



IL BAMBÙ ITALIANO E LE SUE POTENZIALITÀ COME MATERIALE STRUTTURALE

Marco Fabiani

Docente Scuola secondaria, Pesaro
marco.fabiani3@posta.istruzione.it

Lando Mentrasti

DICEA, Università Politecnica delle Marche, Ancona
mentrasti@univpm.it

Luisa Molari

DICAM, Alma Mater Studiorum, Università di Bologna, Bologna
luisa.molari@unibo.it

SOMMARIO

Il bambù è da sempre usato in alcune parti del mondo non solo come materiale per produrre oggetti, ma come vero e proprio materiale strutturale per case, passerelle pedonali, edifici di culto, padiglioni fieristici e numerosi tipi di costruzioni. Con la crescente necessità di ridurre le emissioni di gas serra per limitare il fenomeno del riscaldamento globale, nel settore delle costruzioni il bambù può assumere un ruolo importante nell'ambito strutturale perché è particolarmente resistente, sostenibile e altamente rinnovabile. La sua resistenza a trazione può raggiungere valori molto elevati, mentre le altre caratteristiche meccaniche sono paragonabili a quelle del legno. La pianta cresce molto velocemente senza particolari condizioni bioclimatiche e raggiunge la maturazione entro i 3 e i 6 anni, intervallo di tempo entro il quale il bambù può essere utilizzato come materiale da costruzione. L'articolo riporta i risultati che sono stati ottenuti al termine di un'ampia indagine sulle proprietà fisiche e meccaniche di alcune specie di bambù che crescono in Italia. I bambù,

tutti appartenenti al genere *Phyllostachys*, raggiungono valori di resistenza molto significativi, simili o superiori a quelli esibiti dalla specie più nota usata nell'ambito delle costruzioni, ovvero la *Guadua angustifolia*. Inoltre, si conferma che il bambù italiano dal punto di vista del suo comportamento meccanico è un ottimo candidato per prodotti ingegnerizzati specializzati per applicazioni strutturali, come il bambù lamellare.

ABSTRACT

ITALIAN BAMBOO AND ITS PERSPECTIVE AS A STRUCTURAL MATERIAL

Bamboo has always been used in much of the world not only as a material to produce objects, but also as a well-established structural material for houses, churches, pedestrian walkways, exhibition halls and other types of buildings. Bamboo can play an important role in the structural context because it is particularly resistant with the benefit of sustainability, high renewability, little environmental impact giving, therefore, a significant contribution to the mitigation to the global warming by reducing the gas emissions. The plant grows very quickly without particular bioclimatic conditions and reaches the maturity for structural use within 3 to 6 years. Its mechanical characteristics are comparable to those of wood except for tensile strength which can reach considerable higher values. The results of an extensive investigation on the physical and mechanical properties of some bamboo species that grow in Italy (all belonging to the Phyllostachys genus), shows very significant values of resistance, similar to those exhibited by the best known species used in construction, namely Guadua angustifolia. Therefore, due to its excellent mechanical behavior also Italian bamboo is a good candidate for specialized engineered products suitable for structural applications, such as laminated bamboo.

PAROLE CHIAVE | KEYWORDS

bambù, bambù italiano, materiale strutturale, bambù laminato, caratteristiche meccaniche

bamboo, Italian bamboo, structural material, engineered material, mechanical characteristics



Il bambù è una pianta sempreverde che cresce spontaneamente nelle zone subtropicali di tutto il pianeta. Nei luoghi dove la pianta non ha una crescita spontanea, come in Europa, può essere facilmente coltivata con l'impiego di minime risorse. Dalle civiltà che vivono nei territori dove la pianta cresce spontaneamente, il bambù viene impiegato non solo come materiale per costruire case e strutture sospese, ma anche svariati oggetti e strumenti usati nella quotidianità.

Nel mondo occidentale le piante di bambù sono arrivate con buona probabilità nel diciottesimo secolo (prima non vi era alcuna presenza di esse in Europa). Portate dalle navi che facevano rotta con l'India e con la Cina, venivano richieste dalle nobili famiglie aristocratiche che le disponevano nei propri giardini e nei propri parchi come simbolo di bellezza esotica dal gusto orientale. Nel territorio italiano sono presenti numerosi bambuseti, per la maggior parte incolti, all'interno di giardini e nelle zone umide a bassa altitudine, su una superficie globale che si aggira attorno ai 20/30 mila ettari.

Nelle *Bambusoideae*, la sottofamiglia appartenente alla famiglia delle graminacee che raggruppa tutti i bambù, troviamo numerosi generi e oltre 1600 specie (Canavan *et al.* 2017). All'interno di questa grandissima varietà solo alcune di esse possono essere impiegate per usi strutturali (Tabella 1) perché non tutte hanno prestazioni meccaniche considerevoli. I culmi dei bambù generalmente non hanno tutti le stesse dimensioni sicché, in ambito strutturale, si preferisce usare specie dette "bambù giganti", che misurano altezze fino a 30 m con un diametro del culmo maggiore a 100-120 mm. Inoltre si prediligono quei bambù che hanno uno sviluppo verticale del culmo abbastanza rettilineo e che non hanno configurazioni inappropriate per applicazioni strutturali: è il caso della *Phyllostachys edulis Heterocycla*, detta anche "bambù tartaruga", il cui culmo somiglia al carapace di questi rettili (figura 1), dunque sconsigliata come materiale strutturale, ma sicuramente adatta per soluzioni artistiche.

Tabella 1. Alcune specie di bambù autoctone adatte alle applicazioni di ingegneria strutturale.

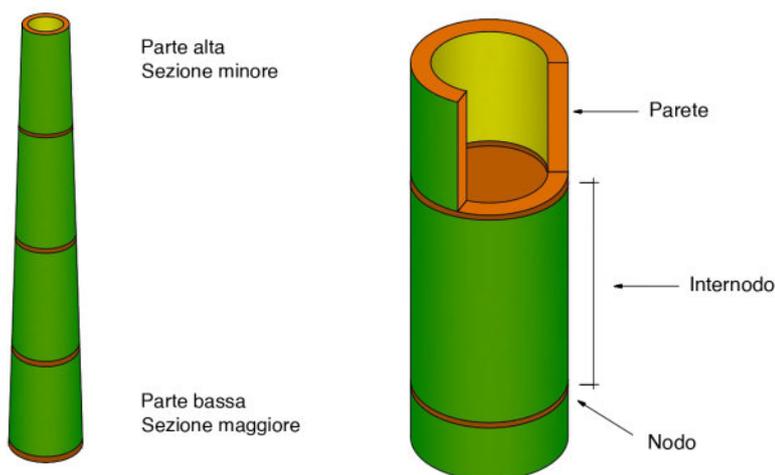
Specie	Diametro [mm]	Spessore parete [mm]	Fonte
<i>Bambusa blumeana</i>	60/150	-	(Kaminski <i>et al.</i> , 2016)
<i>Bambusa oldhamii</i>	50/82	5.4/13.6	(Lorenzo <i>et al.</i> , 2019)
<i>Dendrocalamus asper</i>	80/200	-	(Kaminski <i>et al.</i> , 2016)
<i>Guadua angustifolia</i> Kunth	81/151	5.9/22.8	(Lorenzo <i>et al.</i> , 2019)
<i>Phyllostachys edulis</i>	55/142	5.6/14	(Lorenzo <i>et al.</i> , 2019)



1. Particolare di culmi appartenenti alla specie *Phyllostachys edulis Heterocycla*.

IL CULMO E I SUOI ASPETTI MECCANICI

Il fusto del bambù, detto *culmo*, ha pareti relativamente sottili (tipicamente dai 3 ai 25 mm) con setti trasversali, detti propriamente *nodi*, che ne caratterizzano la geometria. Le chiome sono molto folte, tanto che la pianta è spesso usata come barriera visiva nell'organizzazione dei giardini e dei parchi. Dal punto di vista strutturale il culmo è assimilabile ad una trave a sezione circolare cava rastremata lungo l'asse longitudinale (figura 2), con rigidità variabile lungo l'asta. I setti limitano i fenomeni di instabilità locale (*Brazier buckling*) che si avrebbero con l'ovalizzazione del culmo (figura 3).



2. Struttura del culmo. 3. Particolare della zona del nodo.

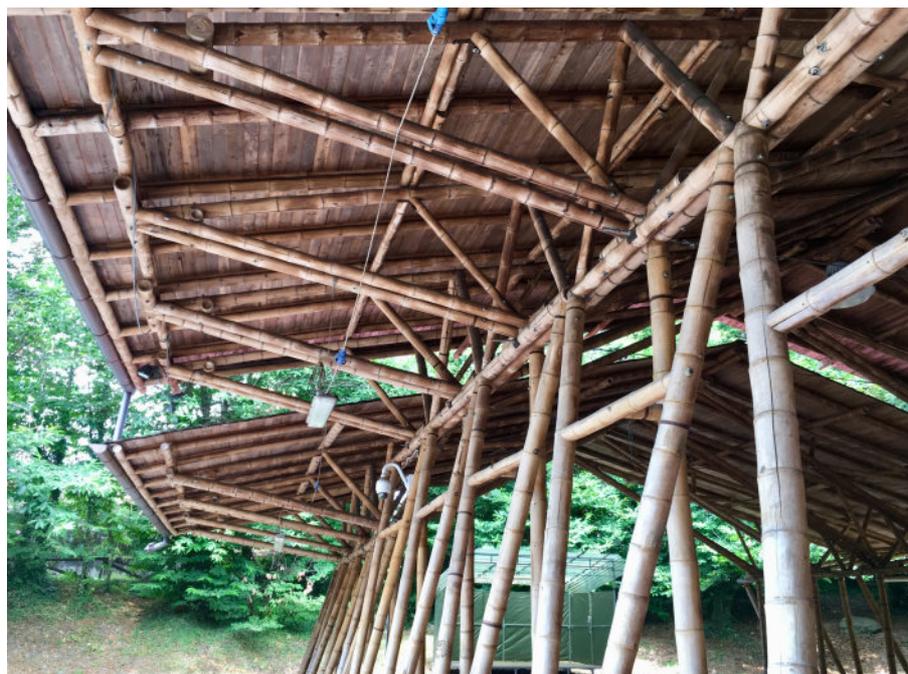
Il culmo è fatto di un materiale "intelligente", ovvero *functionally graded* (Nogata & Takahashi, 1995), perché la densità delle fibre è maggiore nella parte più esterna della sezione. La percentuale di fibre è relativamente elevata se si pensa che rappresentano il 40% del volume totale del culmo, mentre il 52% è interessato dal tessuto parenchimatico e il restante 8% da altri tessuti (Liese, 1997). Le fibre, che sono gli elementi meso-strutturali altamente rigidi e resistenti, sono esclusivamente in direzione longitudinale e, a differenza del legno, sono scarsamente legate trasversalmente. Questo induce una debolezza tipica del materiale, ovvero la facilità di propagazione di cricche e fessurazioni fra le fibre in direzione longitudinale.

Il peso specifico del culmo di bambù è paragonabile a quello del legno, così come la resistenza meccanica alla compressione, alla flessione e al taglio (Tabella 2), mentre se consideriamo la resistenza alla trazione, il bambù esibisce un valore più elevato rispetto al legno (Kaminski *et al.*, 2016). Si potrebbe dunque dire che entrambi i materiali hanno lo stesso "rapporto di potenza" (Siviero & Benedetti, 2002), inteso come rapporto fra la tensione di rottura e il loro peso specifico. In trazione il bambù si dimostra, invece, molto più efficiente se confrontato al legno da costruzione tradizionale. Non è un caso infatti che si usi denominare il bambù con appellativi incoraggianti, quali "acciaio vegetale" o "acciaio verde", visto che in alcune prove di resistenza su provini rastremati si è superato il valore di 300 MPa (Tada *et al.*, 2010), sebbene questi possano risultare una forzatura terminologica.

Tabella 2. Resistenze caratteristiche in MPa di alcuni legni strutturali a confronto con il bambù (Pedici: m: flessione; t,0/c,0: trazione/compressione parallela alle fibre; v: taglio).

Tipologia	$f_{m,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{c,0,k}$	$f_{v,k}$	Fonte
C24	24	14	21	2.5	(CNR DT 206-R1, 2018)
D30	30	18	23	3.0	(CNR DT 206-R1, 2018)
Larice/Nord S2	32	19	24	3.2	(CNR DT 206-R1, 2018)
Bambù	30	40	20	2	(Kaminski <i>et al.</i> , 2016)

Il culmo, per via della sua forma e per le sue prestazioni meccaniche si presta molto bene come elemento strutturale per la realizzazione di strutture reticolari (figura 4), come capriate (Sassu *et al.*, 2012) o reticolari spaziali (Albermani *et al.*, 2007). Nei confronti della durabilità, come per tutti i materiali naturali, il bambù non garantisce una resistenza indefinita nel tempo, soprattutto se esposto agli agenti atmosferici e, come il legno, risente fortemente del ritiro igrometrico. Per questo motivo, è bene usare il culmo per strutture al riparo dalla pioggia e dai raggi solari oppure per strutture temporanee progettate per una durata limitata nel tempo. Il ritiro può provocare la rottura dell'elemento per propagazione delle fessure localizzate che possono essere la causa del collasso della struttura (figura 5).



4. Struttura interamente realizzata con culmi di bambù a Vergiate (VA).



5. Effetto del ritiro igrometrico sul culmo e sulla trave di legno.

IL BAMBÙ ITALIANO COME MATERIALE DA COSTRUZIONE

In letteratura sono disponibili diverse prove sperimentali sulle caratteristiche meccaniche di bambù originari delle zone tropicali del pianeta, mentre per quelli che crescono nelle zone temperate, come in Europa, i dati sono particolarmente limitati. Nel 2018 è stata condotta un'indagine sperimentale su cinque specie di bambù coltivati in Italia, ovvero la *Phyllostachys bambusoides*, la *Phyllostachys edulis*, la *Phyllostachys iridescens*, la *Phyllostachys violascens* e la *Phyllostachys vivax*. Oltre che per l'origine italiana delle piantagioni, la scelta è stata dettata dalle dimensioni del diametro che queste specie possono assicurare, i cui valori medi sono compresi fra i 60 e 80 mm, con spessori di parete che vanno dai 3 ai 7 mm (in Italia culmi di maggiore grandezza sono di difficile reperibilità). Le prove sono state effettuate presso l'Università di Bologna e l'Università Politecnica delle Marche ad Ancona. Sono state eseguite prove di compressione e prove di trazione secondo gli standard attualmente in vigore (ISO 22157: 2019) per la valutazione sia della tensione di rottura del materiale che del modulo di elasticità. I risultati sono riportati in Tabella 3.

È evidente che la resistenza meccanica e la rigidezza dei bambù italiani sono del tutto confrontabili con quelli del bambù di origine tropicale: la differenza di resistenza a compressione è minima rispetto alla *Guadua angustifolia*, specie strutturale per antonomasia (Tabella 4). Inoltre, se si paragonano i valori di resistenza di una stessa specie, per esempio la *Phyllostachys edulis*, che è presente sia in Italia che in Oriente dove è molto usata nelle costruzioni delle impalcature (Chung & Yu, 2002), si evince che i culmi cresciuti nel nostro Paese hanno una resistenza media alla rottura per compressione molto simile a quella dei bambù provenienti da altre parti del Mondo.

I risultati di un'ulteriore caratterizzazione del materiale bambù come materiale anisotropo (coefficienti di Poisson), anche nel confronto con il legno, è in corso di pubblicazione (Mentrasti *et al.*, 2020).

Tabella 3. Resistenze e moduli di elasticità medi delle specie italiane analizzate (Pedici: t,0/c,0: trazione/compressione parallela alle fibre) (Molari *et al.*, 2020).

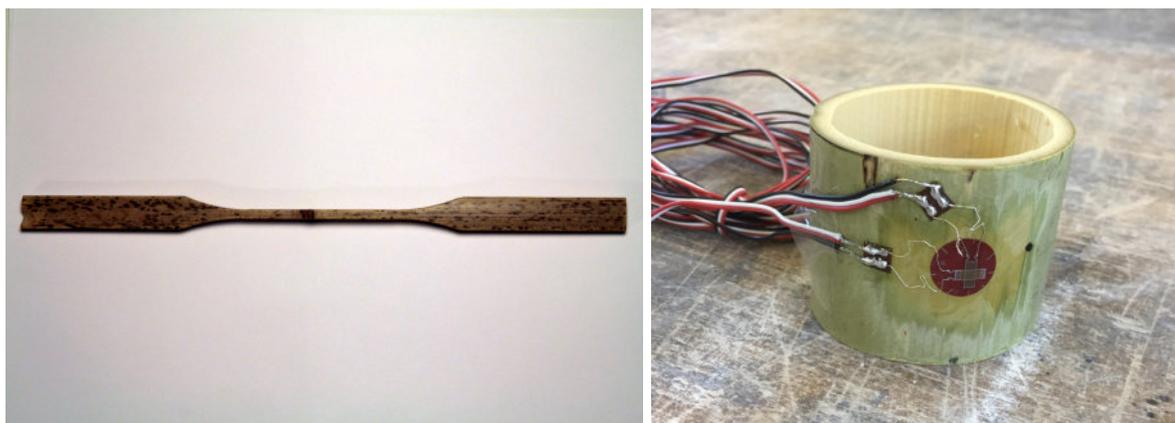
Specie	$f_{c,0,m}$ [MPa]	$E_{c,0,m}$ [GPa]	$f_{t,0,m}$ [MPa]	$E_{t,0,m}$ [GPa]
<i>Phy. bambusoides</i>	80.4	20.3	220.3	21.8
<i>Phy. edulis</i>	68.7	14.0	193.5	15.2
<i>Phy. iridescens</i>	80.1	21.9	229.4	18.2
<i>Phy. violascens</i>	59.5	16.3	148.9	18.2
<i>Phy. vivax</i>	64.3	17.4	188.8	14.9

Tabella 4. Resistenze e moduli di elasticità medi di due specie per usi strutturali (Pedici: t,0/c,0: trazione/compressione parallela alle fibre).

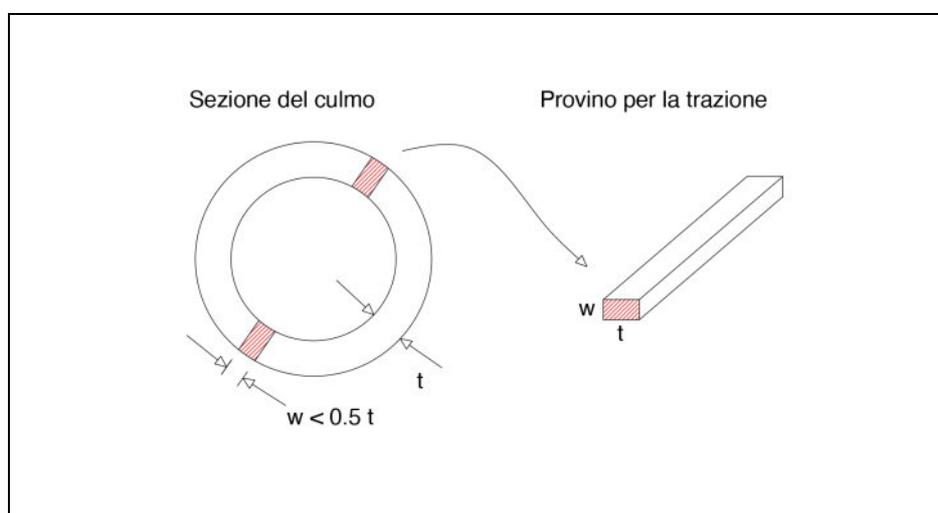
Specie	$f_{c,0,m}$ [MPa]	$E_{c,0,m}$ [GPa]	$f_{t,0,m}$ [MPa]	$E_{t,0,m}$ [GPa]	Fonte
<i>Gua. angustifolia</i>	56	18.4	95	20.7	Minke, 2012
<i>Gua. angustifolia</i>	-	-	108/163	17.6/20.2	Cely Moreno <i>et al.</i> , 2012
<i>Gua. angustifolia</i>	68	20.7	-	-	Lorenzo <i>et al.</i> , 2020
<i>Phy. edulis</i>	75	7.8	-	-	Chung <i>et al.</i> , 2002
<i>Phy. edulis</i>	56	-	154.2	-	Shao <i>et al.</i> , 2010

NUOVE PROCEDURE PER LE PROVE A TRAZIONE PER I CULMI DI PICCOLA E MEDIA DIMENSIONE

Le prove a trazione, fatte su provini rastremati (figura 6), sono più complesse da eseguire rispetto alle prove a compressione che vengono invece eseguite su provini cilindrici (figura 7). La forte variabilità del numero delle fibre tra la parte più esterna e quella più interna del provino, come pure la differente aderenza offerta da queste superfici (la faccia esterna è ricoperta da un naturale strato cerato che rende il bambù impermeabile all'acqua e protetto dagli insetti, mentre la faccia interna è molto deformabile) influenzano i risultati sulla resistenza del materiale. Inoltre, dato che la resistenza trasversale offerta dal bambù risulta estremamente ridotta e dato che il provino presenta una lieve curvatura per via della naturale forma del culmo, a volte la prova a trazione viene inficiata dal prematuro schiacciamento delle zone di estremità del provino. La norma ISO 22157: 2019 porta miglioramenti nell'ambito dell'esecuzione delle prove a trazione sul bambù in quanto suggerisce di usare listelli come mostrato in figura 8. Ma per culmi di media e piccola dimensione, come appunto quelli di origine italiana, si è riscontrata una sostanziale difficoltà nel preparare i provini come consigliato dalla norma: ad esempio, un culmo di diametro pari a 50 mm generalmente ha uno spessore della parete di circa 4 mm, quindi il valore di w dovrebbe risultare inferiore ai 2 mm, misura non facile da rispettare senza l'utilizzo di sofisticati strumenti di taglio.

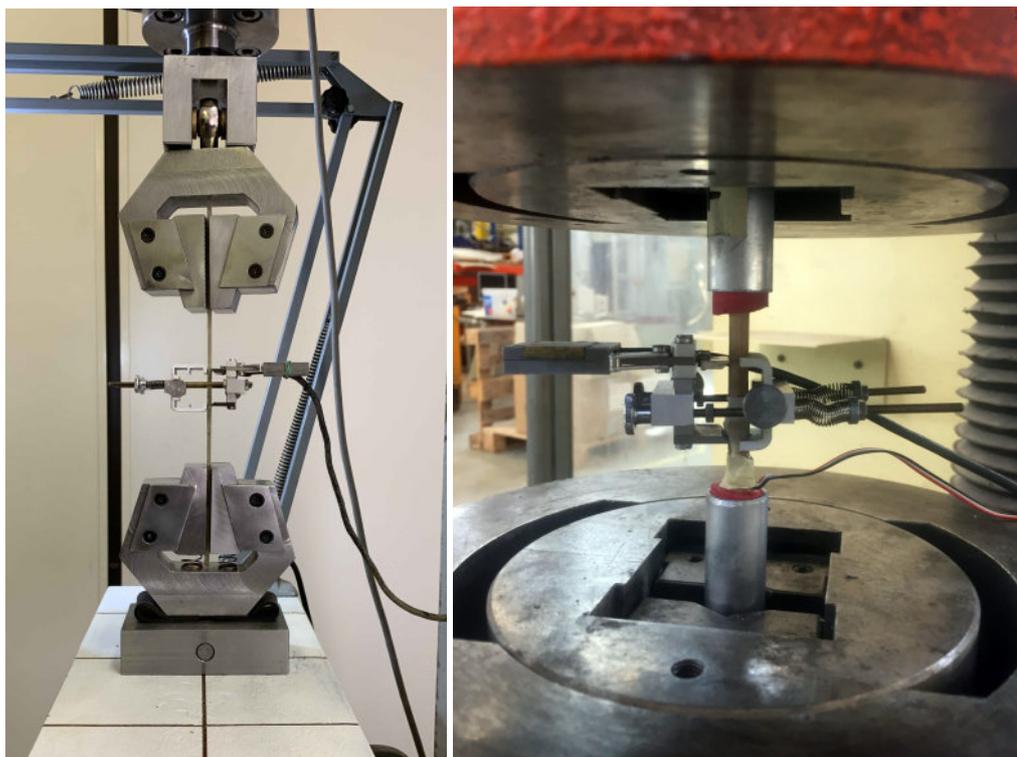


6. Provini rastremati di bambù per le prove a trazione.
7. Provino cilindrico di bambù per la prova a compressione.



8. Dimensioni e geometria del provino per la prova a trazione secondo ISO 22157: 2019.

In questo studio, per le prove a trazione sono state progettate due procedure alternative che mitigassero i limiti sopra descritti, sempre con provini a forma di parallelepipedo (molto semplici da ottenere per *splitting*). Nella prima, i campioni sono ammorinati alla macchina di prova tramite un sistema di afferraggi appositamente realizzati: questo sistema limita notevolmente la compressione trasversale sulle pareti del provino e permette la rotazione delle ganasce, assecondando le imperfezioni geometriche e di forma del provino di bambù durante la prova (figura 9). Nella seconda procedura le estremità del campione sono annegate in tubi metallici con resina epossidica, che consente di assorbire i danni dovuti agli afferraggi della macchina prova materiali tradizionale (figura 10).



9. Afferraggi appositamente progettati per la prova a trazione.

10. Prova a trazione con il provino cilindrico con le estremità annegate in tubi metallici riempiti di resina epossidica.

LA NORMATIVA TECNICA

L'uso del bambù nel campo dell'ingegneria civile è attualmente frenato dalla mancanza di standard nazionali e europei che possano guidare architetti ed ingegneri nell'uso del materiale e nella progettazione e verifica degli elementi strutturali. La disponibilità di norme tecniche nazionali di riferimento è un passo indispensabile affinché il bambù possa essere recepito e considerato un materiale strutturale al pari del legno, dell'acciaio e del calcestruzzo armato.

Attualmente sono in vigore diverse norme tecniche ISO per il bambù strutturale. Un aggiornamento della ISO 22156 *Bamboo - Structural design* (in fase di approvazione) definisce le modalità di progettazione e verifica dei culmi, mentre la ISO 22157 *Bamboo structures - Determination of physical and mechanical properties of bamboo culms* definisce le modalità per la determinazione delle proprietà fisiche e meccaniche del culmo. La ISO 19624 *Bamboo structures - Grading of bamboo culms*, pubblicata nel 2018, ha lo scopo di definire le procedure per la valutazione dei culmi attraverso prove non distruttive. La ISO 21625

Vocabulary related to bamboo and bamboo product ha, invece, il compito di definire la terminologia esatta relativa al bambù e ai suoi prodotti industriali. Per quanto riguarda il bambù lamellare in particolare, ci sono due norme ISO in corso di pubblicazione: la ISO 23478 *Bamboo structures - Glued laminated bamboo* e la ISO 5257 *Engineered bamboo composites*.

Attualmente non esistono in Europa norme armonizzate che permettono la certificazione CE dei prodotti strutturali in bambù. Per questo motivo, si sta lavorando sulla realizzazione di una nuova norma UNI che riguarda la caratterizzazione meccanica del culmo come materiale da costruzione.

IL BAMBÙ LAMELLARE COME MATERIALE STRUTTURALE DEL FUTURO

Attualmente il bambù riscuote un grande interesse perché è un materiale altamente rinnovabile (alcune specie crescono anche 1 m al giorno) ed adatto alla realizzazione di un numero crescente di oggetti quotidiani (tessuti, oggetti per la casa e l'arredamento, alimenti, finiture, parquet, biciclette, e molto altro). Per sfruttare al meglio questo materiale nell'ambito strutturale lo si potrebbe trasformare in un prodotto ingegnerizzato: il bambù lamellare. Come per il legno, è un prodotto che permetterebbe di mantenere la notevole resistenza meccanica (Tabella 5), evitando le variabilità meccaniche e le limitazioni geometriche del culmo naturale.

Tabella 5. Proprietà fisiche e meccaniche medie di due prodotti di bambù ingegnerizzato. La densità ρ in kg/m^3 , le resistenze in MPa, i moduli di elasticità E in GPa (Pedici: m: flessione; t,0/90: trazione parallela/perpendicolare alle fibre; c,0/90: compressione parallela/perpendicolare alle fibre; v: taglio).

Tipologia	ρ	$f_{c,0}$	$f_{c,90}$	$f_{t,0}$	$f_{t,90}$	f_v	f_m	E_m	$E_{t,0}$	Fonte
LBL	686	77	22	90	2	16	80	12	-	(Sharma <i>et al.</i> , 2015)
Glubam	890	51	-	82	-	-	99	-	10.4	(Xiao <i>et al.</i> , 2013)

Il bambù lamellare si ottiene suddividendo il culmo longitudinalmente (*splitting*) in strisce che poi vengono sagomate con lavorazioni meccaniche in modo da ottenere lamelle rettangolari e rettilinee. Successivamente le lamelle vengono incollate tra di loro con resine, colle naturali o altri procedimenti, formando elementi strutturali come travi e pilastri, di forma, sezione e geometria qualsiasi. In generale, questa tipologia di prodotto è conosciuta come *LBL (Laminated Bamboo Lumber)* (figura 11). Tuttavia questa non è l'unica soluzione per il bambù ingegnerizzato. Il *Glubam* (Xiao *et al.*, 2013) il cui nome è un chiaro richiamo al *glulam (Glued Laminated Timber)*, è un prodotto che si ricava dal bambù per realizzare elementi strutturali: a differenza del LBL, le lamelle vengono prima accostate tra loro e legate per formare una sorta di stuoia (*curtain*) dello spessore di circa 2-3 mm; ogni stuoia così creata viene incollata ad altre formando un elemento dello spessore di circa 30 mm, lungo 2440 mm e largo 1220 mm. Questo è l'elemento di base che può essere tagliato, sagomato, incollato ad altri per creare travi, pilastri e piastre. Di recente è stata dimostrata la validità di questo sistema attraverso la realizzazione di una copertura all'ingresso di un edificio universitario in Cina (Quaranta *et al.*, 2019). In Italia è stata costruita una passerella pedonale interamente in bambù lamellare per l'accesso al Triennale Design Museum. L'opera è stata progettata dall'architetto Michele De Lucchi e realizzata da *Arch Legno (Albertani Corporates S.p.A.)*. Dalle prove sperimentali di laboratorio è emerso che la resistenza del materiale era paragonabile a quella del legno lamellare in abete (Cardenas, 2008).



11. Particolare di un elemento in bambù lamellare.

Grazie alla sua elevata rinnovabilità, il bambù lamellare è un prodotto strutturale che è decisamente più competitivo rispetto al legno. Per comprendere meglio il grado di rinnovabilità del bambù si consideri che con la coltivazione di un ettaro di foresta di bambù si riesce annualmente a ricavare il quantitativo necessario per edificare una casa di media grandezza (175 m²), mentre se si usasse una foresta di alberi comuni si riuscirebbe ad edificare lo stesso edificio non ogni anno ma ogni 4 anni (De Flander & Rovers, 2009).

Per contro, il confezionamento del lamellare di bambù richiede l'utilizzo di un maggior quantitativo di colla o resina, stante le minori dimensioni dei listelli componenti rispetto al legno. Tuttavia, il valore della resistenza a flessione degli elementi in bambù lamellare è sensibilmente più elevato rispetto a quella del legno lamellare (Sharma *et al.*, 2015): ciò permette una riduzione delle sezioni delle membrature in bambù lamellare con il risultato finale di arrivare ad un miglioramento complessivo netto della sostenibilità del sistema strutturale.

CONSIDERAZIONI FINALI

Nell'ambito dell'ingegneria civile, il bambù è un materiale strutturale potenzialmente valido perché, oltre alle sue buone prestazioni meccaniche, è anche un materiale a basso impatto ambientale ed altamente rinnovabile. Esso può essere usato in vari modi, sia nella sua forma naturale, sfruttando la sua geometria e la sua leggerezza per strutture temporanee protette dagli agenti atmosferici, sia in una forma ingegnerizzata come il bambù lamellare. Il bambù lamellare è un materiale che coglie le buone prestazioni meccaniche della pianta e minimizza le criticità legate alla forma e alla durabilità del culmo.

Dalle prove effettuate di recente, è stato dimostrato che il bambù coltivato in Italia è tanto performante quanto quello tropicale, che da tempo indefinito è usato come materiale da costruzione. Quindi i bambù coltivati in Italia potrebbero essere

impiegati nel campo delle costruzioni civili sia come culmi, sia come materiale per la produzione di prodotti ingegnerizzati. Attualmente diverse norme ISO sono dedicate all'impiego del bambù come materiale strutturale, ma non esistono ancora norme armonizzate europee. Attualmente si sta lavorando alla redazione di una norma UNI che prevede innanzitutto la caratterizzazione del culmo di bambù come materiale da costruzione. La disponibilità di norme tecniche nazionali di riferimento sarà un passo decisivo per guadagnare familiarità con le applicazioni dei culmi e del bambù ingegnerizzato nell'ambito strutturale e renderlo così un materiale al pari di quelli tradizionali.

BIBLIOGRAFIA | REFERENCES

- Albermani F, Goh GY, Chan SL. *Lightweight bamboo double layer grid system*. Engineering Structures, 29, 2007.
- Canavan S, Richardson DM, Visser V, Le Roux JJ, Vorontsova MS, Wilson JR. *The global distribution of bamboos: assessing correlates of introduction and invasion*. AoB Plants, 9(1), 2017.
- Cardenas LM. *Il bambù come materiale da costruzione*. Esselibri, Napoli. 2008.
- Cely Moreno LA, Hernandez Rojas WG, Gutierrez Junco OJ. *Caracterización de la Guadua angustifolia kunth cultivada en Miraflores (Boyacá) de acuerdo con la NSR-10*. Revista Facultad de Ingeniería UPTC, 21, 2012.
- Chung KF, Yu WK. *Mechanical properties of structural bamboo for bamboo scaffoldings*. Engineering Structures, 24, 2002.
- Consiglio Nazionale delle Ricerche. *DT 206 - Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di Legno*. Roma, 2018.
- De Flander K, Rovers R. *One laminated bamboo-frame house per hectare per year*. Construction and Building Materials, 23(1), 2009.
- Kaminski S, Trujillo DJA, Lopez LF. *Structural use of bamboo: Part 3*. The Structural Engineering, 12, 2016.
- Liese W. *The anatomy of bamboo culms*. INBAR, Pechino. 1997.
- Lorenzo R, Mimendi L, Godina M, Li H. *Digital analysis of the geometric variability of Guadua, Moso and Oldhamii bamboo*. Construction and Building Materials, 236, 2019.
- Lorenzo R, Godina M, Mimendi L, Li H. *Determination of the physical and mechanical properties of moso guadua and oldhamii bamboo assisted by robotic fabrication*. Journal of Wood Science, 66, 2020.
- Mentrasti L, Molari L, Fabiani M. *Poisson's ratio bounds in orthotropic materials. Application to natural composites: wood, bamboo and Arundo donax*. Composite: Part B (in corso di pubblicazione), 2020.
- Minke G. *Building with bamboo*. Birkhauser, Basilea. 2012.
- Molari L, Mentrasti L, Fabiani M. *Mechanical properties of five species of Italian bamboo*. Structures, 24, 2020.
- Nogata F, Takahashi H. *Intelligent functionally graded material: bamboo*. Composites Engineering, 5(7), 1995.
- Quaranta G, Demartino C, Xiao Y. *Experimental dynamic characterization of a new composite glulam-steel truss structure*. Journal of Building Engineering, 25, 2019.
- Sassu M, Andreini M, De Falco A, Giresini L. *Bamboo trusses with low cost and high ductility joints*. Open Journal of Civil Engineering, 2, 2012.
- Shao ZP, Zhou L, Liu YM, Wu ZM, Arnaud C. *Differences in structures and strength between internode and node sections of moso bamboo*. Journal of Tropical Forest Science, 22(2), 2010.
- Sharma B, Gatò A, Bock M, Ramage M. *Engineered bamboo for structural applications*. Construction and Building Materials, 81, 2015.
- Siviero E, Benedetti A. *La concezione strutturale nel progetto di architettura*. Editrice Compositori, Bologna. 2002.
- Tada T, Hashimoto K, Shimabukuro A. *On characteristics of bamboo as structural materials. Challenges, Opportunities and Solutions in Structural Engineering and Construction*, 2010.
- Xiao Y, Yang RZ, Shan B. *Production, environmental impact and mechanical properties of glulam*. Construction and Building Materials, 44, 2013.