

# XLI CONFERENZA ITALIANA DI SCIENZE REGIONALI

## IL BAMBU' COME RISORSA COSTRUTTIVA: TECNOLOGIA, ECONOMIA E PROCESSI PRODUTTIVI DI UNA RISORSA ECOSOSTENIBILE

Ruggero Todesco<sup>1</sup>

### SOMMARIO

La principale sfida per lo sviluppo di soluzioni improntate ad una green economy consiste nel creare delle alternative tecnologiche alle metodologie costruttive tradizionali la cui scelta appaia economicamente vantaggiosa, oltre che preferibile per motivi meramente ideologici. Fattori primari nella determinazione del costo finale di un prodotto sono la disponibilità delle materie prime necessarie a realizzarlo e, nel caso di materiali edili come il legno, il tasso di *replenishment* della risorsa. Lo sviluppo sostenibile del settore edilizio può avvenire, quindi, anche grazie alla scelta di soluzioni che permettano un adeguato rinnovo delle materie prime ad un costo contenuto sia in termini temporali che economici.

Un materiale adatto per il raggiungimento di tali obiettivi è senza dubbio il bambù, pianta a rapidissima crescita e dotata di una cospicua biomassa, che possiede notevoli prestazioni meccaniche e che è già ampiamente conosciuta ed utilizzata quale risorsa costruttiva per l'architettura tradizionale in quelle aree del mondo nelle quali le molteplici specie di tale pianta sono endemiche. Lo studio propone una comparazione delle caratteristiche fisiche, meccaniche ed economiche tra le tecnologie costruttive che utilizzano il bambù ed altri più diffusi materiali da costruzione, evidenziando, inoltre, come la risorsa studiata possa prestarsi a processi di serializzazione per la produzione su larga scala, quali vantaggi offra in termini di riduzione dell'inquinamento e quali siano le prospettive di riutilizzo dei materiali edili a base di bambù al termine del proprio ciclo vitale.

---

<sup>1</sup> Messina, e-mail: [ruggero.todesco@libero.it](mailto:ruggero.todesco@libero.it).

## 1. Introduzione

L'impulso all'edificazione, che è stato interessato da un incremento esponenziale negli ultimi decenni, per lungo tempo non ha contemplato la valutazione dell'impatto che l'azione del costruire produce sull'ambiente circostante. Solo negli ultimi anni è stata posta, in alcuni paesi in particolar modo, particolare enfasi alla ricerca di soluzioni tecnologiche che possano permettere uno sviluppo edilizio in armonia con l'*environment*, specie mediante l'adozione di piani strategici volti a rendere competitive le soluzioni costruttive che minimizzano l'impronta lasciata dalle attività umane. Tuttavia, essendo tutti i prodotti edili immersi in un sistema di libero mercato, la maggiore o minore diffusione di una tecnologia costruttiva dipende da tutti quei fattori che contribuiscono a diminuirne od aumentarne il costo: esso sarà dunque determinato in funzione della disponibilità delle materie prime necessarie per la manifattura dei prodotti edili finiti, della durata nominale del loro ciclo vitale, delle tempistiche di posa in opera, del grado di facilità ed economicità delle lavorazioni delle materie prime ed infine da un fattore prettamente culturale, in massima parte dovuto alla familiarità delle maestranze con la tecnologia in questione. Un materiale che si dimostra estremamente promettente nel costituire una risorsa economicamente vantaggiosa ed ecosostenibile è senza dubbio il bambù, pianta a rapidissima crescita e dotata di una cospicua biomassa, che possiede notevoli prestazioni meccaniche e che è già ampiamente conosciuta ed utilizzata quale risorsa costruttiva per l'architettura tradizionale in quelle aree del mondo nelle quali le molteplici specie di tale pianta sono endemiche.

## 1. La Pianta

I bambù sono una tribù (Bambuseae) di piante sempreverdi monocotiledoni appartenenti alla famiglia delle Poaceae, a portamento cespuglioso, la cui dimensione può variare dai 30 centimetri delle varietà nane agli oltre 40 metri delle specie giganti. Si stima che, attualmente, vi siano al mondo oltre 1200 specie diverse di tale pianta ma, poiché la determinazione della specie non può prescindere dall'osservazione delle infiorescenze, che solitamente si manifestano dopo cicli pluridecennali di crescita, non è possibile determinare l'esatto numero di varietà di bambù. L'areale di crescita ottimale di questa pianta è nelle zone temperate tropicali e subtropicali di tutti i continenti, dal livello del mare fino a 3000 m d'altezza: in Asia sono presenti circa un migliaio di specie autoctone, delle quali circa 300 nella sola Cina, mentre in Europa trova diffusione soltanto nelle coltivazioni. Essa è una pianta infestante, che raggiunge la piena maturità entro il primo anno dalla germinazione; negli anni successivi, durante la primavera, la pianta svilupperà solamente nuovi polloni, rami e foglie attorno al fusto. Peculiarità del bambù è la velocità del ciclo di crescita e l'estrema resistenza: entrambe queste caratteristiche permettono che si rigeneri facilmente anche nel caso subisca gravi danni al fusto o alle foglie. Il bambù è considerato infestante, a causa della facilità di propagazione delle radici.

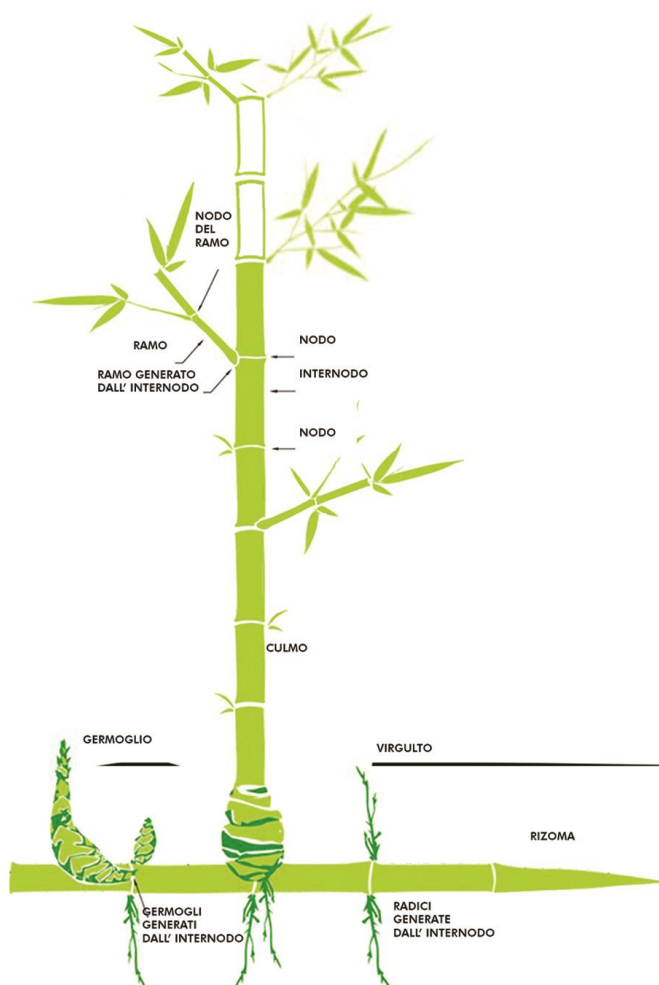


Fig. 1- Anatomia della pianta di bambù. Fonte: Elaborazione dell'autore

## *1.1 Anatomia*

Le parti costitutive del bambù sono: radici, culmo e i rami. I rizomi sono radici tuberose e sono di due tipi: monopodiale e simpodiale, con differente tipo di sviluppo. I rizomi monopodiali hanno uno sviluppo reticolare invasivo ad andamento orizzontale: crescono velocemente e contribuiscono al contenimento del suolo; ad ogni internodo contengono una gemma da cui potrà svilupparsi sia un nuovo rizoma che un culmo: molte delle specie presenti nella regione settentrionale o temperata, hanno questo tipo di rizoma come ad esempio, la specie *Phyllostachys*, *Arundinaria*. I rizomi simpodiali si sviluppano in maniera uniforme sviluppando nuovi culmi ravvicinati con andamento concentrico e non invasivo come nel caso dei bambù tropicali, meno invasivi, quali *Bambusa*, *Guadua* e *Dendrocalamus*. Il culmo si origina dal rizoma ed è suddiviso in sezioni delimitate da punti di giunzione detti nodi. Il diametro che il culmo raggiunge nelle prime 4-8 settimane resterà immutato anche in età adulta poiché i bambù: nel tempo, però, varierà la struttura della parete interna del culmo che diventerà più spessa e densa. L'altezza dei culmi può variare tra i 30 cm e i 35/40 m - è la specie *Guadua* a raggiungere questa straordinaria altezza- il diametro del fusto oscilla tra 5 e 12 cm e lo spessore può essere anche di 3 cm. I rami nella maggior parte dei casi si sviluppano solo quando il culmo ha raggiunto la sua altezza massima e in relazione alle varietà di bambù si trovano solo nella parte apicale o lungo tutto il fusto. Le foglie sono lanceolate con forma e dimensioni che variano a seconda della specie costituiscono un ottimo foraggio e possono essere adoperate per la pacciamatura e concimazione del terreno grazie all'elevato contenuto di silicio sono usate inoltre in farmacopea e cosmetica ed anche per scopi eduli.

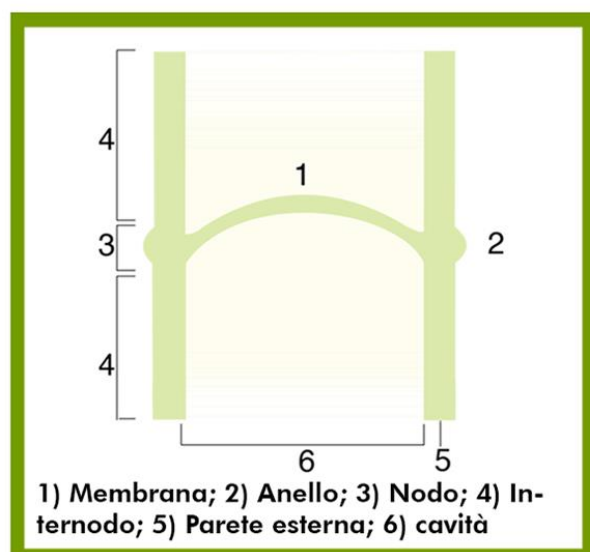
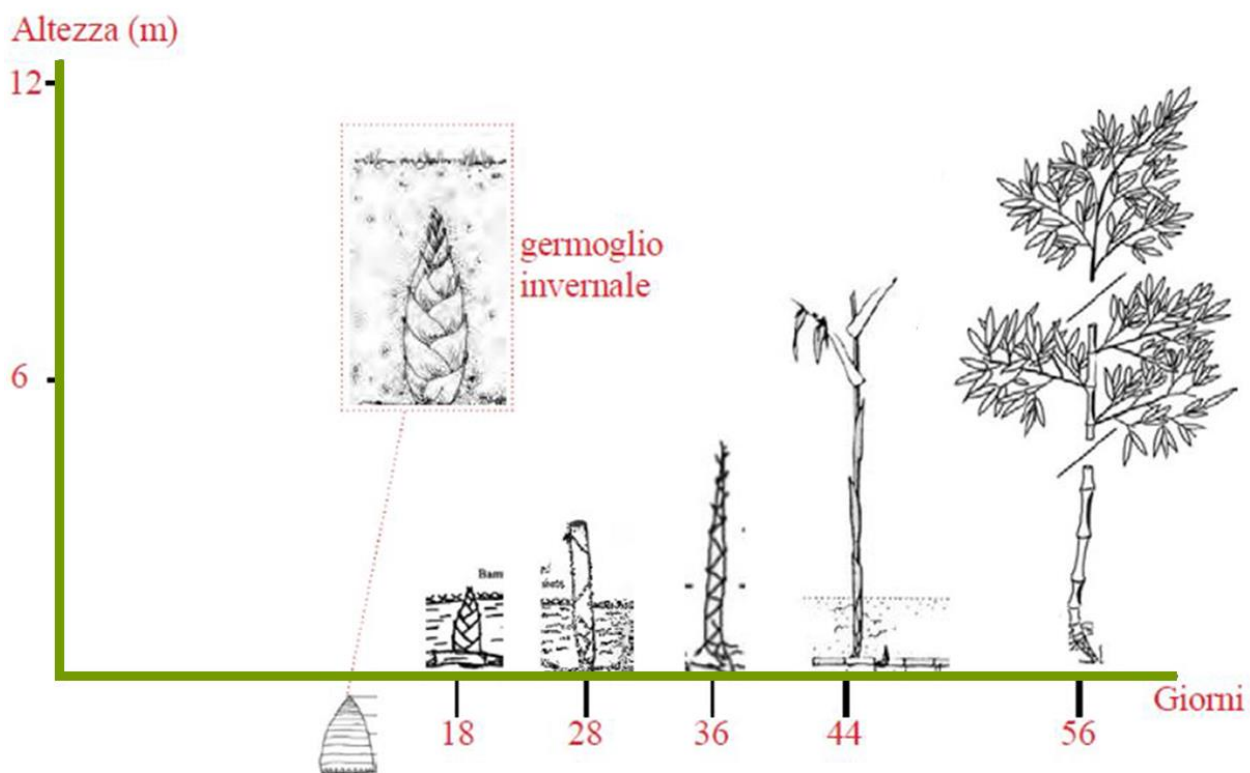


Fig. 2 – Sezioni della pianta. Fonte: cfr. Sitografia

## 1.2 Struttura microscopica

Il fusto del bambù sotto il profilo strutturale presenta caratteristiche di resistenza e rigidità grazie alle fibre composte da cellulosa e lignina che contiene. Sono allocate nel parenchima, e costituiscono il tessuto di sostegno -o sclerenchimatico - della pianta. Le fibre sono organizzate in microtubuli (diam. di 0,03 mm; lung. 3,5 mm) la cui parete esterna (sp. 0,006 mm) è formata da sette strati di lamelle ognuno dei quali è composto da fibrille di cellulosa. Le fibrille sono differenziate a seconda del loro orientamento: quelle parallele all'asse longitudinale della fibra sono dette verticali ed hanno un'inclinazione compresa tra  $0^\circ$  e  $20^\circ$ ; quelle definite spirali sono perpendicolari all'asse longitudinale della fibra ed hanno un'inclinazione compresa tra gli  $85^\circ$  e i  $90^\circ$ : il modulo di Young delle fibrille è di 140 GPa, per comparazione il modulo  $Y$  dell'acciaio è di 210 GPa. Analizzando la sezione trasversale del culmo si notano nel parenchima piccole zone di colore più scuro, i fasci cribro vascolari, formati dalle fibre che avvolgono il tessuto vascolare della pianta che assolvono la funzione di trasporto del nutrimento. La corteccia esterna della canna di bambù si compone di un doppio strato di cellule di colore più scuro dovuto all'alto contenuto di silicio che ne aumenta la durezza e protegge la pianta da agenti esterni quali funghi e xilofagi.

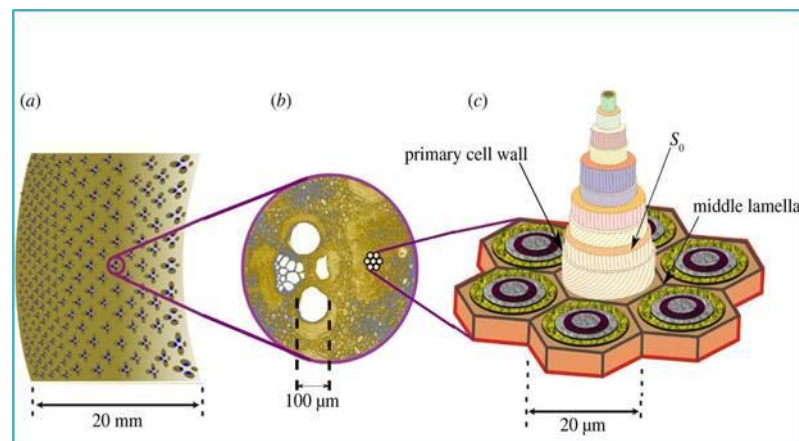


Fig. 3- Struttura microscopica della pianta di bambù. Fonte: cfr. Sitografia

### *1.3 Caratteristiche fisiche e meccaniche*

Le proprietà meccaniche del bambù sono in diretta relazione con le sue proprietà fisiche e sono peculiari per ogni specie.

La densità del bambù varia tra i 500 ed i 900 Kg/m<sup>3</sup>, aumenta radialmente e sappiamo che è determinata in relazione alla quantità di fibre di lignina presenti al suo interno. Le fibre hanno maggiore densità all'apice.

La resistenza è influenzata da alcuni parametri quali: l'età della pianta, che raggiunge le massime prestazioni meccaniche tra i 3 e i 5 anni; la densità, direttamente proporzionale alla resistenza; la posizione lungo il culmo, che determina una variazione della resistenza meccanica poiché la densità delle fibre aumenta dal basso verso l'alto e l'umidità interna, che aumentando ne diminuisce proporzionalmente la resistenza. Ognuna delle variabili elencate influenza le caratteristiche meccaniche, unitamente al fatto che ci troviamo dinanzi ad un materiale igroscopico, soggetto a variazioni che dipendono da diversi fattori quali l'umidità o l'aridità dell'ambiente circostante ed alla quantità di amido contenuta nella pianta, che è un indicatore della percentuale di acqua che si trova all'interno. Dopo il taglio del culmo le cellule espellono l'amido che si trova al loro interno e lo sostituiscono con la lignina, che aumenta la resistenza del materiale, ma tale processo inizia dopo lo svuotamento degli spazi interstiziali del parenchima entro i quali sono contenute altre riserve di zuccheri. La sostituzione dell'amido con la lignina non è quindi immediata e costituisce un vulnus per il materiale perché lo rende aggredibile da agenti deterioranti quali xilofagi, funghi e muffe. La condizione ottimale per esprimere al meglio le qualità meccaniche del materiale, si ottiene al punto di equilibrio quando non si registra perdita o assorbimento di acqua.

Per definire le caratteristiche meccaniche di questo materiale occorre tenere conto che si tratta di un materiale anisotropo, il cui comportamento varia al mutare del sistema di sollecitazione e dipende dalle caratteristiche differenti per ogni varietà di bambù.

In generale sappiamo che ha un diverso comportamento alla trazione e alla compressione, a seconda che sia sottoposto a sollecitazione parallela al senso delle fibre o ortogonalmente ad esse, ed anche il modulo di elasticità longitudinale varia in funzione della maniera nella quale è caricato. Dall'analisi di diversi studi è stato possibile ricavare utili analisi sulle ulteriori proprietà meccaniche del bambù. A esempio, nel caso di utilizzo come materiale da costruzione per le travi, ciò influisce sulla diminuzione dei carichi permanenti in virtù della sezione cava e della diversa densità rispetto al legno, anche se non diminuisce in maniera significativa la resistenza a compressione rispetto ad esso. Di seguito si riportano le caratteristiche meccaniche tratte dalle sperimentazioni condotte in "Physical, chemical and mechanical properties of bamboo" (Li X. 2004).

Tabella 1 – Variazioni dei moduli di resistenza e elasticità in base all'altezza e all'età.

Anno	Altezza	SG	MOR(Mpa)	MOE(MPa)
UNO	Base	0,49	110,3	7770
	Centro	0,53	119,3	8680
	Sommità	0,54	117,2	8929
TRE	Base	0,70	151,0	10039
	Centro	0,71	151,7	10122
	Sommità	0,72	160,6	10397
CINQUE	Base	0,75	186,2	13162
	Centro	0,78	184,8	13410
	Sommità	0,76	183,4	13307

Tabella 2 – Variazioni della resistenza longitudinale e tangenziale in base all'altezza e all'età.

Anno	Altezza	SG	Longitudinale		Tangenziale	
			fc (MPa)	Ec (MPa)	fc (MPa)	Ec (MPa)
UNO	Base	0,49	47,0(2,4)	2067 (339)	14.8 (1.1)	277 (61)
	Centro	0,53	50,9(3,1)	2776 (362)	16.0 (1.2)	254 (71)
	Sommità	0,54	55,7(3,8)	3658 (464)	17.4 (0.5)	359 (75)
TRE	Base	0,70	86.8 (1.8)	4426 (491)	33.0 (1.5)	535 (101)
	Centro	0,71	83.9 (2.8)	4428 (305)	29.8 (3.2)	456 (98)
	Sommità	0,72	84.0 (3.3)	4660 (451)	33.8 (1.2)	606 (80)
CINQUE	Base	0,75	93,6(3,6)	4896 (116)	34.1 (2.0)	533 (98)
	Centro	0,78	86.6 (3.5)	4980 (262)	33.6 (3.0)	527(55)
	Sommità	0,76	85.8 (5.3)	5185 (330)	35.3 (2.1)	552 (81)



#### *1.4 Coltivazione*

La coltivazione della pianta per scopi edili è influenzata dalla specie e dal portamento della stessa, tuttavia vi sono dei caratteri comuni a tutte le specie che nascono da esigenze condivise: il range di piovosità che determina una crescita ottimale della pianta varia nella maggior parte dei casi tra i 1000 ed i 1500 mm annui di pioggia, il terreno dovrà garantire un adeguato drenaggio per evitare la marcescenza delle radici ed il pH ottimale dev'essere 5.5, valore al quale le piante assimilano meglio le sostanze nutritive e che può essere raggiunto mediante l'utilizzo di prodotti chimici quali carbonato di calcio o solfato di calcio e la temperatura media dev'essere di almeno 15-20°C. Nel manuale delle linee guida per la coltivazione a bassa quota del bambù stilato per il ministero dell'agricoltura e lo sviluppo rurale dell'Etiopia da UNIDO si raccomanda il trapianto delle piante germinate alle intersezioni di una griglia di 7 x 7 m, equivalenti a 204 piante per ettaro per assicurare uno sviluppo intensivo ed economicamente vantaggioso mantenendo al contempo un agevole passaggio dei mezzi e degli operatori per la raccolta del materiale e garantendo altresì i requisiti di sicurezza dati dalla difficoltà di propagazione di un eventuale incendio. Va notato che tale studio parte però dalla definizione di un layout di coltivazione a specie consociate e che tale spaziatura, a seconda delle specie e degli utilizzi, può essere ridotta a 6 x 6 m o 5 x 5 m, rispettivamente 256 e 400 piante individuali per ettaro, mantenendo comunque i requisiti di agevolezza e sicurezza.

## 2. Le lavorazioni ed i processi produttivi

### 2.1. *Trattamento conservativo*

Confrontando la durata del bambù con la maggior parte dei legni, appare evidente il gap di durata. Tale inconveniente è dovuto essenzialmente a due peculiarità proprie della pianta: la carenza di sostanze preservanti naturali che sono invece presenti nella maggior parte dei legni e la struttura cava del fusto. La mancanza di preservanti naturali rende il culmo facilmente aggredibile da funghi o insetti e la presenza di cavità implica che se a causa di questi attacchi subisce la perdita di uno spessore anche minimo (sono sufficienti 2 mm), ne risulta fortemente indebolito. Prima di procedere alle lavorazioni che trasformeranno il materiale grezzo in un prodotto edile occorre dunque rimuovere l'ingente quantità di acqua presente all'interno dei tessuti altamente vascolarizzati della pianta mediante essiccazione ed estrarre gli amidi ed i carboidrati per preservarlo dall'attacco degli agenti biologici. Attualmente, sono conosciuti due metodi per rimuovere le sostanze deperibili dal bambù: la fumigazione, trattamento igrotermico che utilizza il vapore pressurizzato a 20-25 MPa ad una temperatura di 130 °C per circa 6 ore oppure la lisciviazione a 70 – 80 °C nel perossido di idrogeno nel corso di 4 ore. Entrambi i processi sono seguiti da una fase di essiccamento per 24-72 ore assistito col vapore a 50-60°C.

I prodotti chimici di conservazione usati in tali trattamenti ancorché efficaci, sono spesso dannosi per l'ambiente e pericolosi per la salute degli addetti ai lavori, a causa dell'impiego di alcune sostanze particolarmente tossiche come il composto rame-cromo-arsenico, zinco-cromo e creosoti. Tuttavia, se il bambù deve essere utilizzato in progetti su larga scala per l'edilizia, tali reagenti chimici sono inevitabili. Per conciliare l'aspetto di tutela – umana e ambientale- con la necessità di utilizzo di questa risorsa facilmente rinnovabile, si è giunti all'impiego di conservanti a base di boro -acido borico, borace e suoi composti (rame-cromo-boro) che oltre al minor impatto, presentano l'ulteriore vantaggio dell'economicità.

L'utilizzo del boro offre un ulteriore vantaggio perché dopo essere stato usato -anche più volte- nel processo di conservazione, viene miscelato con amido e zucchero ed è utilizzato come fertilizzante per cui, virtualmente, non produce rifiuti. La struttura del bambù è tale da non facilitare il trattamento conservativo poiché lo strato corticale esterno, con il suo alto contenuto di silice che lo rende impermeabile e resistente agli insetti, parimenti impedisce al conservante di penetrare nel culmo e peraltro, anche il lume è rivestito da uno strato ceroso impermeabile. Il conservante quindi, può essere veicolato solamente attraverso il sistema dei vasi linfatici che si chiudono definitivamente entro le 24 ore dopo il taglio: è essenziale quindi, che il processo di conservazione inizi entro tale breve termine per non compromettere la durata complessiva del materiale.

### 2.2 *Elementi strutturali*

Come è possibile evincere dalle numerose sperimentazioni e ricerche prodotte negli ultimi anni, le strutture che sfruttano al meglio le caratteristiche meccaniche del materiale sono quelle nelle quali vengono utilizzati i culmi integri, specialmente se giuntati a formare archi e volte o travi reticolari. In tal modo è possibile usufruire dell'alta resistenza a trazione e compressione del bambù evitando la crisi e la seguente rottura del materiale dovuta a sollecitazioni taglienti troppo elevate. Tuttavia, tale utilizzo dovrà prevedere necessariamente la realizzazione di elementi di giunzione metallici tra i culmi che possano tenere in conto della difficoltà di standardizzazione che si accompagnano all'utilizzo di un materiale "vivo" quale il culmo della pianta e che quindi può presentare differenti diametri e spessori interni delle pareti. E' ipotizzabile quindi, benché sia auspicabile il contrario, che tale utilizzo trovi poca applicazione nell'edilizia comune sul mercato italiano ed europeo, a causa della poca familiarità delle maestranze con tale tecnologia, venendo

quindi utilizzato maggiormente per la realizzazione di coperture di ambienti esterni quali gazebi, tettoie, pensiline o per la costruzione di tensostrutture.

### 2.3 Pannelli lamellari

I culmi integri di bambù, vecchi di 3-5 anni, vengono tagliati secondo l'asse longitudinale in modo da ottenere delle strisce curve dal culmo. Queste vengono poi stese mediante l'utilizzo di una pressa riscaldata che rende piatta la sezione delle strisce di bambù che verranno quindi incollate assieme per formare pannelli di legno lamellare. Occorre notare che, al fine di aumentare le caratteristiche meccaniche dei pannelli è opportuno ruotare di 90° l'orditura delle strisce appiattite di bambù per livellare la differenza di risposta alle sollecitazioni dovuta all'anisotropia del materiale. Come osservato inoltre in *"Processing bamboo for structural composites: Influence of preservative treatments on surface and interface properties"* (Shah et al., 2018) la tipologia di trattamento preliminare, scelto principalmente per ottenere un differente risultato cromatico, influenza il comportamento meccanico del prodotto finito: il bambù lisciviato, pur essendo maggiormente duttile si rivela meno resistente alla flessione ed alla compressione rispetto alla controparte trattata mediante fumigazione e caramellizzazione. I pannelli XLAM di bambù attualmente in commercio presentano tutti uno spessore esiguo, compreso tra i 27,5 ed i 33 mm, essendo lo spessore di un singolo strato approssimativamente 55 mm: ciò comporta una sfida progettuale poiché tali pannelli possiedono un'elevata snellezza. Tuttavia, tali elementi si prestano ad un certo grado di ingegnerizzazione, specie in combinazione con altri legni o nuclei leggeri andando a formare pannelli "sandwich" di maggior spessore, che ne riducono l'instabilità causata dalla snellezza e rigidità degli strati strutturali. Tale tecnologia permette inoltre di essere composta utilizzando le tradizionali giunzioni ampiamente conosciute e sperimentate della tecnologia del legno quali piastre metalliche e viti.

### 2.4 Il processo di estrazione delle fibre

La creazione di pannelli termoisolanti e di finiture in bambù inizia con il processo di estrazione delle fibre, che può essere condotto in tre modalità: meccanica, mediante agenti chimici o attraverso l'utilizzo combinato dei due metodi. Nel primo caso il materiale, trattato per resistere all'azione di agenti xilofagi, viene triturato fino a disgregarne meccanicamente le parti legnose. Esiste un ampio ventaglio di tecniche utilizzabili per estrarre le fibre, che sono tuttavia piuttosto dispendiose per via dell'avanzato grado di tecnologicità dei macchinari usati per produrle e della difficoltà intrinseca della tecnica di estrazione che comporta delle alterazioni nelle caratteristiche fisiche del prodotto lavorato. La disgregazione meccanica può quindi essere condotta mediante l'utilizzo di un mulino a cilindri, di un bagno di vapore, della raffinazione ad alta pressione o di un uso combinato di tali tecniche. Tali metodi hanno il vantaggio di non produrre scorie inquinanti e, quindi, di non dover contemplare i costi aggiuntivi di smaltimento degli scarti nocivi.

I metodi di estrazione mediante agenti chimici più diffusi sono le tecniche di *"retting"* o reticolazione, che prevedono l'azione disgregante di enzimi naturali, sostanze acide o sostanze alcaline mediante l'immersione della materia prima dentro vasche riempite di soluzioni che ne comportino la degradazione fino a produrre una fibra di aspetto simile alla lana di vetro. Come riportato in *"A review on extraction methods of bamboo fiber and banana fiber"* (Shinde et al., 2018) le sostanze maggiormente utilizzate sono l'acido cloridrico per l'estrazione acida e carbonato di sodio per l'estrazione alcalina, mentre per la reticolazione mediante enzimi viene utilizzato un bagno di nitrato di zinco seguito da un'ora di ebollizione. Per l'utilizzo del metodo di estrazione mista vengono consigliati, a seguito dei trattamenti chimici l'utilizzo di un mulino a cilindri o

dello stampo a compressione. A seguito dell'estrazione, le fibre sono pronte per essere lavorate e diventare prodotti edili finiti.



Fig. 4- Fibre di bambù. Fonte: “*Fabrication and Study of Mechanical Properties of Bamboo Fibre Reinforced Bio-Composites*” Banga H. et al (2015)

### *2.5 Pannelli in fibre di bambù*

Dalle fibre estratte si possono produrre un ampio numero di prodotti edili finiti: le fibre vengono pressate ed incollate a caldo ottenendo pannelli ad alta, media e bassa densità. Per la manifattura di questi ultimi (LDF, low density fiberboards) viene utilizzata una colla naturale a base proteica ricavata da ossa animali e, come notato in “Influence of thermo-pressing conditions on insulation materials from bamboo fibers and proteins based bone glue”, all’aumentare della concentrazione di materiale colloso, varia positivamente anche l’impermeabilità all’acqua, non ch  la resistenza meccanica alla flessione ed il comportamento isolante. Tali risultati sembrano promettenti per lo sviluppo di un’alternativa dalla posa veloce, economica e dall’alto potere termoisolante che potrebbe sostituire soluzioni tradizionalmente pi  diffuse ma che comportano rischi per la salute umana, quali la lana di vetro o di roccia, o nocive per l’ambiente, come le schiume poliuretatiche il cui smaltimento presenta costi piuttosto elevati. Dal punto di vista prestazionale i prodotti isolanti in bamb  risultano competitivi con le alternative tradizionali e la loro conducibilit  termica varia tra 0.0598 e 0.082 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>, valori analoghi a quelli della lana di vetro, toccando la massima efficienza a valori di 30% di colla rispetto al peso totale del pannello.

### 3. Economia del bambù

#### 3.1 Introduzione metodologica

Per condurre un'analisi qualitativa e quantitativa dell'economicità del bambù viene ipotizzato un layout di coltivazione della specie di *Oxythenathera Abyssinica* estesa per un ettaro, avente come collocazione geografica la regione Siciliana. Si procede, dunque, all'assunzione di dati certi, desunti dal documento “*Guidelines for Cultivating Ethiopian Lowland Bamboo*” stilato dal Ministero dell'Agricoltura e dello Sviluppo Rurale dell'Etiopia e supervisionato da INBAR, comparando le analogie e le differenze in termini climatici della Sicilia e delle regioni occidentali, climaticamente più simili, dell'Etiopia e desumendo, quindi, le differenti esigenze che si manifestano sul territorio Siciliano. Si procede alla determinazione della produttività per ettaro in termini di tonnellate e per mezzo degli indici aggiornati in tempo reale del valore della materia prima prodotta si desumono le entrate annue. Confrontate con valori di costi di gestione desunti dal prezzario regionale per l'agricoltura della Regione Siciliana si determina il guadagno stimato.

#### 3.2 Ipotesi di caso studio

Il caso studio preso in esame è il territorio Siciliano. La classificazione di Koppen riporta un profilo climatologico Csa, clima temperato caldo mediterraneo a siccità estiva, con temperature medie intorno ai 20°C, una piovosità che oscilla, a seconda delle zone, tra i 700 e gli 800 mm annui ed una piovosità del mese più secco inferiore ad 1/3 di quella del mese più umido. Viene ipotizzato un layout di coltivazione di *Oxythenathera Abyssinica* di 256 cluster, disposti alle intersezioni di una griglia 6 x 6 m, in modo da garantire un adeguato soleggiamento, il passaggio di mezzi e personale e lo spazio necessario per eseguire le operazioni di manutenzione della coltivazione. La pianta prescelta giunge a maturazione in 3-4 anni e sviluppa cluster da approssimativamente 60 culmi, le cui dimensioni sono orientativamente di 10-15 m di altezza per 10 cm di diametro esterno. Non sono riportate variazioni significative nello sviluppo della pianta a seconda della tipologia di terreno sul quale cresce, adattandosi agevolmente sia a terreni sabbiosi, che argillosi che rocciosi, fino ad un'altitudine massima di 4000 m sul livello del mare. Predilige un pH lievemente acido, compreso tra 6.5 ed 8.0 e tollera, nelle regioni in cui è endemica la pianta, pattern incerti di precipitazioni che si assommano a 400-800 mm annui.

#### 3.3 Stima della produzione ed analisi costi-ricavi

Dalle dimensioni medie del culmo è possibile ricavare il volume totale umido in metri cubi generato dai 256 cluster, ovvero il volume di un singolo culmo, ossia 0,0597 metri cubi, moltiplicato per il numero di culmi prodotti annualmente da un ettaro di terreno. Dopo i primi tre anni di crescita, un cluster produce annualmente circa 20 culmi di bambù maturo, la cui raccolta avviene su base semestrale e ciò dà un totale di 305,6 metri cubi di materiale umido. Il peso specifico del bambù varia dai 500 ai 900 kg al metro cubo ed è possibile ricavare dalla tabella riportata da S. Gass la riduzione media in peso tra il prodotto appena raccolto e quello essiccato, cioè circa il 25%. Dall'analisi della composizione chimica del bambù è inoltre possibile calcolare approssimativamente la percentuale variabile, soggetta ad ampie fluttuazioni, di decremento in

peso che subirà la pianta per effetto del trattamento volto a rimuovere amidi e zuccheri e che ne comporterà un dimezzamento in peso. Pertanto è possibile quindi stimare la produzione in materiale secco in 152 tonnellate di materia prima umida il cui peso, una volta essiccate, si ridurrà a 114 tonnellate per subire un ulteriore decremento fino a 57 tonnellate di materia prima utilizzabile per l'edilizia.

Dalle analisi svolte dal fondo monetario internazionale si ritiene che il mercato globale del bambù subisca, nel decennio 2017-2027 un incremento del 14% del proprio valore, grazie ai molteplici usi della pianta che la rendono una risorsa versatile, sia per il settore delle costruzioni, che per quello della produzione di oggettistica, che per gli impieghi dei germogli nel settore agroalimentare. Attualmente, come riscontrato dalla FAO, oltre che in numerosi studi che interessano trasversalmente più discipline, circa 2,5 miliardi di persone nel mondo utilizzano il bambù come fonte di guadagno per la sussistenza: la commodity del bambù è presente su quasi tutti i continenti ed i mercati più ampi sono quello Sud Americano, APAC( Asian Pacific Asian Central), i mercati africani in cui la scarsa meccanizzazione ed industrializzazione non rendono molto profittevole tale risorsa, benché sia coltivata estensivamente e cresca spontaneamente in ampie porzioni del territorio ed, in misura minore, anche in Europa e Nord America, mercati nei quali costituisce però una risorsa di nicchia. Attualmente, confrontando gli indici di prezzo riportati dal ministero delle finanze del Kenya con l'analisi condotta da Future Market Insights *“Bamboos Market: APAC Projected to be the Most Attractive Regional Market During the Forecast Period—Global Industry Analysis 2012-2016 and Opportunity Assessment 2017-2027”* si trova un valore di mercato stimabile, a seconda della fattura della materia prima tra i 900 ed i 3000 dollari per tonnellata. Ipotizzando, dunque, un valore medio tra i due, troviamo la rendita di un ettaro coltivato a bambù in Sicilia in 111150 \$ o 97.500 Euro.

Dal prezzario regionale Siciliano e dall' analisi condotta da Agrireioni *“I numeri chiave delle retribuzioni degli operai agricoli in Italia”* (D'alessio M., 2018) si può altresì ricavare il costo di operatori del settore agricolo prendendo come valore massimo i 1700,70 Euro lordi al mese di un operaio al 7° livello di specializzazione e come valore medio di categoria il valore di 1362,32 Euro, comprensivi di contributi. Ipotizzando la presenza di due lavoratori di media competenza a tempo pieno otteniamo un costo di 32695,68 Euro. Ciò permette di creare una prima stima di massima del ritorno economico di un investimento nella produzione di fibre di bambù: dopo i primi tre anni a produzione 0, i cui costi di gestione ammontano a 98.087,04 Euro, aumentati cautelativamente di un 10% a 107895,75 Euro per includere i costi per i trattamenti erbicidi, raccomandati per un massimo di 4 volte all'anno ed il costo dei fertilizzanti, raccomandati in 10g per litro d'acqua e stimati quindi in 153,600 kg all'anno. Ciò permette di evidenziare come dal quinto anno di attività l'investimento diventi redditizio ed entri a pieno regime dal sesto.

*Tabella 3 – Stima quinquennale della rendita annuale di un ettaro di bambù*

Anno	Spese (Euro)	Entrate (Euro)
UNO	-35.965,25	+0
DUE	-71.930,50	+0
TRE	-107.895,75	+0
QUATTRO	-143.861,00	+98.087,04
CINQUE	-179826,25	+196.174,08

Dal sesto anno in poi ogni ettaro di terreno produrrà una guadagno stimato in 62.121,79 Euro lordi.

## 4. La normativa

### 4.1 Discrepanze tra le prescrizioni normative in Italia ed i dati sperimentali

La normativa italiana non contempla l'utilizzo del bambù come legno strutturale, normando le caratteristiche alla sollecitazione, le metodologie di calcolo per gli stati limite ultimi e gli stati limite d'esercizio e prescrivendo le regole per la produzione di legname ad uso edile sulle specie autoctone utilizzate tradizionalmente in tale settore. Tuttavia, essendo il bambù un legno sostanzialmente differente da altre più comuni specie arboree come pini, abeti o larici, tali prescrizioni non permettono di sfruttare appieno le capacità del materiale: ad esempio, le NTC 2018 prescrivono per il legno ad uso strutturale una percentuale di umidità compresa tra l'8% ed il 10%. Tuttavia è stato ampiamente dimostrato, sia grazie a studi sulla meccanica delle fibre di bambù, sia dalla pratica empirica delle costruzioni nelle aree rurali ove la pianta è endemica che a tali livelli di umidità il bambù perde gran parte delle proprie caratteristiche alla sollecitazione ed è troppo secco per essere utilizzato nell'edilizia. Il valore minimo accettabile di umidità relativa presente all'interno della pianta è del 12% benché valori più alti siano indicati per la conservazione delle notevoli prestazioni meccaniche del bambù. Come evidenziato in *"Effects of Humidity on shear behavior of Bamboo"* (Askarinejad, S. et al. 2015), il comportamento ottimale allo sforzo torsionale e di taglio si ottiene a percentuali di umidità intorno al 25%, aumentando il rischio di crisi del materiale a percentuali inferiori e quello di instabilità ed eccessiva deformazione dovuta al percentuali superiori a tale valore. E' stato inoltre notato come a percentuali superiori al 40% non si possa più parlare di comportamento lineare alla deformazione del bambù, mentre ad umidità relativa del 25% la pianta esibisca un comportamento elastico lineare ed una resistenza al taglio di 1700 libbre su pollice quadro che, convertite dal sistema imperiale a quello metrico, equivalgono ad 11,72 Newton su millimetro quadro.

### 4.2 Non applicabilità delle norme Europee UNI EN sul legno per il bambù

Pur non esistendo delle normative specifiche sull'utilizzo del bambù in Italia poiché la pianta non è autoctona, esistono delle norme ISO concepite specificatamente per questa tipologia di legno. E' opportuno notare come in caso di assenza di normativa specifica occorra comunque dotarsi di certificazione CE per qualunque prodotto utilizzabile nel campo dell'edilizia e come solo da poco tempo il bambù si stia avviando ad un processo di standardizzazione per la Comunità Europea. Ci troviamo di fronte ad una situazione di vuoto normativo poiché attualmente, in maniera impropria, vengono venduti sul mercato europeo prodotti a base di bambù recanti marcatura CE "certificati" secondo la norma UNI EN 14342 *"Pavimentazioni di legno – Caratteristiche – Valutazione di conformità e marcatura"*, che però, interessa solamente pavimentazioni in legno. Si tratta però di una forzatura poiché pur volendo verificare prestazionalmente il bambù secondo tale norma occorre valutare la durabilità biologica richiamando le classi di rischio presenti nella UNI EN 350-2 *"Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno – Durabilità naturale del legno massiccio – Guida alla durabilità naturale e trattabilità di specie legnose scelte di importazione in Europa"*, e nella UNI EN 335 *"Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno – Classi di utilizzo: definizioni, applicazione al legno massiccio e prodotti a base di legno"* che si applica ai soli legnami ivi indicati e dai quali il bambù differisce radicalmente. Tale pianta è facilmente aggredibile da agenti xilofagi, come ben documentato dalla letteratura scientifica, e la sua durabilità è strettamente inferiore a quella del legno pertanto non è possibile nemmeno appellarsi a tali norme che non sono sufficientemente stringenti per garantire i requisiti prestazionali necessari all'utilizzo del legname di bambù.

## **5. Conclusioni**

Alla luce di quanto già esposto appare di palmare evidenza quali benefici potrebbero essere ottenuti adottando la tecnologia del bambù che, in ragione delle proprie caratteristiche, richiederebbe la formazione di maestranze in grado di utilizzare tali sistemi costruttivi.

In relazione all'uso strutturale del bambù è da notare lo scarso interesse sul panorama italiano del legislatore a normare una tecnologia non diffusa sul territorio, tuttavia, le attuali esigenze che prediligono l'impiego di materiali biocompatibili con l'ecosistema potrebbero stimolare ricerche tese a determinare gli standard necessari per l'utilizzo strutturale di tali specie che, come già detto, possono facilmente essere coltivate alle nostre latitudini ottenendo benefici sia in ordine all'economia di realizzazione, sia in termini di risparmio delle risorse a beneficio dell'intero ecosistema.



## **ABSTRACT**

The main challenge to the development of green economy aimed solutions is to create a valid alternative to those traditional technologies and construction techniques which could be chosen not only for ideological reasons, but also for their economical competitiveness. Factors that contribute to the determination of the final price of a product are: availability of prime materials needed for its construction and, in case of building materials such as timber, the replenishment rate of the resource. Sustainable development of constructions can be triggered by choosing solutions which allow, in temporal and economical terms, an adequate regrowth of the prime materials at a reasonably low cost.

A suitable material for the achievement of those goals is Bamboo, a fast growing plant with a large amount of biomass which has notable stress resistances and is widely used as building material in those areas of the world where the numerous species of the plant are endemic. The present paper propose a comparative study on the physical, mechanical and economical properties of building technologies which use bamboo and widespread traditional materials, highlighting how the bamboo resource could be implemented with serialization processes for a large scale production and the profitability of the same.

## 6. Bibliografia

Li X. (2004), Physical, chemical, and mechanical properties of bamboo and its utilization potential for fiberboard manufacturing. In: *LSU Master's Theses*. 866. Louisiana State University.

Janssen J. J. A. (2000), Designing and building with bamboo. In: Kumar A. (ed.) *Inbar -Technical Report n°20*.

Firrone T. (2008), *Il bambù*, Aracne Editrice srl, Roma

Gernot, M. (2016), *Building with bamboo. Design and technology of a sustainable Architecture*, Birkhauser Basel, Germania

Cardenas Laverde M. (2011), *Il bambù come materiale da costruzione*, Esselibri, Napoli

Shinde A., Veer S., Shinde T., Sagale P., Kamble D. P. (2018), A Review On Extraction Methods Of Bamboo Fibers And Banana Fibers, In: *International Journal of Recent Trends in Engineering & Research (IJRTER) Volume 04, Issue 05*

Askarinejada S., Kotowskib P., Shalchyc F., Rahbarac N. “Effects of humidity on shear behavior of bamboo”. In: *Theoretical and Applied Mechanics Letters Volume 5, Issue 6, November 2015, Pages 236-243*

D'Alessi M. (2018), “I numeri chiave delle retribuzioni degli operai agricoli in Italia”. In: *Agriregionieuropa anno 14 n°55, Dic 2018*

Shah D. U., Sharma B., Ramage M. H., (2018), “Processing bamboo for structural composites: Influence of preservative treatments on surface and interface properties” In: *International Journal of Adhesion and Adhesives Volume 85, October 2018, Pages 15-22*

Banga H., Singh V. K., Choudhary S.K. (2015) “Fabrication and Study of Mechanical Properties of Bamboo Fibre Reinforced Bio-Composites”.

## 7. Sitografia foto

- <http://abari.earth>
- <http://elle8esse.blogspot.com>
- <http://www.bagstudio.org>
- <http://www.bamboobotanicals.ca>
- <http://www.bamboocraft.net>
- <http://www.chinabamboopoles.com>
- <http://www.fao.org>
- <http://www.lan-architettura.org>
- <http://www.puntaverde.it>
- <http://www.purpurea.it>
- <http://www.wondergrass.in>
- <https://forum.thaivisa.com>
- <https://livingasean.com>
- <https://meghanclewis.wordpress.com>
- <https://my.all.biz>
- <https://studiowna.com>
- <https://www.bamboo-earth-architecture-construction.com>
- <https://www.bambooimport.com/en>
- <https://www.bambusetto.it>
- <https://www.chinabambooindustry.com>
- <https://www.core77.com>
- <https://www.guaduabamboo.com>
- <https://www.pianetastore.com>
- <https://www.researchgate.net>
- <https://www.slideshare.net>
- <https://www.soloecologia.it>
- <https://www.youtube.com>
- <https://ya-webdesign.com>