

Considerazioni generali sul culmo come materiale da costruzione

Marco Fabiani Ing, PhD Docente

Il bambù è un materiale naturale che presenta notevoli proprietà meccaniche grazie alla presenza delle fibre che ne conferiscono resistenza e rigidità. Le fibre, che rappresentano il tessuto sclerenchimatico della pianta, sono immerse nel tessuto parenchimatico, che rappresenta la parte meno resistente e meno rigida del materiale. La presenza di fibre di cellulosa immerse all'interno del tessuto parenchimatico induce a considerare questo materiale come un *materiale composito*, ovvero un materiale costituito dall'unione di due costituenti, per l'appunto la matrice e le fibre. Generalmente, un culmo di bambù è costituito dal 52% di tessuto parenchimatico, 40% di fibre e il restante 8% di tessuti adatti al trasporto di sostanze nutritive per la pianta.

Le fibre del bambù

Le fibre sono la parte che conferiscono resistenza e rigidità al culmo di bambù e ne rappresentano la parte più importante dal punto di vista strutturale. Ogni fibra ha la forma di un tubicino, ovvero è una piccola asta tubolare con un diametro di 0,03 mm e una lunghezza di circa 3 mm. La parete della fibra, sottilissima, misura mediamente 0,006 mm (6 µm). La parete di ogni fibra è costituita da una serie di strati che, nel caso del bambù, possono essere da un minimo di sette fino ad un massimo di diciotto strati. Facendo un paragone con gli alberi, le fibre legnose hanno una forma più assimilabile ad un prisma ed hanno un numero di strati pari a tre. Ogni strato, chiamato lamella, è composto da una serie di fibre sottilissime di cellulosa che conferiscono sostegno all'intera fibra. Queste fibre sottilissime, dette fibrille o microfibrille, hanno un particolare orientamento all'interno di ogni strato. Nel caso del bambù, si hanno fibrille longitudinali e fibrille trasversali. Ogni strato ha un orientamento delle fibrille diverso da quello adiacente così da rafforzare la struttura di ogni fibra.

Le fibre, oltre a dare resistenza e rigidità alla pianta, circondano i vasi conduttori adatti al trasporto delle sostanze nutritive e dell'acqua all'interno del culmo. Per vederli ad occhio nudo è sufficiente sezionare un culmo. Si notano, infatti, numerosi puntini scuri immersi in un materiale più chiaro: le fibre sono i puntini scuri (fasci citrovascolari), mentre la parte più chiara è il tessuto parenchimatico. Uno studio realizzato da Lo *et al.* (2008) ha definito, relativamente a due specie di bambù, la relazione che c'è tra il numero medio dei puntini per unità di area e la resistenza a compressione del culmo. In generale, come è facile aspettarsi, maggiore è il numero dei puntini, maggiore è la resistenza del culmo. La relazione empirica che mette in relazione la resistenza a compressione e il numero medio dei puntini, nel caso della specie *Phyllostachys edulis*, è la seguente: $\sigma = 2,63 \cdot B + 36$, dove σ rappresenta la resistenza media a compressione [MPa] e B è il numero medio dei puntini per unità di area.

I fattori che determinano il comportamento meccanico

Le principali caratteristiche che determinano la resistenza del bambù sono sostanzialmente quattro e sono: l'età del culmo, la densità, il contenuto di umidità e la posizione lungo il culmo.

L'età migliore per ottenere massime prestazioni meccaniche è compresa fra i 3 e i 5 anni dalla nascita della pianta. Prima di questo periodo, il bambù può essere impiegato per realizzare cestini, bacchette e tovaglette, mentre per età superiori ai 5-6 anni è molto usato per costruire mobili e recinzioni.

L'acqua all'interno del culmo diminuisce la sua resistenza. Nel caso di bambù secco (M.C. < 5%) la resistenza può assumere valori nettamente superiori rispetto al caso di culmi moderatamente umidi (M.C. > 30%).

La resistenza, come per il legno, è direttamente proporzionale al valore della densità. Diverse formule empiriche definiscono i valori della

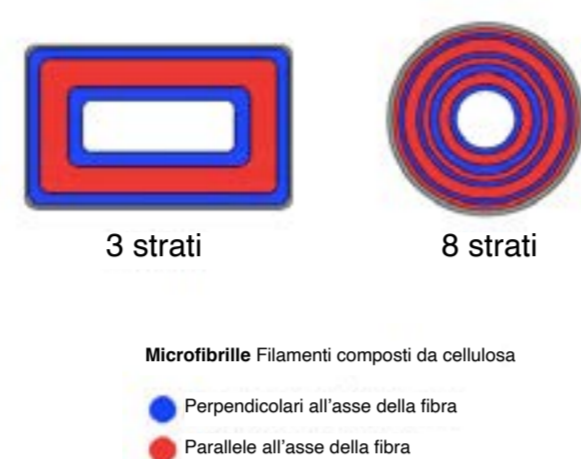


Fig.2 Lamelle nelle fibre del legno e del bambù

resistenza in relazione alla densità del culmo. La formula che lega queste due grandezze ha la seguente espressione, ovvero $\sigma = k \cdot \rho$, dove σ rappresenta la resistenza caratteristica [MPa], ρ la densità del culmo [kg/m³], mentre k è un fattore che dipende dal tipo di resistenza analizzata e dal contenuto di umidità.

Infine, lungo l'altezza del culmo si ha una variazione della resistenza meccanica poiché la densità delle fibre aumenta dal basso verso l'alto. Quindi, nelle zone più basse del culmo, la resistenza è minore rispetto alle zone più alte dove la densità delle fibre è maggiore.

Valori del fattore k (Janssen, 1995)		
Contenuto umidità	Secco	Umido
Compressione	0,013	0,011
Flessione	0,02	0,015
Taglio	0,003	-

Le proprietà dei bambù italiani

Uno studio condotto da Molari *et al.* (2020) ha portato a definire le caratteristiche meccaniche di cinque specie di bambù coltivati in Italia. Sono state eseguite prove a compressione e a trazione e sono state stimate le densità di ogni singola specie secondo gli standard ISO attualmente in vigore. Le specie, tutte appartenenti al genere *Phyllostachys*, sono state analizzate presso i laboratori dell'Università di Bologna e dell'Università Politecnica delle Marche.

Generalmente, le proprietà di queste specie nate in Italia differiscono di poco se confrontate con quelle provenienti da altre parti del mondo. Questo risultato potrebbe incentivare il processo di produzione di elementi di bambù ingegnerizzati proprio con materia prima coltivata nel nostro territorio, garantendo così una riduzione dei consumi e dell'inquinamento dovuti al trasporto.

L'instabilità per compressione

Come tutte le aste snelle, anche i culmi di bambù, quando sottoposti a carichi assiali di compressione, sono soggetti a sbandamenti e inflessioni dovuti al "fenomeno del carico critico". Questa situazione è una condizione rovinosa perché può portare al collasso non solo il culmo interessato dal carico di compressione, ma anche

l'intera struttura. Il carico di compressione che porta alla perdita della stabilità di un'asta snella è definito carico critico euleriano (il nome lo si deve al matematico Eulero che per primo ne formulò l'espressione nel 1744). Il valore calcolato secondo l'espressione di Eulero è valido per tutte quelle aste propriamente dette perfette, quindi ideali, ovvero che non presentano imperfezioni. Esso rappresenta il valore della forza esterna per la quale l'asta, dalla sua configurazione rettilinea stabile, passa ad una configurazione flessa, quindi instabile.

Tuttavia, tutte le aste presenti nella realtà, dette aste reali, sono tutt'altro che perfette. Infatti, presentano svariate imperfezioni, riducendone la loro resistenza al carico di punta. Il carico critico euleriano rappresenta, perciò, un valore ideale,

La presenza di fibre di cellulosa immerse nel tessuto parenchimatico induce a considerare questo materiale come un materiale composito

ovvero un valore massimo, che non si manifesta nella realtà perché tutte le aste reali non sono mai perfette. Quindi nessuna asta si inflette quando raggiunge il carico critico euleriano ma lo fa per valori più bassi. Maggiore è il grado di imperfezione dell'asta, minore sarà la sua resistenza al carico di punta.

L'instabilità per compressione è un fenomeno estremamente importante da tenere in considerazione nella progettazione di opere fatte con culmi di bambù. Si deve assumere una particolare attenzione nei confronti di questo fenomeno perché l'asta di bambù è fortemente imperfetta. Le imperfezioni, nel caso del bambù, sono rappresentate dalla non perfetta rettilineità del culmo e dalla presenza dei nodi.

Attualmente esistono diverse formulazioni per valutare la resistenza di un culmo di bambù snello sottoposto a carico assiale di compressione. La normativa ISO propone due soluzioni per il problema dell'instabilità in fase progettuale. La prima suggerisce di effettuare test in vera



Fig.3 Prototipo di connessione realizzato con legno, viti autofilettanti e perni in acciaio adatto alle strutture reticolari piane e spaziali (M. Fabiani)

grandezza su culmi con caratteristiche simili a quelli che verrebbero poi utilizzati nel progetto e, dall'analisi condotta, di estrapolare un valore adatto alla progettazione. La seconda, invece, suggerisce il calcolo della resistenza secondo la formula del carico critico euleriano riducendolo di una certa aliquota, ovvero $P_{cr} = n \cdot P_{EUL}$, dove P_{cr} rappresenta il carico che porta al collasso l'asta di bambù, P_{EUL} rappresenta il carico critico calcolato con la ben nota formula di Eulero e n è un fattore di riduzione inferiore ad 1. Diversi lavori scientifici sono stati realizzati su questo argomento. Si ricorda, in particolare, il lavoro di Yu *et al.* (2003), nel quale sono stati portati a rottura per azioni di compressione 72 culmi snelli appartenenti a due specie molto diffuse in Cina. Anche in questo lavoro, similmente alla normativa ISO, la resistenza al carico di punta è calcolata pari alla riduzione del carico critico euleriano per un certo fattore che tiene conto delle imperfezioni che sono presenti sul culmo.

Le connessioni

Dal momento che il bambù ha una scarsa resistenza al taglio, è bene usare i culmi di bambù solo per realizzare strutture reticolari. Attualmente, grandi sforzi si stanno facendo in campo accademico per comprendere meglio il comportamento meccanico delle connessioni. Possiamo dire che, sebbene il bambù abbia notevoli resistenze meccaniche, la connessione fra i culmi è il punto più debole di queste strutture. Esistono svariate soluzioni di connessioni, da quelle tradizionali a quelle più moderne, dove vengono utilizzati materiali come il cemento e l'acciaio. Una strategia molto comune è quella di usare bulloni per collegare le aste di bambù. Questa soluzione, seppur semplice da realizzare,

genera un collegamento debole perché prevede la foratura del culmo e genera una concentrazione delle tensioni attorno ad esso. Una soluzione che è spesso adottata nelle grandi opere è quella di riempire il culmo di malta cementizia e di inserire al suo interno un inserto adattabile alla connessione, come nel caso del Padiglione progettato da Markus Heinsdorff. Si può certamente affermare che questa tipologia sia migliore rispetto alla prima perché offre una maggiore distribuzione delle tensioni fra culmo e connettore, ma rimane una soluzione più pesante e più onerosa. Esistono tantissime soluzioni capaci di collegare le aste di bambù, ma, come affermato da Lefevre *et al.* (2019), ci sono ancora pochissimi dati in letteratura che ne dimostrano l'efficienza.

Bibliografia

- W. Liese. *The anatomy of bamboo culms*. Pechino, Cina: INBAR; 1998.
- T.Y. Lo et al. *Strength analysis of bamboo by microscopic investigation of bamboo fibre*. Construction and Building Material. 2008; 22: 1532-1535.
- J.J.A. Janssen. *Building with bamboo*. Warwickshire, Regno Unito; 1995.
- L. Molari et al. *Mechanical characterization of five species of Italian bamboo*. Structure. 2020; 24: 59-72.
- W.K. Yu et al. *Column buckling of structural bamboo*. Engineering Structures. 2003; 25: 755-768.
- B. Lefevre et al. *A new method for joining bamboo culms*. Engineering Structures. 2019; 190: 1-8.
- M. Fabiani. *Bamboo structures: Italian culms as likely resource for green building*. Tesi di dottorato. Ancona, Università Politecnica delle Marche, Italia; 2014.

Il presente articolo è disponibile sotto la licenza Creative Commons con le seguenti caratteristiche: [Attribuzione - Non commerciale - Non opere derivate 4.0 Internazionale](#). Questo significa che chiunque può copiare, distribuire, condividere con il pubblico l'articolo solo per scopi non commerciali citando l'autore ma nessuno può distribuire opere derivate basate sullo stesso articolo.

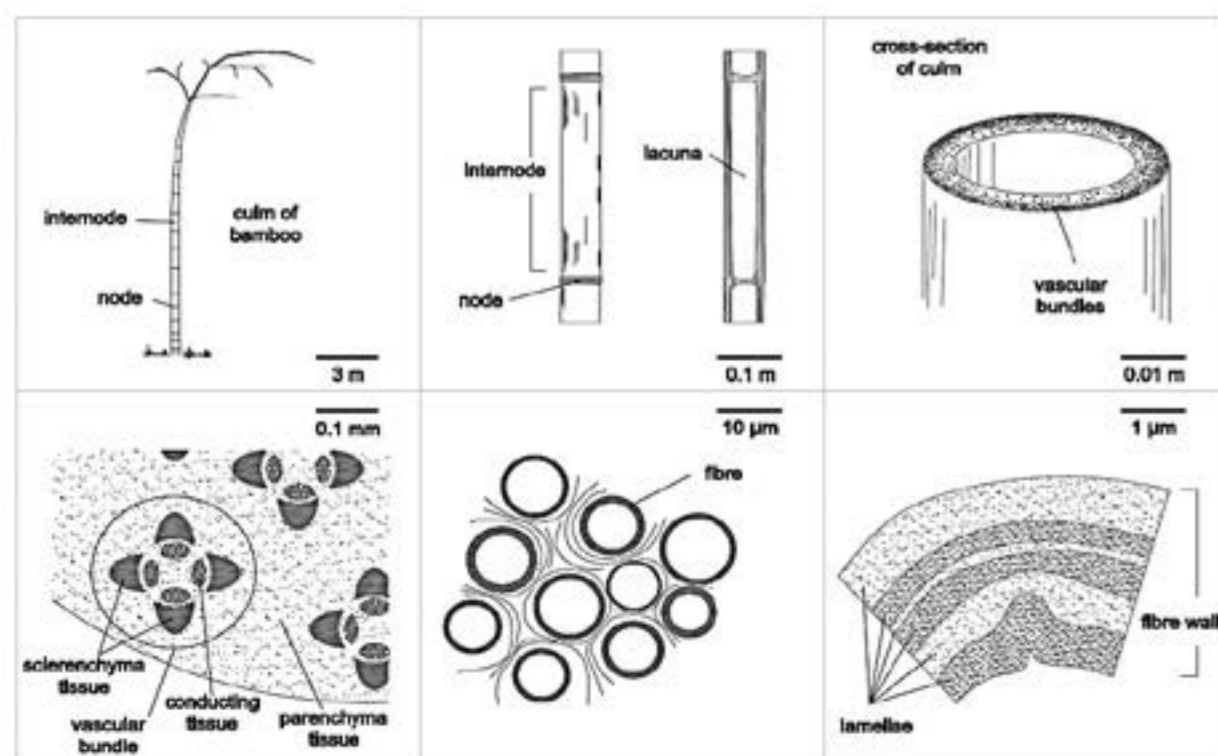


Fig.1 Dalla macrostruttura alla microstruttura del bambù: dal culmo alle lamelle