

## ■ 5 Le caratteristiche meccaniche del bambù

A cura di Giammichele Melis e Monica Tengattini

Il presente capitolo ha lo scopo di introdurre le principali caratteristiche meccaniche del bambù, pur non avendo la pretesa di una trattazione esaustiva in tal senso. In particolare sono stati analizzati i diversi parametri che influenzano tali caratteristiche e si sono riportate le principali conclusioni ottenute a seguito di specifiche indagini sperimentali. Poiché le caratteristiche meccaniche dipendono essenzialmente dalla specie di bambù considerata, la loro definizione, unitamente alla definizione dei relativi parametri di sicurezza, non ha valore assoluto e i dati di seguito riportati devono essere considerati più come un compendio delle esistenti trattazioni sulla materia che come valori di riferimento. Lo studio sistematico delle caratteristiche del bambù come materiale da costruzione fa parte della storia recente: una delle prime ricerche scientifiche risale solo al 1912 ed è stata eseguita in Germania (R. Von Barman)<sup>1</sup>. Successivamente sono stati condotti diversi studi ed indagini sulle proprietà meccaniche del bambù, ma questi non sempre sono caratterizzati da una completa organicità e sistematicità soprattutto per l'assenza, fino a tempi più recenti, di precisi riferimenti normativi in tal senso. Sono stati compiuti diversi progressi grazie anche ad un sempre maggiore interesse della comunità scientifica verso un materiale da costruzione per sua natura 'sostenibile'.

In questo capitolo vengono presi in considerazione numerosi dati, frutto di differenti sperimentazioni effettuate o raccolte sino al 1991 da Jules J.A. Janssen ed esposte nel suo *Mechanical Properties of Bamboo* e da McClure F.A. nel testo *Bamboo's Building Material*. Queste analisi sono fra le poche complete ed attendibili in materia e pertanto sono state prese come base per lo sviluppo delle tematiche che interessano i prossimi paragrafi.<sup>2</sup>

Nella seconda parte del presente capitolo vengono presentate le linee guida di una normativa internazionale tesa a determinare dei criteri di accettabilità del bambù come materiale da costruzione.

### 5.1 La trazione

Lo stato di sollecitazione rispetto al quale il bambù presenta caratteristiche meccaniche sorprendenti, se paragonate a quelle dei più comuni materiali da costruzione, è lo sforzo normale di trazione. È noto che il caso più semplice di sforzo normale (o assiale) di trazione è quello di una trave (in questo caso il

<sup>1</sup> O.H. Lopez, *Bamboo: The Gift of the Gods* Hardcover, 2003.

<sup>2</sup> J.J.A. Janssen, *Mechanical Properties of Bamboo (Forestry Sciences)*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1991; F.A. McClure, *Bamboo as a Building Material*, USDA Foreign Service, Paperback, 1953.

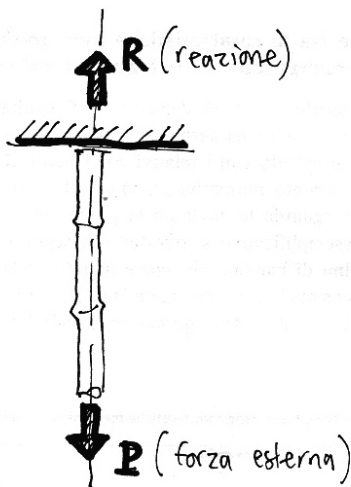


Fig. 5.1 Sforzo di trazione.

culmo di bambù) soggetta soltanto a due sistemi di forze esterne uguali e contrarie, applicate alle due sezioni estreme, normali alle sezioni e aventi la risultante passante per il baricentro della sezione e che determina un allungamento uniforme delle fibre.

Si riportano, nella Tab. 5.1, i valori della resistenza ultima a trazione che mostrano le eccellenti prestazioni del materiale<sup>3</sup>:

Tab. 5.1 Valori della resistenza a trazione in funzione del tipo di provino.

Al nodo	107,5 N/mm <sup>2</sup>
All'internodo	106,5 N/mm <sup>2</sup>

### 5.1.1 Relazione tra resistenza ultima a trazione e massa volumica

In merito al rapporto tra la resistenza ultima a trazione  $\sigma$  (N/mm<sup>2</sup>) e la massa volumica  $\rho$  (Kg/m<sup>3</sup>) è stata condotta una sperimentazione<sup>4</sup> su un numero rilevante di campioni di bambù provenienti da una vasta area geografica. Ciò ha permesso di mettere in relazione i valori riportati nella Tab 5.2 secondo una legge matematica:

$$\sigma = 0,307\rho \text{ (coefficiente di variazione } v = 3\%)$$

<sup>3</sup> J.J.A. Janssen, *Mechanical Properties of Bamboo (Forestry Sciences)*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1991, p. 110.

<sup>4</sup> J.J.A. Janssen, *Mechanical Properties of Bamboo (Forestry Sciences)*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1991, p.105 che cita Zohu Fangchun, Studies on physical and mechanical properties of bamboo wood. Journal of Nanjing Techn.Coll of For Prod, 1981, pp. 1-32.

Tab. 5.2 Resistenza ultima a trazione in funzione della massa volumica.

Regione	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	$\sigma$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Yixing	612	196,1
Xiashu	596	180,2
Shimen	589	182,0
Damaoshan	584	174,0

### 5.1.2 Relazione tra resistenza ultima a trazione ed età del culmo

Dalla stessa sperimentazione<sup>5</sup> citata nel precedente paragrafo, è stata desunta la relazione tra la resistenza ultima a trazione e l'età dei culmi. I culmi di età compresa tra 1 e 10 anni sono stati classificati in 5 classi di età ottenendo i dati riportati nella Tab. 5.3 in cui la tensione ultima a trazione è espressa in N/mm<sup>2</sup>:

Tab. 5.3 Resistenza ultima a trazione in N/mm<sup>2</sup> in funzione delle classi di età del culmo.

Classi di età	1	2	3	4	5
Età in anni	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10
Distretto					
Xiashu	151,96	189,00	178,89	199,60	181,74
Yixing	186,18	209,41	197,67	201,65	185,39
Shimen	163,92	191,22	194,82	184,46	169,98
Damaoshan	137,11	185,46	187,50	187,00	172,88
Valore medio (N/mm <sup>2</sup> )	159,79	193,77	189,72	193,18	177,50

La relazione analitica ottenuta tra la resistenza a trazione ( $\sigma$ ) e la classe di età (A) è la seguente :

$$\sigma = 132,76 + 38,29 A - 5,87 A^2.$$

Si osservi come dal terzo anno ci sia un miglioramento sostanziale delle prestazioni.

### 5.1.3 Relazione tra modulo elastico a trazione e posizione nello spessore del culmo

In una sperimentazione del 1985<sup>6</sup> si raccolgono i risultati contenuti nel seguente grafico che mostrano il rapporto tra modulo elastico a trazione e lo spesso-

<sup>5</sup> J.J.A. Janssen, *Mechanical Properties of Bamboo (Forestry Sciences)*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1991, p.107 che cita Zohu Fangchun, Studies on physical and mechanical properties of bamboo wood. Journal of Nanjing Techn.Coll of For Prod, 1981 pp1-32.

<sup>6</sup> J.J.A. Janssen, *Mechanical Properties of Bamboo (Forestry Sciences)*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1991, p. 108.

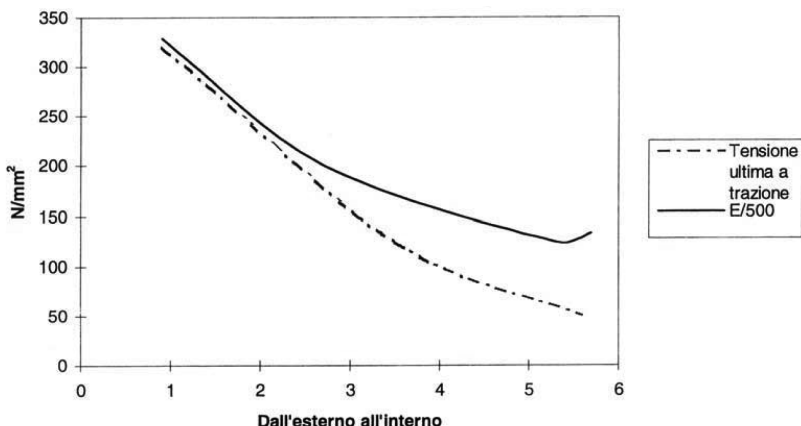


Fig. 5.2 Resistenza ultima a trazione e modulo E/500 dall'esterno all'interno della parete del culmo.

re del culmo: in ascissa vengono indicati lo spessore della parete di bambù e precisamente la parte di destra si riferisce all'interno, mentre la parte di sinistra si riferisce all'esterno. In ordinata sono indicate sia la tensione ultima a trazione che il modulo elastico o meglio E/500 espressi in  $N/mm^2$ . Si osserva che il modulo E varia tra 0 e  $20.000 N/mm^2$ .

Si può osservare che sia il modulo elastico che la tensione ultima a trazione decrescono dall'esterno verso l'interno.

## 5.2 La compressione

Quando il culmo di bambù è soggetto soltanto a due sistemi di forze esterne uguali e contrarie, applicate alle due sezioni estreme, normali alle sezioni e aventi la risultante passante per il baricentro della sezione e che determina un accorciamento uniforme delle fibre, si parla di sforzo normale (o assiale) di compressione (Fig 5.3).

Prima di passare ad uno studio dettagliato dei vari parametri che influiscono sui valori a compressione, si fornisce una tabella orientativa (Tab. 5.4) in cui si evidenzia la variazione della tensione di rottura a compressione in funzione del diametro dei culmi, dello spessore e della geometria adottata<sup>7</sup>.

Tab. 5.4 Valori della resistenza a compressione in funzione dello spessore e del diametro.

Diametro	47,8 mm	60,5 mm	70,0 mm
Spessore = 4 mm	–	65,8 $N/mm^2$	–
Spessore = 5 mm	60,5 $N/mm^2$	65,3 $N/mm^2$	53,6 $N/mm^2$

<sup>7</sup> J.J.A. Janssen, *Mechanical Properties of Bamboo (Forestry Sciences)*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1991, p. 62.

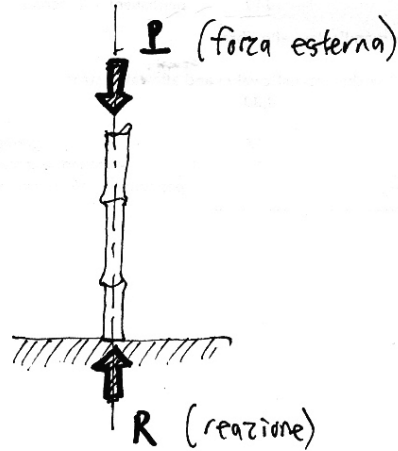


Fig. 5.3 Sforzo di compressione.

È stato osservato che se il carico è applicato parallelamente alle fibre la resistenza ultima di una sezione che incorpora un nodo è solo dell'8% più alta rispetto a quella relativa ad una sezione che non comprende nodi. Diverso è il caso in cui il carico viene esercitato perpendicolarmente alle fibre. Infatti si ha un incremento della tensione di ben il 45% per le sezioni che comprendono nodi. Per un raffronto si riportano indicativi valori a compressione delle più diffuse specie di legname si attesta tra i 25 e i 95 N/mm<sup>2</sup>.

### 5.2.1 Analisi del comportamento a compressione della specie *Phyllostachys reticulata*

Nel *Phyllostachys reticulata*<sup>8</sup> la relazione tra la tensione di compressione ( $\sigma_c$ ) e i diversi strati della parete del culmo, in funzione della massa volumica ( $\rho$ ) e del contenuto di umidità (MC), è riportata nella Tab 5.5.

Tab. 5.5 Valori della resistenza a compressione del *Phyllostachys reticulata*.

Strati della parete	MC	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]			$\sigma_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]		
		min	medio	max	min	medio	max
Strato esterno	10,0-13,5%	837	918	1014	92,9	112,2	130,8
Strato intermedio	10,0-13,0%	718	775	813	62,9	79,7	95,1
Strato interno	10,5-13,6%	629	748	833	52,3	67,2	81,6
Culmo intero	10,4-12,9%	756	866	944	78,2	83,1	96,0

<sup>8</sup> J.J.A. Janssen, *Mechanical Properties of Bamboo (Forestry Sciences)*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1991, p. 69.

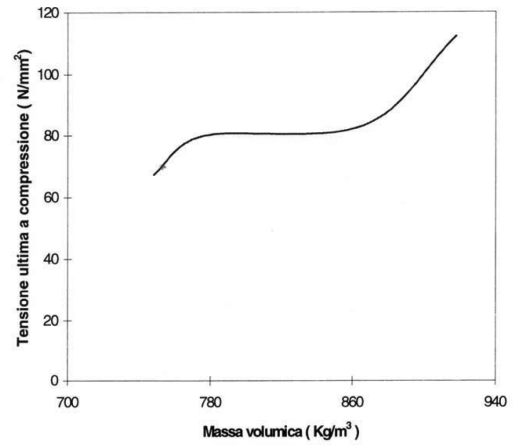


Fig. 5.4 Relazione tra la tensione di compressione e la massa volumica.

Dai valori riportati in tabella è stata dedotta la seguente legge, valida per la specie *Phyllostachys reticulata*:

$$\sigma_c = -94,5 + 0,218\rho$$

### 5.2.2 Relazione tra resistenza ultima a compressione, età del culmo e massa volumica

Effettuando 100 test in 4 aree per un totale di 400 test, è stata messa in relazione la resistenza ultima a compressione con l'età del culmo e la massa volumica. Il bambù è stato classificato in cinque categorie di età: classe 1 (1-2 an-

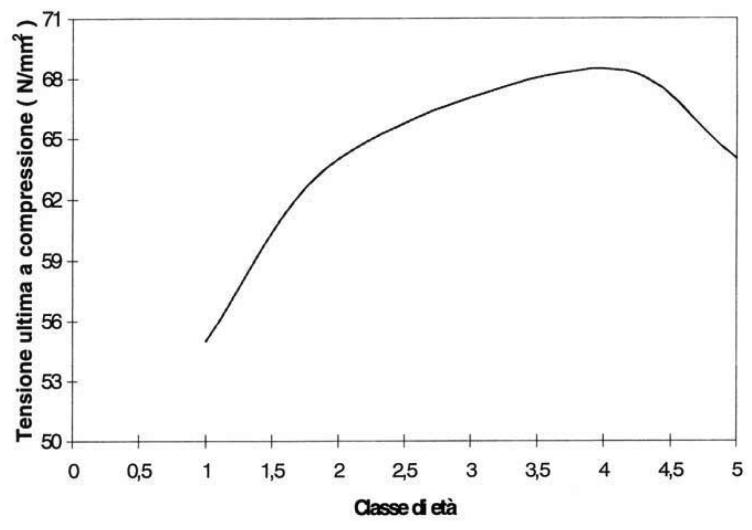


Fig. 5.5 Relazione tra la resistenza ultima a compressione e la classe di età.

Tab. 5.6 Relazione tra età del culmo, contenuto di umidità e resistenza a compressione.

Età	$\rho$ in Kg/m <sup>3</sup>	$\sigma_c$ in N/mm <sup>2</sup>
1	646	51,8
2	703	55,3
3	718	54,4
4	706	58,3
5	672	58,2
6	608	46,3

ni), classe 2 (3-4 anni), classe 3 (5-6 anni), classe 4 (7-8 anni), classe 5 (9-10 anni). Ogni distretto ha fornito la propria formula di regressione lineare da cui sono stati desunti i valori medi di tensione corrispondenti a ciascuna età il cui andamento è rappresentato nel grafico in Fig. 5.5. In essa<sup>9</sup> si nota un andamento crescente delle tensioni fino al settimo anno di età (classe 4), seguito da un andamento decrescente (Tab. 5.6).

### 5.2.3 Relazione tra resistenza ultima a compressione e la posizione lungo il culmo

Per individuare la relazione tra resistenza ultima a compressione e porzione di culmo presa in considerazione è stata condotta una sperimentazione che ha considerato culmi di bambù divisi in 10 parti. Chiamando 0 la parte inferiore e 10 la parte superiore, si sono analizzati culmi provenienti da due differenti regioni (Tab. 5.7)<sup>10</sup>.

Tab. 5.7 Valori della resistenza ultima a compressione nelle differenti porzioni del culmo.

Parti del culmo	0	2	4	6	8
Regione 1 Xiashu	60,95	69,14	73,95	79,08	82,28
Regione 2 Shimen	52,57	64,51	67,47	74,38	77,68

Si sono potute estrapolare le seguenti relazioni:

- per la regione 1(Xiashu) :  $\sigma_c = 61.19 + 4H - 0.1713H^2$ ;
- per la regione 2 (Shimen):  $\sigma_c = 53.42 + 4.9H - 0.2366H^2$ .

I valori indicati nella Tab. 5.7 sono rappresentati nel grafico in Fig. 5.6 a pagina seguente, in cui l'andamento della tensione ultima a compressione è espressa in N/mm<sup>2</sup> in funzione delle diverse porzioni lungo l'altezza del culmo.

<sup>9</sup> J.J.A. Janssen, *Mechanical Properties of Bamboo (Forestry Sciences)*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1991, p. 84.

<sup>10</sup> J.J.A. Janssen, *Mechanical Properties of Bamboo (Forestry Sciences)*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1991, p. 75.