazie alla presenza di nuovi alberi, contribuisce alla riduzione delle concentrazioni di anidride carbonica presenti in atmosfera.

Con il termine di *afforestazione* si definisce invece un'azione di stabilizzazione artificiale di ambienti boschivi su terre dove precedentemente non erano presenti foreste, secondo i dati storici a disposizione.

Si è calcolato che gli interventi di afforestazione e di riforestazione previsti per il territorio italiano nel periodo 2008-2012 porterebbero a una riduzione equivalente di emissioni pari a 10,2 milioni di tonnellate di CO₂ per anno pari all'11% della riduzione totale.

Entrambi gli interventi, grazie alla presenza di nuovi alberi, contribuiscono alla riduzione delle concentrazioni di anidride carbonica nell'atmosfera. Le foreste, infatti, sono considerate come veri e propri pozzi di assorbimento di CO₂ dato che hanno la capacità di assimilare l'anidride carbonica presente nell'aria fissando il carbonio nella biomassa vegetale. Questa sottrazione momentanea di carbonio dall'atmosfera determina un miglioramento del bilancio tra la quantità del gas serra immessa nell'ambiente e quella invece che è rilasciata.

Altro vantaggio ambientale spesso sottovalutato derivante dall'utilizzo di legno nelle attività umane è che il ricorso a tale materiale comporta un minore utilizzo di altri prodotti, i quali molto spesso per la loro produzione o nel loro utilizzo hanno effetti negativi sul bilancio di emissioni di gas serra.

Il legno, se ricavato dalle attività agroforestali gestite in maniera sostenibile (per esempio da selvicoltura naturalistica), può quindi essere utilizzato convenientemente come sostituto di materiali energivori come la plastica, l'acciaio o il

calcestruzzo, il cui processo di produzione e lavorazione richiede consumi energetici ben più elevati. Come sopra descritto, oltre a evitare nuove immissioni di CO₂, l'utilizzo di legno consente inoltre di mantenere momentaneamente stoccata all'interno della materia organica l'anidride carbonica che l'albero ha sottratto all'atmosfera durante la sua crescita.

I prodotti di attività agroforestali possono essere inoltre utilizzati anche in sostituzione dei combustibili fossili attraverso la produzione di biomasse legnose come pellet, cippato, biodiesel, etanolo e legna da ardere. Questi prodotti non determinano un aumento sostanziale del livello di anidride carbonica in atmosfera dato che la quantità liberata è esattamente pari a quella assorbita dall'organismo vegetale durante le sue fasi di sviluppo.

In realtà nel bilancio compare anche la componente di CO₂ derivata dall'utilizzo di energia convenzionale utilizzata per la lavorazione e il trasporto.

In un'analisi dettagliata del bilancio di emissioni bisogna infatti tenere conto del consumo di energia derivante da fonti fossili necessario per le fasi che intercorrono dalla produzione delle biomasse (taglio, trasporto in stabilimento di produzione, sminuzzamento ecc.) alla loro commercializzazione. Le emissioni legate alla porzione di energia convenzionale utilizzata in tali fasi sono ben inferiori rispetto a quelle che sarebbero prodotte impiegando direttamente i combustibili fossili nella produzione di energia o calore.

1.6.5. Sostenibilità nella gestione della foresta

Prendendo in considerazione i vari aspetti derivanti dall'utilizzo della risorsa legno appare quindi evidente che il ricorso ad essa è altamente sostenibile dal punto di vista ambientale, a condizione che vengano adottate adeguate tecniche e strategie produttive in ogni fase del ciclo, a partire dalla gestione ottimale delle zone boschive. Per gestione forestale sostenibile (GFS) si intende quindi “gestione e uso delle foreste e delle aree destinate al bosco con modalità e intensità tali da garantire la loro biodiversità, produttività, capacità di rinnovazione, vitalità e potenzialità per svolgere ora ed in futuro rilevanti funzioni ecologiche, economiche e sociali a livello locale, nazionale e globale e tali da non determinare danni ad altri ecosistemi” (MCPFE 2007 e FAO 2009).

Da tale definizione emerge che i migliori risultati in un'ottica di gestione forestale sostenibile possono essere raggiunti seguendo poche ma importanti regole e condizioni, fra cui si citano le seguenti:

- la quantità di materia prima (legno) tagliata non deve superare mai la quantità generata dalla foresta. In altri termini: il prelievo non deve superare la capacità delle foresta di rigenerarsi;

- una volta prelevato il legno, occorre garantire la crescita di nuovi individui. Tale operazione può essere effettuata sia naturalmente (lasciando che i nuovi individui già presenti nelle vicinanze abbiano la possibilità di crescere e prendere il posto della pianta madre) sia artificialmente (tramite il processo di piantumazione), limitando il più possibile tale intervento;
- fra i successivi interventi di prelievo (o fra prelievo e rinnovamento) è necessario che sia preservato l'habitat delle piante e degli animali selvatici presenti nell'ecosistema allo scopo di non ridurre la capacità della foresta di interagire in maniera positiva con l'ambiente (riduzione dell'aridità del terreno, difesa del suolo dal rischio di dissesto idrogeologico ecc.);
- in un'ottica di sostenibilità non solo ambientale, ma anche sociale e culturale, devono essere tutelati anche i diritti delle persone (lavoratori, popolazioni locali) che proprio dalla foresta ricavano il proprio sostentamento.