

Research & Experimentation

architecture

STRUTTURA E PROGETTO: SPERIMENTAZIONI IN BAMBÙ

STRUCTURE AND DESIGN: EXPERIMENTATIONS IN BAMBOO

Francesca Giglio*, Adolfo Santini**

ABSTRACT - Il rapporto tra architettura e natura, nello studio di nuove potenzialità costruttive di materiali naturali, rappresenta il motore trainante nelle traiettorie di ricerca in cui si indagano alternative con meno impatto sull'ambiente, principalmente rispetto a risorse da fonti rinnovabili. Tra questi materiali, lo sviluppo in ambito strutturale del bambù rappresenta una delle possibili strade percorribili, senza retoriche ecologiche, ma con l'obiettivo di recuperare il valore dei principi costruttivi connessi alla natura del materiale e alla cultura dei luoghi. Il paper descrive il percorso di ricerca affrontato per sperimentare un nodo costruttivo in bambù, verificandolo strutturalmente, lasciando aperti diversi scenari futuri su possibili implicazioni e impatti che tale innovazione potrebbe determinare.

The relationship between Architecture and Nature in the study of new constructive potential of natural materials represents the driving force in research trajectories, in which alternatives with less impact on the environment are investigated, mainly compared to resources from renewable sources. Among them, the development in the structural framework of bamboo is one of the possible paths, without ecological rhetoric, but with the aim of recovering the value of constructive principles related to the nature of material and the culture of places. The paper is located in this field of reference by describing the research path addressed to the design experimentation of a constructive bamboo joint, its structural verification, leaving open several future scenarios on possible implications and the impacts that such innovation could trigger.

KEYWORDS: Innovazione costruttiva, strutture in bambù, risorse naturali.

Construction innovation, bamboo structures, natural Resources.

L'attenzione verso l'uso delle risorse materiche in Architettura, ha da sempre alimentato il dibattito disciplinare per svariati aspetti: espressività e linguaggi costruttivi, performance e benessere. Contenitori tematici che riconoscono nell'uso dei Materiali in Architettura, in rapporto a luoghi e risorse, una fonte di innovazione culturale, costruttiva e sociale, tuttora in evoluzione e forse talvolta in contraddizione. Nell'attuale fase di maturità del dibattito sulla sostenibilità ambientale e su tutto ciò che è stato costruito intorno a tale *monito*, nuove modalità interpretative arricchiscono e alimentano tale processo. Con un rimando a un pensiero di Perret, «L'architettura è fra tutte le espressioni artistiche, quella più soggetta alle condizioni materiali. Le condizioni permanenti sono imposte dalla natura, le condizioni transitorie sono imposte dall'uomo» (Perret, 1952). In un periodo in cui ogni materiale può essere 'altro', in cui non esiste più una sua identità univoca, ma se ne può progettare addirittura la prestazione, esiste anche una ricerca costante verso quelle tecnologie semplici che mirano ad ottimizzare le potenzialità di materiali naturali, derivanti da fonti rinnovabili, ma con la necessità di approfondirne caratteristiche e peculiarità specifiche attraverso verifiche laboratoriali e sistemi di calcolo sulle resistenze meccaniche. Il rapporto tra Architettura e Natura diventa, in tal modo, motore trainante nello sviluppo di traiettorie di ricerca, in cui s'intersecano multidisciplinarietà che vanno oltre il progetto di Architettura e guardano a discipline, quali la Scienza dei materiali, la Chimica, la Nanotecnologia, l'Ecologia, la Biomimetica.

La sperimentazione di materiali naturali da fonti rinnovabili, provenienti da altri territori e con una storia tecnico/costruttiva molto differente da quella occidentale, è un aspetto dibattuto e attuale sebbene la tentazione e il rischio di approdare in 'retoriche ecologiche' può essere molto forte. Il bambù è un esempio emblematico di risorsa naturale rinnovabile, oggetto di sperimentazioni progettuali che ne esaltano le indubbie prestazioni e la molteplice espressività architettonica. Nel corso della manifestazione organizzata a Milano¹, nel 2014 e 2015 (La città vegetale), *Green Utopia*, sono stati esposti casi reali di quella che è la risposta più innovativa e concreta alle esigenze contemporanee in materia di sostenibilità per l'architettura, ovvero l'uso di materiali

naturali, attraverso tecnologie *low tech*, che coinvolgono un ampio raggio di settori, dall'agricoltura alternativa, al design, al paesaggio. «Il carattere dell'architettura è fondamentalmente determinato dai materiali e dalle modalità connettive che mettono in 'forma costruttiva' le specifiche risorse disponibili. Benché i materiali impiegati storicamente in architettura sono stati, da sempre, numerosi - e ancor più allargati quantitativamente si presentano nella nostra epoca contemporanea - la gamma delle soluzioni strutturali non è altrettanto vasta quanto la possibilità di scelta dei materiali stessi» (Acocella, 2004).

La ricerca che qui si presenta si colloca nell'ambito di riferimento tracciato da Acocella, con l'obiettivo di affrontare criticamente l'argomento e offrire un contributo alla verifica della utilizzabilità di tali tecnologie costruttive nei contesti locali. Si applica quale caso studio esemplificativo, il progetto di un nodo costruttivo in bambù e il suo utilizzo per la progettazione di un modulo abitativo unifamiliare e per abitazioni multipiano a bassa densità². Dopo una prima fase di ricognizione dei dati utili ai fini della conoscenza delle caratteristiche peculiari delle diverse specie di bambù, la sperimentazione, avvalendosi di un approccio multidisciplinare che ha caratterizzato il percorso, si è posta l'obiettivo principale di pensare un sistema costruttivo *producibile, lavorabile e applicabile* nei nostri contesti, per poter dare una risposta alternativa a soluzioni costruttive ormai troppo poco rispondenti alle nuove esigenze prestazionali, dovute a cambiamenti ed eventi climatici repentini e/o catastrofici. I risultati della ricerca hanno condotto alla elaborazione di un nodo costruttivo in bambù e alle sue alternative tecniche in base alla resistenza dello stesso; i nodi sono stati verificati attraverso i calcoli strutturali necessari per il dimensionamento e la verifica del sistema.

Il Bambù: nuove potenzialità costruttive - Come ogni materiale naturale, i dati dimensionali e prestazionali del bambù variano in un *range* che abbraccia i circa 1.200 tipi esistenti nelle zone in cui è particolarmente sviluppato in termini di crescita spontanea (Tropici e aree subtropicali, quali Asia orientale, America latina e Africa sub-sahariana). L'interesse verso il bambù, come possibile materia alternativa ai sistemi costruttivi attuali, è prima di tutto legato alla sua crescita. Alcune specie di tale graminacea crescono con una velocità

di 5 cm l'ora. La lunghezza media delle canne si aggira intorno agli 8-15 m con un diametro di 5-12 cm e uno spessore di 10 mm (Mordà et al., 2012). Le specie che meglio si adattano al clima italiano sono: la *Phillostachys bambusoides* (comunemente Madake), il *Phillostachys edulis / pubescens* (comunemente Moso), la *Arundinarieae Fargesia Robusta* (comunemente Fargesia), il *Dendrocalamus* (comunemente Bambù Indocinese / Tropicale). Il tipo Moso, in particolare, è diventato oggetto d'interesse per i bambuseti presenti sul territorio nazionale, vista la sua agevole crescita; pertanto il campo d'indagine della ricerca è stato ristretto sulla stessa, anche rispetto ai dati acquisibili, essendo stata una specie oggetto di numerose ricerche scientifiche a livello internazionale.

Il modulo base per determinare la misura del bambù è il 'culmo', che varia rispetto alle diverse tipologie; per il Moso, ad esempio, l'altezza dei culmi di una piantagione avviata, va da m 18 a 25 con diametro da cm 11 a 16. Tali dati dimensionali rappresentano naturalmente una traccia e una variabile rispetto a ciò che si vuole progettare, in base ad obiettivi strutturali o meno. In linea generale si può assimilare il culmo a un materiale composito, in cui vi è una matrice che agglomera le fibre, le quali rappresentano l'elemento strutturale portante (Mordà et al., 2012). Le ottime qualità fisiche di tali materiali ne permettono l'impiego in campo strutturale; i valori della tensione ammissibile del bambù dimostrano una resistenza alla trazione di molto superiore a quella del legno e una resistenza alla compressione prossima a quella del CLS (Cardenas, Laverde 2008). Elevata resistenza a compressione, a flessione ed alti valori del modulo di elasticità fanno sì che questo materiale sia studiato, analizzato nella sua struttura atomica e sottoposto a test di laboratorio, che ne possano dare misure e valori specifici, con riferimento alle diverse tipologie. In linea generale, la densità (o massa volumica) del materiale è determinata dalla

quantità di fibre presenti all'interno del culmo e la resistenza meccanica è connessa alla quantità di cellulosa presente nelle fibre (Firrone, 2008). Esiste, quindi, una diretta relazione tra massa volumica e resistenza meccanica.

I nodi caratteristici del bambù, che collegano i diversi culmi, lo rendono elastico e ne evitano la rottura al curvarsi, definendolo materiale appropriato anche per le costruzioni antisismiche (Cardenas, Laverde 2008). Aspetti specialistici, che richiedono necessariamente competenze specifiche e multidisciplinari per interpretare i dati di riferimento e renderli utili ai fini della individuazione di nuovi ambiti applicativi. Tutte le specie prevedono un apposito trattamento per l'immunizzazione e l'essiccamento, a causa della sezione cava che può divenire riparo naturale per molti agenti patogeni. Rispetto ai due principali tipi di trattamenti, che si dividono in linea generale in trattamenti senza prodotti chimici (immersione in acqua, affumicamento, incalinatura) e con prodotti chimici (trattamento per pressione, bollitura, immersione, trattamento caldo-freddo), ai fini della sperimentazione, è stata scelta l'*incalinatura*, ovvero i culmi di bambù sono imbiancati a calce, per ottenere l'effetto estetico del colore bianco e per ridurre l'assorbimento d'acqua. Le tipologie di giunzioni esistenti, si distinguono essenzialmente tra quelle tradizionali (indonesiane e colombiane) e quelle sperimentali con tecnologie e materiali contemporanei, ma si possono elaborare diversi tipi di classificazione in funzione del diverso contatto tra le sezioni.

La sperimentazione: progetto e verifiche strutturali - Nonostante la grande diffusione di architetture in bambù in tutto il mondo, in Europa attualmente sono molto pochi gli esempi di uso strutturale dello stesso, sia a causa della scarsa disponibilità del materiale, reperibile in grandi quantità solo nei Paesi asiatici, sia a causa dei limiti normativi che ne impediscono l'applicazione.

Tuttavia, la presenza di molti bambuseti produttivi sperimentali in Italia, sta incoraggiando lo sviluppo dell'uso del bambù in diversi ambiti, tra cui quello costruttivo, anche nei nostri contesti. Il progetto del sistema che si propone è composto da due tipi di sezione: per edifici a un piano, da travi e pilastri con sezione formata da tre culmi - per edifici pluripiano, da pilastri con sezione a quattro culmi e travi a sei culmi. Il solaio è composto da una struttura costituita da travetti con sezione a due culmi, posizionati con passo di cm 20 e alternati a conci in G.L.H.³ per migliorare la solidità e la connessione con gli elementi piani degli strati superiori, che garantiscono impermeabilità e coibentazione. Il sistema è integrato da controventi costituiti da cavi in acciaio per aumentarne la rigidità e migliorarne la risposta al sisma (Figg. 1, 2).

Gli elementi di collegamento tra i culmi sono formati da piastre e connessioni in acciaio, opportunamente dimensionate, verificate e applicate per le sezioni dei pilastri a tre e quattro culmi, per le connessioni travi/pilastro e per le connessioni struttura/solaio (Fig. 3). Il lavoro si completa con la valutazione delle prestazioni meccaniche degli elementi strutturali e con verifiche tramite metodo semiprobabilistico agli stati limite, avvalorandone le possibilità di realizzazione e applicazione futura. Sono stati effettuati i calcoli strutturali per il dimensionamento e la verifica del numero dei culmi da utilizzare per il sistema costruttivo. Data la snellezza degli elementi strutturali in relazione alla loro resistenza, è stato valutato il carico critico relativo ai pilastri. Anche in questo caso, sono state verificate diverse alternative, legate al numero di piani realizzabili e, quindi, alla dimensione del pilastro che può variare da tre a quattro culmi (Fig. 4). Vista la caratteristica elasticità del materiale, per assicurare il comfort e la stabilità strutturale è stata effettuata la verifica di spostamento dei travetti che compongono il solaio, affinché si mantenesse al di sotto del valore limite. In relazione alla fattibilità locale è stata effettuata la valutazione delle azioni sismiche con metodo pseudostatico equivalente, adeguando la struttura di conseguenza e migliorandone la risposta a sisma, tramite il dimensionamento e il posizionamento dell'adeguato numero di controventi.

Il sistema è stato applicato per la progettazione di un modulo abitativo a bassa densità e per un edificio pluripiano ottenuto dall'aggregazione di moduli abitativi di diverse metrature (Fig. 5). Il trattamento del bambù è del tipo 'incalinato', che, come già descritto, rende la canna quasi bianca. L'aggregazione dei moduli su più piani, secondo una maglia modulare, è stata pensata, in virtù della bassa densità, con grandi spazi verdi comuni a disposizione e favorendo spazi abitativi il più possibile aperti alla flessibilità del vivere quotidiano, limitando i confinamenti interni alle funzioni necessarie. Le chiusure di tamponamento, sono aggregabili e sostituibili anche in versioni differenti (traslucide in policarbonato o opache e coibentate con isolante in sughero), in base alla volontà di rendere la struttura leggibile e riconoscibile o meno, a seconda delle esigenze espressive e funzionali del progetto (Fig. 6). Materiali che, seppur molto differenti tra di loro, hanno il chiaro obiettivo di determinare una tensione espressiva attraverso una proposta formale che racconta e denuncia la snellezza del

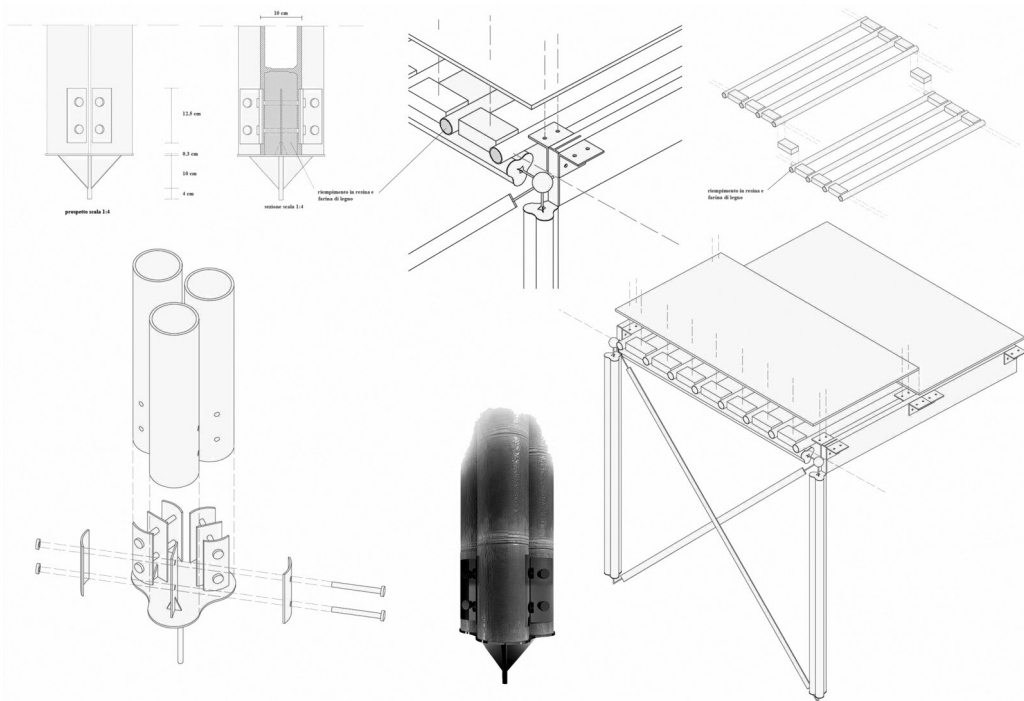


Fig 1 - Rappresentazione del nodo a 3 culmi e dei sistemi di connessione tra i culmi e con il solaio.

sistema strutturale e la leggerezza dell'involucro.

La proposta progettuale rappresenta una delle possibili ipotesi applicative del sistema costruttivo, che esprime nel progetto la sua peculiarità nel rapporto resistenza/peso e quindi nella snellezza che un edificio pluripiano può assumere, utilizzando tale condizione materica. Un campo di ricerca, quindi, sulle possibili modalità interpretative tra struttura in bambù, forma e spazio. «Le relazioni esistenti tra tecnologia e forma architettonica, possono essere interpretate mediante l'ausilio di un modello che tenga conto del legame esistente tra l'innovazione tecnologica e la generazione di nuovi paradigmi formali» (Ferrater, 1977). Il progetto è stato affrontato attraverso una multidisciplinarietà, che rappresenta, nello specifico, un aspetto necessario per la sperimentazione; ma, riletto in un aspetto più ampio, evidenzia come lo studio del rapporto tra materiali naturali, tecnologie costruttive e progetto di architettura richieda una sinergia di competenze scientifiche e progettuali che possano controllare aspetti formali, dimensionali e prestazionali.

Conclusioni e sviluppi futuri - Lo studio, seppur contribuendo all'avanzamento delle conoscenze sulle possibili modalità costruttive del bambù, lascia aperte diverse questioni che riguardano aspetti problematici più generali sull'uso di tali tecnologie nei nostri contesti. La mancanza di normativa nazionale è attualmente uno dei principali limiti applicativi in ambito costruttivo, ma in egual modo rappresenta uno stimolo per la ricerca per affrontare un aspetto ampiamente indagato in altri Paesi Europei ed Extraeuropei. Gli altri 'limiti' inevitabilmente presenti in un materiale naturale, legati alla durabilità, all'assorbimento all'acqua e alla sua dilatazione termica, sono aspetti a tutt'oggi da affrontare, rispetto ad un possibile utilizzo diffuso in Europa. Le possibili implicazioni sociali e gli impatti che tale innovazione potrebbe innescare sia alla scala costruttiva e ancor prima rispetto a filiere produttive locali che incentivano l'uso di materiali da fonti rinnovabili - di cui il bambù è uno degli esempi - è un forte incentivo che è già percepito, seppur in un mercato di nicchia, che intravede sviluppi futuri molto diversificati in diversi settori. Il bambù, insieme a molti altri materiali derivanti da fonti rinnovabili composti di materia fibrosa, rappresenta un vasto campo di sperimentazione per il settore automobilistico, aeronautico, navale, tessile, grazie a caratteristiche comuni quali leggerezza, resistenza, disponibilità, basso impatto ambientale nella trasformazione.

Caratteristiche che, sul tema specifico, si ottimizzano anche grazie ad una comprovata capacità resiliente, dimostrata dalla risposta sismica di edifici costruiti con tali tecnologie, rispetto al cemento armato e che, per tale motivo, lo rendono una valida alternativa rispondente a problematiche ecologiche, economiche e strutturali. In ambito architettonico ed ingegneristico le linee di ricerca sul bambù sono orientate verso l'autocostruzione di manufatti leggeri e la realizzazione di infrastrutture a basso costo, sostenibili nella lavorazione, energeticamente efficienti. Il 'peso' quindi tra gli attuali limiti nell'uso strutturale del bambù nei nostri contesti e le potenzialità del materiale, fanno protendere verso obiettivi scientifici, culturali ed economici che guardano allo sviluppo di

una nuova cultura materiale del bambù. Da una storia millenaria che vede il bambù protagonista nelle tecnologie costruttive indonesiane e colombiane, le nuove visioni dell'architettura contemporanea lo contemplano come possibile compromesso tra una innovazione che nasce dalla rivisitazione di tecnologie tradizionali e aspetti visionari e poetici delle nuove città *smart*.

Progettare un 'sistema organico' di strutture, componenti, rivestimenti, attraverso parti di uno stesso materiale, diventa quindi un'occasione di innovazione costruttiva e linguistica per il progetto, ma anche di crescita culturale. Dal principio costruttivo dell'*intreccio* a quello del *telaio*, il principio insito nella natura materiale del bambù è la costruzione tettonica dell'architettura: «è l'architettura ossea, legnosa, leggera. Quella che si posa sulla terra come in punta di piedi» (Campo Baeza, 2012). Forse è proprio da qui che bisognerebbe iniziare per valutare l'appropriatezza nell'uso di un nuovo materiale, dal *Principio*, ovvero da quel principio costruttivo in cui il materiale racconta la sua verità costruttiva e si evolve verso nuove tecniche, nuovi usi, nuovi linguaggi.

ENGLISH

The attention to the use of material resources in Architecture has always fueled the disciplinary debate for various aspects: expressiveness and constructive language, performance and well-being. Thematic containers that recognize in the use of materials in architecture in relation to places and resources, a source of cultural, constructive and social innovation evolving and perhaps sometimes in contradiction. In the current maturation phase of the debate on environmental sustainability and on all that has been built around this warning, new interpretative modes enrich this process. With a reference to Perret's thought «architecture is among all the artistic expressions, the one most subject to material conditions. Permanent conditions are imposed by

nature, the transitional conditions are imposed by man» (Perret, 1952).

In a time in which every material can be more, where there is no longer a unique identity of the material, but it can even design performance, there is also a constant research for those simple technologies that aim to optimize the potential of natural materials derived from renewable sources, but with the need to deepen their specific characteristics and peculiarities through laboratory tests and calculation systems on mechanical resistances. The relationship between architecture and nature becomes, in this way, the driving force behind the development of research trajectories where intersecting multidisciplinary that go beyond the architectural project and look at disciplines such as: Material science, Chemistry, Nanotechnology, Ecology, Biomimetics.

The experimentation of natural materials from renewable sources from other territories and with a technical/constructive history different from the western one is a highly debated aspect, although the temptation and the risk of landing in rhetoric Ecological can be very strong. Bamboo is an emblematic example of a renewable natural resource, object of design experiments that exalt the performance and manifold architectural expressiveness. During the event organized in Milano¹ in 2014 and 2015, (The vegetable city), Green Utopia, have been exposed real cases of what is the most innovative and concrete response to contemporary sustainability needs for architecture, or the use of natural materials, through low tech technologies, involving a wide range of industries, alternative agriculture, design, and landscape. «The character of architecture is fundamentally determined by the materials and the connective modalities that put in constructive form the specific available resources. Although the materials used historically in architecture have always been numerous - and even more enlarged quantitatively in our contemporary

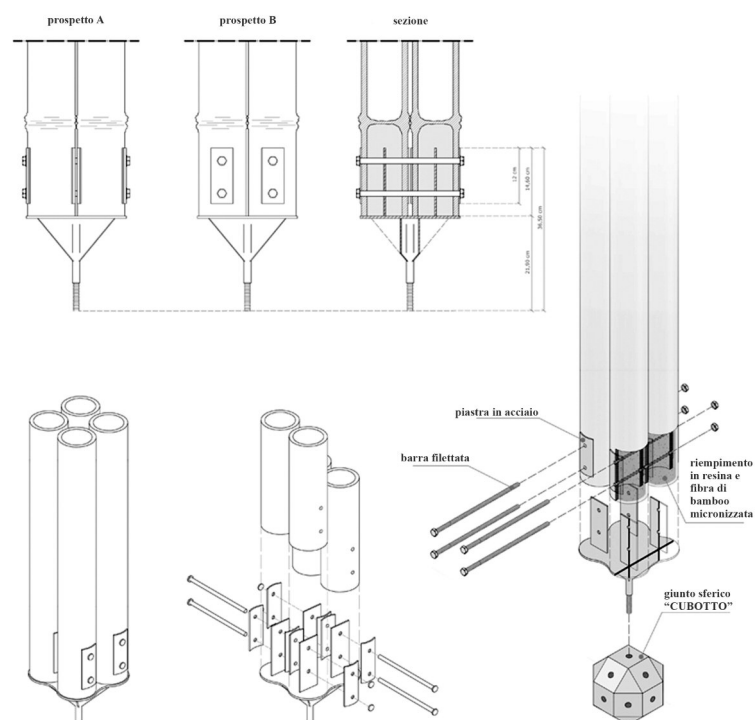
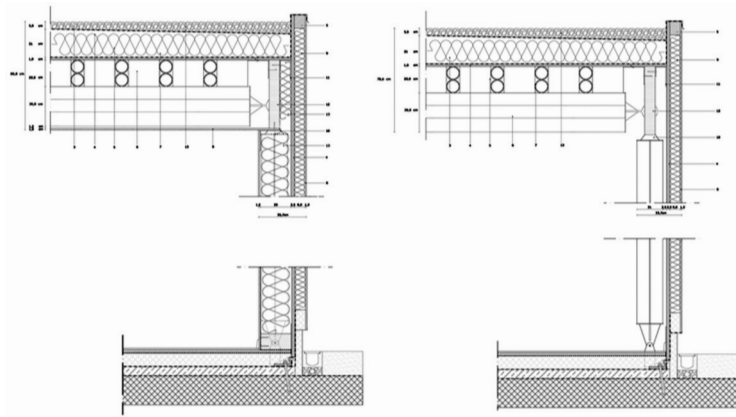


Fig. 2 - Rappresentazione del nodo a 4 culmi: dati dimensionali ed elementi metallici componenti.

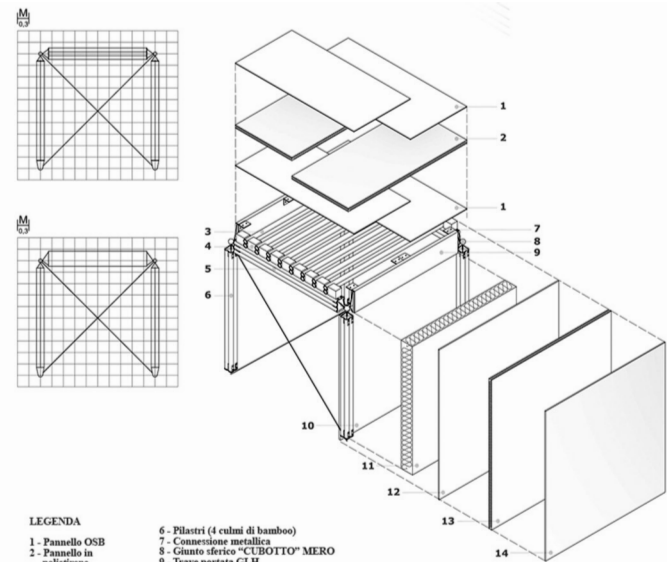


LEGENDA

- 1 - Pavimentazione (paret)
- 2 - Pannello OSB
- 3 - Polistirene
- 4 - Pannello OSB
- 5 - Conci di GLH
- 6 - Trave in culmi di bamboo
- 7 - Travetto in culmi di bamboo
- 8 - Finitura esterna
- 9 - Isolante in sughero pressato a caldo
- 10 - Pilastro (4 culmi di bamboo)
- 11 - Connessione metallica
- 12 - Trave portata GLH
- 13 - Isolante in fibra di canapa

LEGENDA

- 1 - Pavimentazione (paret)
- 2 - Pannello OSB
- 3 - Polistirene
- 4 - Pannello OSB
- 5 - Conci di GLH
- 6 - Trave in culmi di bamboo
- 7 - Travetto in culmi di bamboo
- 8 - Finitura esterna
- 9 - Isolante in sughero pressato a caldo
- 10 - Pilastro (4 culmi di bamboo)
- 11 - Connessione metallica
- 12 - Trave portata GLH



LEGENDA

- 1 - Pannello OSB
- 2 - Pannello in polistirene
- 3 - Travetto (2 culmi di bamboo)
- 4 - Conci in GLH
- 5 - Trave portante (6 culmi di bamboo)
- 6 - Pilastri (4 culmi di bamboo)
- 7 - Connessione metallica
- 8 - Giunto sferico "CUBOTTO" MERO
- 9 - Trave portata GLH
- 10 - Pannello in cartongesso antincendio
- 11 - Isolante in fibra di canapa
- 12 - Pannello in fibrogesso
- 13 - Isolante in sughero pressato a caldo
- 14 - Finitura esterna

Fig. 3 - Nudo trave-pilastro: le sezioni sono realizzate in corrispondenza del pannello di tamponamento e del pilastro al fine di leggere le stratificazioni complete per la chiusura sia verticale che orizzontale.

Fig. 4 - Spaccato assonometrico del sistema costruttivo in bambù e schematizzazione della griglia modulare che ne regola le dimensioni.

era-the range of structural solutions is not as wide as the possibility of choice of materials themselves» (Acocella, 2004).

The research here is based on the Acocella reference framework, with the aim of critically addressing the topic and providing a contribution to the verification of the usability of such constructive technologies in our local contexts. An example case study is the design of a bamboo construction joint and its use for the design of a single-family housing unit and low density housing². After a first phase of reconnaissance of useful data for the purpose of knowing the peculiarities of the various bamboo species, experimentation using a multidisciplinary approach that characterized the path, has been the main objective of thinking of a constructive system, workable and applicable in our contexts, in order to give an alternative response to constructive solutions now too little satisfying the new performance requirements due to changes and climatic events sudden and/or catastrophic. The results led to the elaboration of the constructive joint and its technical alternatives based on the resistance of the same. The junctions were verified through the structural calculations necessary for the sizing and verification of the system.

Bamboo: new constructive potential - Like any natural material, the dimensional and performance data of bamboo vary in a range that embraces about 1,200 types existing in areas where it is particularly developed (Tropics, subtropical areas such as East Asia, Latin America and Sub-Saharan Africa), in terms of spontaneous growth. Interest towards bamboo as a possible material alternative to current construction systems is first of all connected to its growth. Some species of such graminacea grow at a speed of 5 cm per hour. The average length of the canes is around 8-15 m with a diameter of 5-12 cm and a thickness of 10 mm (Mordà et al. 2012). The species best adapted to the Italian climate are the following: *Phyllostachys bambusoides* (commonly

Madake), *Phyllostachys edulis / pubescens* (commonly *Moso*), *Arundinarieae Fargesia Robusta* (commonly *Fargesia*), *Dendrocalamus* (commonly *Indochinese / Tropical Bamboo*). The *Moso* typology, in particular, has become an object of interest for bamboo production on the national territory, given its rapid growth, so the field of investigation has been narrowed to the same, even with respect to the acquiring data, being an object species of a wide-ranging research campaign on international scientific research.

The basic module to determine the size of the bamboo is the culm, that varies from the different types of bamboo; for the *Moso*, i.e., the height of the culms of a plantation started, ranges from 18 to 25 meters with diameter from 11 to 16 cm. These dimensional data represent naturally a trace and a variable relative to what can be designed, as opposed to structural objectives or not. In general, it's possible to assimilate the culm to a composite material, in which there is a matrix that agglomerates the fibres, which represent the structural element (Mordà et al. 2012).

The excellent physical qualities of this materials, allow the use in the structural field; the values of the permissible tension of the bamboo show a tensile strength much higher than that of the wood and a resistance to compression next to that of the CLS (Cardenas, Laverde 2008). High resistance to compression, bending and high modulus of elasticity, make this material studied, analyzed in its atomic structure and subjected to laboratory tests that can give specific measurements and values, with reference to the different types. In General, the density (or volume mass) of the material is determined by the amount of fibres present within the culm and the mechanical resistance is related to the amount of cellulose present in the fibres (Firrone, 2008). There is, therefore, a direct relationship between density and mechanical resistance. The characteristic nodes of the bamboo, which connect the different culms, make it elastic and avoid the rupture at the bend, calling it appro-

prate material also for the earthquake-resistant constructions (Cardenas, Laverde, 2008). Specialist aspects, which necessarily require specific and multidisciplinary skills to interpret the reference data and make them useful for the purpose of identifying new application areas.

All species provide a special treatment for immunization and drying, due to the hollow section that can become natural protection for many pathogens. Compared to the two main types of treatments that are generally divided into non-chemical treatments (water immersion, smokers, incineration) and chemicals (treatment for pressure, boiling, immersion, hot-cold treatment). Among the various treatments, for the purpose of experimentation, the incalature was chosen, i.e. the bamboo fins are whitewashed to obtain the aesthetic effect of white color and to reduce the absorption of water. Existing types of joints have been investigated and systematized, distinguishing traditional (Indonesian and Colombian) and experimental ones with contemporary technologies and materials, classifying their typologies according to the different contact between the sections.

The experimentation: Project and structural tests - Despite the great diffusion of bamboo architectures around the world, in Europe are currently very few examples of the structural use of bamboo, both because of the low availability of the material, found in large quantities only in Asian countries, and because of the regulatory limits that prevent the application. However, the presence of many experimental bamboo productions in Italy is encouraging the development of the use of bamboo in various fields, including the constructive one, even in our contexts. The proposed system project consists of two types of sections: for buildings with a floor of beams and pillars with section formed by three culms-for buildings deck by pillars with four-section culms and beams to six culms. The slab is composed by a structure consisting of joists with a section of two culms, posi-

tioned with a pitch of 20 cm and alternating with blocks in G.L.H.³ to improve the solidity and the connection with the flat elements of the upper layers that guarantee waterproofness and insulation.

The system is integrated with steel wires to increase rigidity and improve its response to the earthquake (Fig. 1, 2). The connection elements between the culms are formed by steel plates and connections, appropriately dimensioned, verified and applied for the sections of the three- and four-culms pillars, for the beam/pillar connections and for the structure/floor connections (Fig. 3). The work is completed with the evaluation of the mechanical performance of the structural elements and with verifications by means of a probabilistic method to the limit states, validating the possibilities for realization and future application. Structural calculations for dimensioning and verification of the number of culms to be used for the constructive system have been performed. Due to the thickness of the structural elements in relation to their resistance, the critical load related to the pillars was assessed. Also in this case, several alternatives have been verified, linked to the number of workable planes and, therefore, to the size of the pillar that can range from three to four culms (Fig. 4). Given the characteristic elasticity of the material, to ensure the comfort and structural stability was carried out the verification of the movement of the joists that make up the slab, so that it kept below the limit value. In relation to local feasibility, the evaluation of seismic actions with the equivalent pseudo-static method was carried out, adapting the structure accordingly, and improving its response to the earthquake by dimensioning and positioning the appropriate number of contractions.

The system has been applied for the design of a low density housing module and for a multi-storey building obtained by the aggregation of housing modules of different sizes (Fig. 5). The treatment of bamboo, is of the incalature type, which, as already described, makes the cane almost white. The aggregation of multi-storey modules, according to a modular mesh, was conceived, due to the low density, with large common green spaces available and favoring living spaces as far as possible open to the flexibility of daily living, limiting internal confinements to necessary functions. Cladding panels are aggregable and replaceable also in different versions (translucent in polycarbonate or opaque and insulated with cork insulator), depending on whether to make the structure readable or recognizable, depending on the expressive and functional needs of the project (Fig. 6). Materials that, although very different from each other, have the clear objective of determining an expressive tension through a formal proposal that narrates and denounces the thickness of the structural system and the lightness of the wrap.

The design proposal is one of the possible application hypotheses of the constructive system that expresses in the project its peculiarity in the strength / weight ratio and hence the slenderness that a multi-storey building can assume, using this material condition. A field of research, therefore, on the possible interpretative modalities between structure in bamboo, shape and space. «The relationships between technology and architectural form, can be interpreted by means of a model that

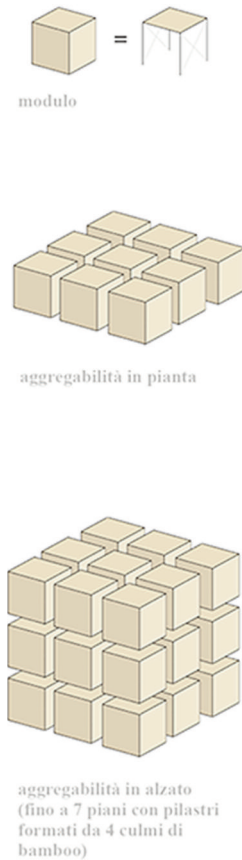


Fig. 5 - Viste esterne del progetto di modulo abitativo unifamiliare e dell'aggregazione di moduli abitativi per un edificio multipiano; schematizzazione dell'aggregabilità dei moduli in pianta e in alzato.

takes into account the link between technological innovation and the generation of new paradigms» (Ferrater, 1977). The project was addressed through a multidisciplinary, which represents, in particular, a necessary aspect for the experimentation, but, reread in a broader aspect, highlights how, the study of the relationship between natural materials, constructive technologies and architectural design requires a synergy of scientific and design skills that can control formal, dimensional and performance aspects.

Conclusions and Future Developments - The study, although contributing to the advancement of knowledge on the possible constructive modalities of the bamboo, leaves open several issues that concern more general problematic aspects about the use of these technologies in our contexts. The lack of national legislation is currently one of the main application limits for the management of this type of implementation, but it is also an incentive for research to address a widely investigated aspect in other European and non-European countries. The other limitations that are present in a natural material, related to durability, water absorption and thermal expansion, are still to be

faced with regard to a possible widespread use in Europe but the potential of material, even with very high anti-seismic performance thanks to its lightness and flexibility, make it a viable alternative to various ecological, economic and structural issues. The possible social implications and the impacts that such innovation could trigger both on the constructive scale and even earlier compared to local production chains that encourage the use of materials from renewable sources - of which bamboo is one of the examples - is a strong stimulus already perceived, although in a niche market, which sees very different future developments in different sectors.

Bamboo, together with many other materials deriving from renewable sources composed of fibrous matter, represents a vast field of experimentation for the automotive, aeronautical, naval and textile sectors, thanks to common characteristics such as lightness, resistance, availability, low environmental impact in the transformation. Features that on the specific theme, are amplified thanks to a proven resilient capacity, demonstrated by the seismic response of buildings built with such technologies, compared to reinforced concrete. Aspects that make it a valid alternative

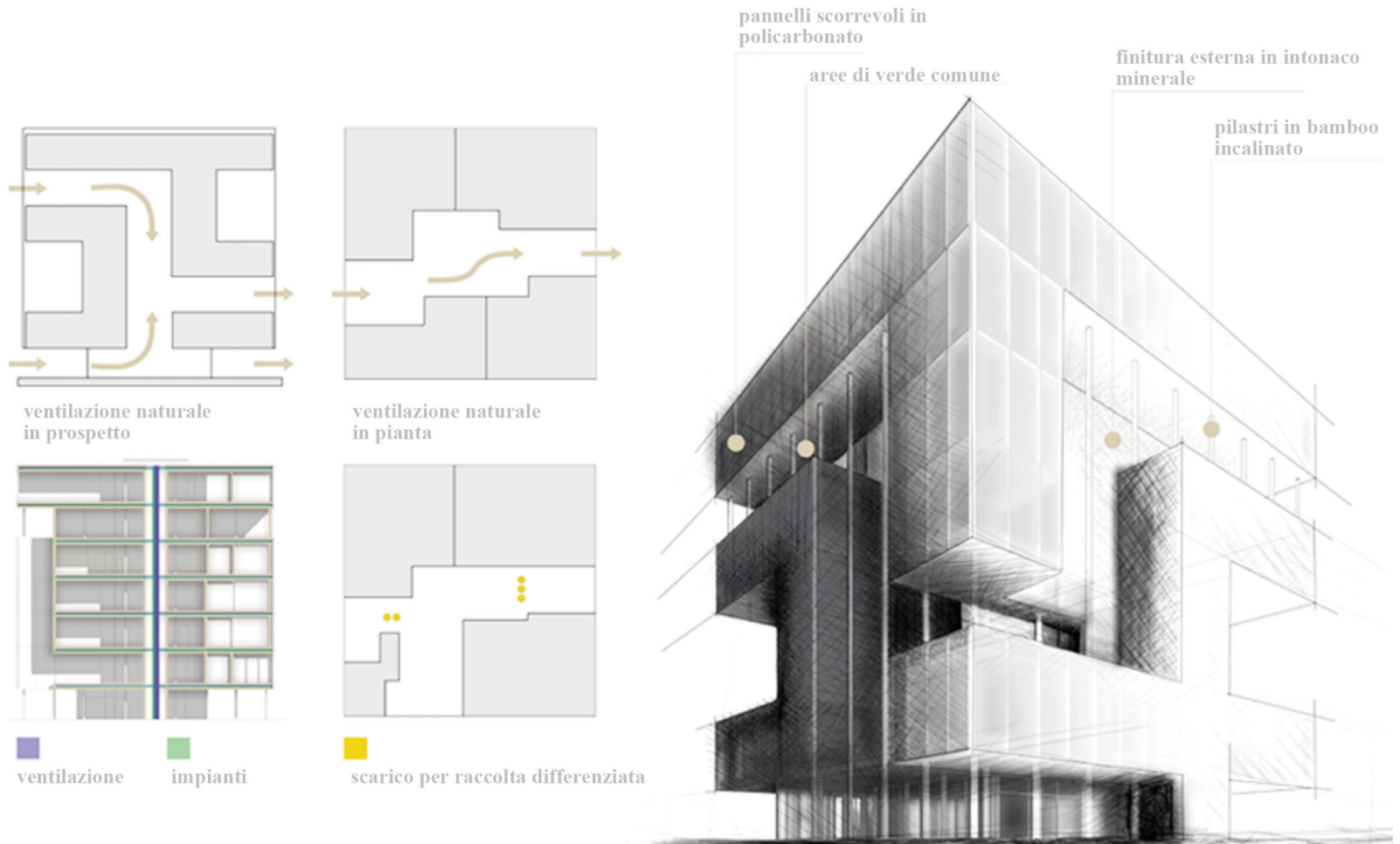


Fig. 6 - Schematizzazione delle possibili strategie bioclimatiche e delle scelte tecnico-costruttive, complementari al sistema in bambù.

responding to ecological, economic and structural problems. In the architectural and engineering fields, the research lines on bamboo are oriented towards the self-construction of lightweight artefacts and the creation of low-cost, sustainable energy-efficient infrastructures. The weight, therefore, between the current limits in the structural use of bamboo in our contexts and the potential of the material, lead us towards scientific, cultural and economic objectives that look to the development of a new material culture of bamboo.

The thousand-year history of bamboo as the protagonist in Indonesian and Colombian construction technologies, lays the bases for a new vision of contemporary architecture that contemplate it as a possible compromise between an innovation that comes from the reinterpretation of traditional technologies and visionary and poetic aspects of the new smart cities. Designing an organic system of structures, components and claddings, through parts of the same material, becomes an opportunity for constructive and linguistic innovation for the project, but also of cultural growth. From the constructive principle of interweaving to that of the frame, the material nature of bamboo is the tectonic construction of architecture: «It's the bone, woody and light architecture. The one that rests on the ground as on tiptoe» (Campo Baeza, 2012). Perhaps it's precisely from here that we should begin to evaluate the appropriateness in the use of a new material, from the beginning, or from that constructive principle in which the material tells its

constructive truth and evolves towards new techniques, new uses, new languages.

NOTES

- 1) *Green Utopia*, inserita nel contesto di *Sharing Design*, è una manifestazione organizzata da *Milano Makers* in coproduzione con il Comune di Milano e con il patrocinio dell'Associazione per il disegno industriale (Adi) per la promozione dell'architettura vegetale.
- 2) La ricerca si basa sulla Tesi di Laurea dal titolo *Il bambù strutturale. Verifiche e sperimentazioni* condotta da Antonio Maesano, all'interno del CdL in Architettura quinquennale a c.u., A.A. 2015/16; Dipartimento di Architettura e Territorio dArTe, Università degli studi Mediterranea di Reggio Calabria; Relatori: Proff. F. Giglio, A. Santini.
- 3) G.L.H.: Glued Laminated Timber.

REFERENCES

Acocella, A. (2004), "La costruzione muraria. Tettonico/Stereotomico" in Acocella, A., *L'architettura di pietra*, Firenze, Lucense-Alinea.
 Campo Baeza, A. (2016), *L'idea Costruita*, Lettera ventidue, Siracusa pp. 52-53.
 Cardenas Laverde, M. (2008), *Il bambù come materiale da costruzione*, Esselibri, Napoli.
 David, J., Trujillo, A., (2009), "Axially Loaded Connections", in *Guadua Bambù, Proceedings of the Nocmat*, Bath, UK.
 Faresin, A. Musacchio, A., Tatano, V. (2011), *Variazioni di identità. Riflessioni sull'uso dei materiali nel progetto* Collana Politecnica, Milano, p. 177.

Ferrater, C. (1977), *Materialidad*, Torho, Barcellona, p. 9.
 Firrone T. (2008) *Il bambù*, Aracne, Roma, p 7-8
 Institut für leichte Flächentragwerke Director Otto F., (1985), *Il 31 Bambus / Il 31 Bambù: Bambus als Baustoff / Bambù as a Building Material. Bauen mit pflanzlichen Stäben / Building with Vegetal Rods*, Karl Krämer Verlag Stuttgart.
 Mordà, N., Pacias, M., Stroschia M. Bajzelj, P. (2012), "Il Bambù: una scelta di Ecologia Strutturale", *Ingenio* n. 3, pp. 2-3.
 Tatano, V. (1998), "L'espressione dei materiali costruttivi", in Maxwell, R. (ed.) *James Stirling. Scritti di architettura*, Skira, Milano, pp. 127-135.

* *FRANCESCA GIGLIO* è Ricercatore confermato in *Tecnologia dell'Architettura*, presso il Dipartimento di Architettura e Territorio (dArTe) della Università Mediterranea di Reggio Calabria. Svolge attività di ricerca sui temi dell'innovazione dei processi realizzativi e sulla sperimentazione di materiali e sistemi costruttivi a basso impatto ambientale. Tel. + 39 (0)965/16.97.131. E-mail: francesca.giglio@unirc.it.

** *ADOLFO SANTINI* è Professore Ordinario di *Scienza delle Costruzioni* presso il Dipartimento di Architettura e Territorio (dArTe) della Università Mediterranea di Reggio Calabria. Svolge attività di ricerca sui temi della valutazione della vulnerabilità e sulla protezione sismica degli edifici esistenti. Tel. + 39 (0)965/16.97.246. E-mail: adolfo.santini@unirc.it.