

Research & Experimentation

architecture

**IL LEGNO
TRA PIACEVOLEZZA E DEPERIBILITÀ
SPERIMENTAZIONI SUI SERVIZI ALLA BALNEAZIONE
WOOD
BETWEEN PLEASANTNESS AND PERISHABILITY
EXPERIMENTATIONS ON BATHING SERVICES**

Felice Ragazzo, Teresa Villani***

ABSTRACT

Gli edifici temporanei rimandano per lo più a situazioni emergenziali, tuttavia la temporaneità rappresenta un paradigma progettuale anche per strutture destinate al tempo libero come per il turismo stagionale. In questo ambito il contributo presenta una sperimentazione progettuale effettuata su piccole strutture prefabbricate a tutto legno da destinare a servizi alla balneazione, col duplice proposito di mostrarne le potenzialità espressive e introdurre innovazioni nei componenti e connessioni, tenendo presente la deperibilità del legno, in un'ottica di riuso. La sperimentazione ha previsto una progettazione integrata con sistemi di lavorazione computerizzata e la strutturazione di un database (implementabile tramite digitalizzazione) dei componenti e delle modalità di giunzione.

Temporary buildings are usually meant for emergency situations, however, design of temporary facilities is a paradigm used also for leisure activities, such as seasonal tourism. In this context, the paper presents a design experimentation performed on small, prefabricated facilities, all wooden, intended for bathing services. The aim is twofold: showing their expressive potential and introducing innovations in components and connections, while considering the perishability of wood, with a view of reusing them. The experimentation included a design integrated with computerized production systems, and the definition of a database (digitally implementable) of components and jointing modes.

KEYWORDS

temporaneità, legno, durabilità, sperimentazione architettonica, prefabbricazione

temporary facilities, wood, durability, architectural experimentation, prefabrication

Le strutture temporanee destinate ai servizi per la balneazione, pur comprendendo manufatti dimensionalmente contenuti, ben si prestano a rappresentare un ambito di sperimentazione orientata all'innovazione tecnologica e ai più avanzati principi di sostenibilità ambientale. Su tali strutture si sono misurati grandi maestri dell'architettura come Le Corbusier con il celebre Cabanon, unità minima che vive in reciproco scambio con l'ambiente costiero (Alison, 2006), o Aldo Rossi con le sue Cabine dell'Elba, costruzioni in legno legate alla cultura del mare (Rossi, 1999).

Questi piccoli edifici possono rappresentare modelli tecnologici in miniatura (Battisti, 2012), caratterizzati da costi e tempi di costruzione ridotti, in grado di veicolare saperi e buone pratiche ambientali, e possono identificare modelli praticabili per un impiego diffuso di tecnologie sperimentali. Soluzioni sostenibili per attrezzare le coste, per fornire spazi appropriati ai servizi connessi alla balneazione e alle strutture stagionali e temporanee, prevedendo sistemi di prefabbricazione idonei a tutelare l'identità dei luoghi e a valorizzare le risorse paesistiche e naturali dei diversi contesti (Lepore and Sonsini, 2009). La progettazione di manufatti per la balneazione concorre a influenzare l'aspetto delle coste stesse e quindi a determinare il successo o meno della complessiva 'impresa turistica'. Il prodotto finito, da insieme di singoli componenti e connessioni apparentemente facili da controllare, si trasforma in un organismo articolato per il quale devono essere presi in considerazione gli effetti concatenanti degli elementi costituenti, i requisiti di movimentazione e riposizionamento, assemblaggio a secco, leggerezza, prefabbricazione, durabilità, reimpiego di parti. Non va dimenticato inoltre che le scelte tecnologiche coinvolgono molte altre questioni tra cui quelle di programmazione e di indirizzo produttivo (nello specifico la produzione industriale ai fini di uno sfruttamento delle risorse locali).

Questi aspetti appena delineati suggeriscono la ricerca di un equilibrio tra pratica costruttiva e risorse naturali nello specifico 'luogo tra terra e mare', e possono essere tutti ritrovati come peculiari nell'uso di strutture leggere di legno. È proprio grazie alla versatilità del legno e a una sorprendente ripresa di questo comparto produttivo, che oggi è possibile disporre di sistemi di prefabbricazione basati sull'uso di semilavorati di piccole dimensioni assemblati a secco, capaci di pro-

muoverne un uso sempre più ardimentoso. Sistemi apparentemente semplici che affondano le radici nella secolare tradizione costruttiva lignea, nelle teorizzazioni scientifiche rinascimentali derivanti dal trasferimento delle conoscenze dai carpentieri navali a quelli edili, negli studi di Philibert De L'Orme che nel libro *Nouvelles Inventions pour Bienbâtir* descrive una struttura di legno a segmenti sottili (Campa, 2009) e in molti trattati tra cui quello di architettura cinese Ying Zao Fa Shi del XII secolo, quello sulla Carpinteria de lo Blanco di Diego Lopez de Arenas così come trascritto da Enrique Nuere. Sistemi che mostrano come il legno si presti bene a essere utilizzato nei regimi di coazione di elementi di piccola dimensione, semplici, che solo tramite l'assemblaggio a secco assumono forme complesse e particolarmente resistenti.

In questo quadro si intende presentare una sperimentazione progettuale¹ effettuata nel campo delle strutture temporanee amovibili connesse ai servizi alla balneazione, previsti nei litorali, col proposito di introdurre innovazioni nell'ideazione di componenti e connessioni, e di porre attenzione alla deperibilità del materiale-legno in un'ottica di riuso delle parti. Sebbene temporanei, tali manufatti (piccole cabine spogliatoio) vengono riutilizzati periodicamente e quindi è necessario trattare la durabilità dei componenti in un'ottica nuova. L'attenzione è stata quindi dedicata non solo alla durabilità caratteristica del legno (Giordano, 1993), ma anche a quella sistemica (Brand, 1997; Celadyn, 2014) inerente i differenziati gradi di esposizione al degrado, compresi quelli relativi a ripetuti montaggi e smontaggi stagionali, con l'obiettivo di uniformare le obsolescenze.

In un'architettura di legno per tempi brevi, molteplici negligenze, su cui per lo più si sorvola, sono motivo di deperibilità: uso eccessivo di 'protesi' metalliche; scarso o inesistente isolamento dell'umidità di risalita negli attacchi a terra; scarsa protezione al degrado foto-chimico delle parti più esposte; scarsa flessibilità costruttiva, incompatibile con agevoli sostituzioni; sistemi di giunzioni rigidamente poliedriche, antitetiche a fibrosità e anisotropia del legno; disattenti montaggi, spesso generativi di danni a breve termine. Fattori che fanno sì che l'obsolescenza in termini di 'necessità' e 'piacevolezza' – così idiomatiche col legno – acceleri e si diversifichi, penalizzando e complicando i tempi di durata previsti. Per questo, si è

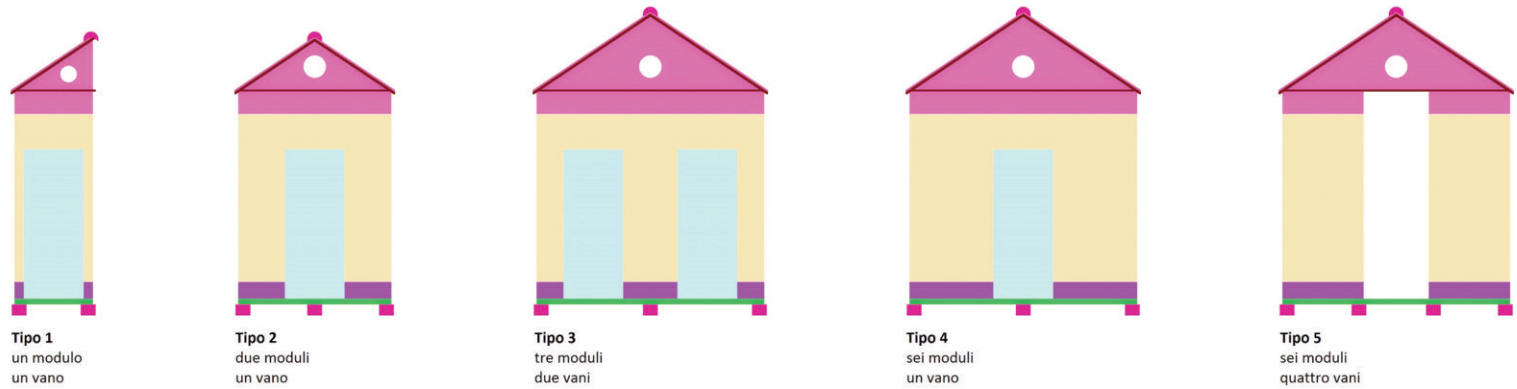


Fig. 1 - Sequence of the five Types processed experimentally, front view.

mirato a concepire l'intero manufatto in modo da rendere prevedibili e programmabili le necessarie sostituzioni per parti.

Sul piano metodologico la scelta principale è stata quella di partire dalle caratteristiche della prefabbricazione lignea (Zambelli, Vanoncini and Imperadori, 1998). È stata quindi adottata una progettazione aperta e continua, idonea per una casistica variabile nel tempo e nello spazio, considerando un insieme di fattori quali: la mono-materialità, la leggerezza in rapporto alla cubatura e al peso di ciascun componente, i ridotti ingombri, la maneggevolezza e trasportabilità dei singoli componenti, l'innovatività delle connessioni, la sostituibilità delle parti, l'accuratezza dell'esecutività. Inoltre la sperimentazione progettuale si è svolta in stretta integrazione con sistemi di lavorazione computerizzata, per garantire non soltanto un elevato standard di prodotto, ma anche i livelli informativi necessari a ripetere i pezzi sostitutivi nel tempo. Per questa ragione ha poco senso parlare di tradizionali tavole di progetto, in quanto la circolazione delle informazioni avviene per intero con modalità digitali.

Per la sua versatilità di impiego, il legno ben si presta a cogliere le trasformazioni indotte dalle tecniche di Industria 4.0, intese come il collegamento tra la sensoristica, l'elaborazione del dato e la fabbricazione digitalizzata (Zengado Li et alii, 2018), rendendo praticabile il dialogo tra modelli digitalizzati e macchine operatrici (CAD/CAM) in modo continuo, dinamico e facendo registrare

quindi i reali vantaggi dell'interconnessione tra la fase di progettazione e produzione: la possibilità di progettare componenti sempre più 'a misura', a fronte di costi contenuti dalle economie di scala, la valutazione della fattibilità tecnica (ed economica) di alternative sin dalle prime fasi di ideazione dei componenti. La diffusione di software per la gestione di geometrie – anche complesse – e l'interfaccia con piattaforme di gestione di macchine operatrici (tramite ad es. Arduino), rendono facilmente realizzabili anche strutture lignee ardite (Kallegias and Pattichi, 2016).

Così, oltre alle tradizionali tecniche di prefabbricazione del legno, le opportunità date dalla digitalizzazione permettono costi mitigati dalla standardizzazione dell'industria, prodotti personalizzabili e sostenibili (Hildebrandt, Hagemann and Thraen, 2017). Nello specifico, oltre alle note innovazioni del legno industrializzato (CLT, XLAM, etc.) vi sono esempi che dimostrano come sia possibile realizzare, attraverso la stampa 3D, non solo pannelli ed elementi tecnici, ma anche il complesso sistema delle connessioni (Robeller, Mayencourt and Weinand, 2014).

Aritmopoiesi², tra legno e fabbrica – La finalità della presente sperimentazione progettuale, orientata alla piccola scala, è quella di individuare criteri e modalità nuove (alla luce delle innovazioni sia sul terreno degli studi xilologici, sia nel campo stereotomico e delle potenzialità della progettazio-

ne tramite modellazione informativa) in riferimento all'applicazione del legno nelle costruzioni. Gli assunti di progetto che hanno caratterizzato la sperimentazione sono stati: a) il superamento della concezione mono-specie del materiale-legno, in favore di una concezione pluri-specie; b) una riflessione sulle differenti modalità di degrado del legno, in relazione alle differenti collocazioni delle singole parti nell'organismo edilizio, in una prospettiva di obsolescenza programmata; c) una caratterizzazione geometrica liscia (a-poliedrica) delle superfici di separazione nelle giunzioni, puntando ad abolire quelle tradizionali a matrice poliedrica, al fine di facilitare la removibilità e la sostituzione dei pezzi obsoleti; d) un percorso verso un sistema di interfaccia tra progetto e macchine CNC; e) i riferimenti a fonti storicizzate precedentemente citate.

In concreto lo sviluppo della sperimentazione coincide con la messa a punto delle soluzioni progettuali a partire dall'impianto tipologico fino allo studio delle classi di unità tecnologiche, degli elementi tecnici, dei componenti e dei nodi di connessione: a) cinque unità funzionali, concepite in modo aperto (Figg. 1-3); b) ipotesi di configurazioni multiple a carattere seriale (Fig. 4); c) attacco a terra (Figg. 5-8); d) scansione in tre livelli delle partizioni verticali (Figg. 1-4); e) coperture, modulate secondo i tipi (Figg. 1-4); f) adozione di giunzioni di tipo 'a-poliedrico' congruenti con specifiche lavorazioni a controllo numerico (Figg. 5-14).



Figg. 2, 3 - Left: Perspective view of Type 2. Right: Perspective view of Type 5.

Mono-specie e pluri-specie legnose – La posta in gioco tra mono e pluri-specie legnosa, in un organismo costruito, presuppone ampie riflessioni. Prima di tutto si impone il fatto che ciascuna specie legnosa, tra latifoglie e resinose, tra zone temperate e tropicali, presenta caratteristiche peculiari, di massa volumica, di elasticità, di resistenza a compressione, ma soprattutto a trazione, di resistenza ai vari fattori di degrado, dettagliatamente spendibili nel variegatissimo complesso di esigenze di un sistema edilizio. Specularmente, sussiste un risvolto dal punto di vista della sostenibilità ambientale. Nel senso che legni dotati di caratteristiche egregie non sono per lo più disponibili nel mercato e magari sono sottovalutati, per non dire sprecati, selvicolturalmente, come per esempio la robinia (*Robinia pseudoacacia* L.) che è dotata di altissima resistenza a trazione (Laner, 2009).

Per questo nel caso delle cabine-spogliatoio tutte le ‘spine’ sono pensate di robinia, così come tutte le ‘mollette’ lignee di connessione sono di elasticissimo frassino (*Fraxinus excelsior* L.). Le foderature comuni sono invece di abete rosso, ma quelle più esposte sono di larice. Infine i pezzi ad altissimo rischio di usura, (gocciolatoi, piedi), sono di legni tropicali, tra cui l’ipè (*Tabebuia longiflora* Griseb.), l’azobé (*Lophira alata* Banks) o l’iroko (*Chlorophora excelsa* Benth).

Differenti modalità di degrado del legno nell’organismo costruito – I fattori a causa della deperibilità del legno traggono essenzialmente origine da proibitive (per il legno) condizioni climatiche, peraltro se prolungate nel tempo. Alterazioni termigrometriche, rispetto alla norma, come elevamento di umidità e calore, intensificano la probabilità di un attacco patogeno, sia fungino, sia entomatico. Un opposto fattore di degrado del legno va imputato a eccessiva esposizione ai raggi UV insiti nel soleggiamento (fattore predominante nei manufatti per la balneazione). La letteratura specialistica al riguardo è oltremodo estesa ed esaustiva, ma ciò che qui conta considerare sono i differenti effetti che si possono venire a produrre in un dato organismo costruito, in ordine alle sue diverse parti e in ordine ai diversi livelli di esposizione.

È evidente che un punto vulnerabile è costituito dall’attacco a terra. Il fenomeno qui da contrastare è l’umidità di risalita, oppure quella di discesa non opportunamente dissipata (anche questa assai grave e che quasi sempre ha cause antropiche, compresi errori nella progettazione e nell’esecuzione). Conta poi il parallelo risanamento di zone a scarsa areazione, le cui combinazioni con quanto appena scritto, sono all’origine di un micro-clima negativo per il legno. Le forme di trattamento protettivo finora approntate sono soltanto parzialmente esaustive. E i promettenti tentativi di soluzioni a carattere nanotecnologico non hanno ancora superato la soglia sperimentale. Ecco dunque che nei punti di massima sensibilità è giocoforza procedere in due direzioni: scelta di una specie legnosa altamente resistente, programmazione di una più frequente sostituzione di quei pezzi che vanno fuori-uso.

Nella sperimentazione progettuale, per il Piede, quello situato nel livello più basso, praticamente a contatto con il terreno, legni assai idonei sono quelli appena poco sopra indicati. Per motivi opposti, il criterio di una maggiore durabilità in funzione di una specie legnosa più idonea, in sim-

biosi a quello di una agevole removibilità, vale anche per quelle parti alte che sono soggette a un più intenso soleggiamento. In ogni caso, anche nelle parti intermedie, dove i fenomeni sono più contenuti, persiste nell’idea progettuale qui sviluppata, l’agevole giustapposizione-rimozione di ogni singolo pezzo, in quanto non sono mai da escludere motivi di deterioramento di origine antropica o, comunque, accidentale.

Giunzioni a carattere poliedrico e a-poliedrico, un contributo rivoluzionario tra digitale e stereotomia lignea – Così come nell’architettura lapidea il linguaggio delle superfici, in termini di texture, è tributario del particolare tipo di utensile adottato (ascia, boccia, scalpello, ecc.), fino ad assurgere a fenomeno identitario, così pure, per quanto riguarda il legno, il linguaggio delle giunzioni è, esso stesso, in affinità con gli specifici utensili che la tecnologia ha via via generato. Merita comunque riflettere su di una costante, ossia, il carattere planare che per la maggior parte riflette l’azione di taglio. Se si escludono, torni, mechie, trivelle e frese, con un ruolo comunque minoritario, le seghe, le pialle, gli scalpelli, i bedani e, in fin dei conti, pure le asce, sviluppano un’azione di taglio planare. Tutto ciò muove in perfetta coerenza con i linguaggi geometrici praticati in chiave progettuale, dove le strutture spaziali sono intrinsecamente poliedriche. Dove una linea è indicativa di uno spigolo, di un cuneo, di un diedro e dove un vertice è indicativo di una cuspide a più diedri intersecanti.

Questa intima relazione tra geometria e strumento è ciò che ha reso magnifico, e oltremodo efficiente, la scienza stereotomica (a partire dal XVI sec.) che ha permesso di attenuare, ragionevolmente, le difficoltà di combinazione tra un pezzo a geometria di una certa complessità e il suo complementare, ovvero tra un positivo e un negativo. Questo connubio era del tutto impraticabile – stereotomicamente – nel caso di geometrie di tipo non poliedrico. D’altro canto, per il fibroso e anisotropo legno, la stereotomia poliedrica è un fatto esiziale, in quanto con la frantumazione dei tessuti, associata alle concentrazioni di sforzo che si vengono a determinare tra spigoli (cunei) e diedri e tra cuspidi e cavità poliedriche, si vengono a vanificare le sue rilevanti doti materiche, ponendo la necessità di onerosi sovradimensionamenti al

fine di bilanciare il deficit statico prodotto.

Con l’avvento delle tecniche di disegno computerizzato e con l’associazione del digitale alla meccanica, questo impedimento – pluri-secolare – si viene a vanificare. Diventa facilmente praticabile scavare, sia un positivo, sia un negativo, tra loro congruenti, anche sulla base di una geometria non poliedrica. Per il legno ciò significa un radicale salto di paradigma (bisogna dire ancora non del tutto compreso), in quanto tutte quelle limitazioni dovute a fibrosità e anisotropia si vengono, certo non a eliminare del tutto, ma ad attenuare. Realizzando quindi giunzioni arrotondate negli spigoli e magari inventandone di nuove ad hoc (poiché le tecnologie, approfondendole meglio, lo consentono), a parità di massa impiegata si possono ottenere strutture più efficienti, oppure a parità di prestazione è richiesto meno legno. In ogni caso è presupposta un’incomparabile nuova libertà progettuale. Se poi questo tipo di visione si relaziona con quanto si va sperimentando sul terreno della robotizzazione nei processi di montaggio (Dell’Endice, Odaglia, and Gramazio, 2017) ben si comprende come il salto di qualità progettuale e realizzativo diventi davvero notevole.

Soluzioni progettuali e organizzazione di un database – L’obiettivo posto già dalle prime fasi della sperimentazione è stato quello di progettare le cinque piccole unità funzionali e al contempo concepirne tutte le parti in modo sistemico per poi porre in essere un database di componenti, numerabile, coerente, razionale e implementabile, con l’obiettivo di migliorare i workflow tra gli operatori (progettisti, produttori, gestori) e consentire di riutilizzare le informazioni generate durante la progettazione e la costruzione dei piccoli edifici, ampliando le possibilità di scelta. Allo stato attuale della ricerca il database si compone di centotrenta voci, alcune delle quali contemplano coppie simmetriche di pezzi, mentre altre ne contemplano famiglie.

Con opportuni inserimenti di pezzi speciali, in grado di colmare lacune generate da iterazioni, ribaltamenti, simmetrie, ecc., ciascun componente può essere sviluppato sia in linea secondo il piano frontale (X), sia in linea secondo la direzione normale a questa (Y). Le combinazioni che a questo punto si vengono a determinare diventano innumerevoli. Nel corso delle prime verifiche effettua-

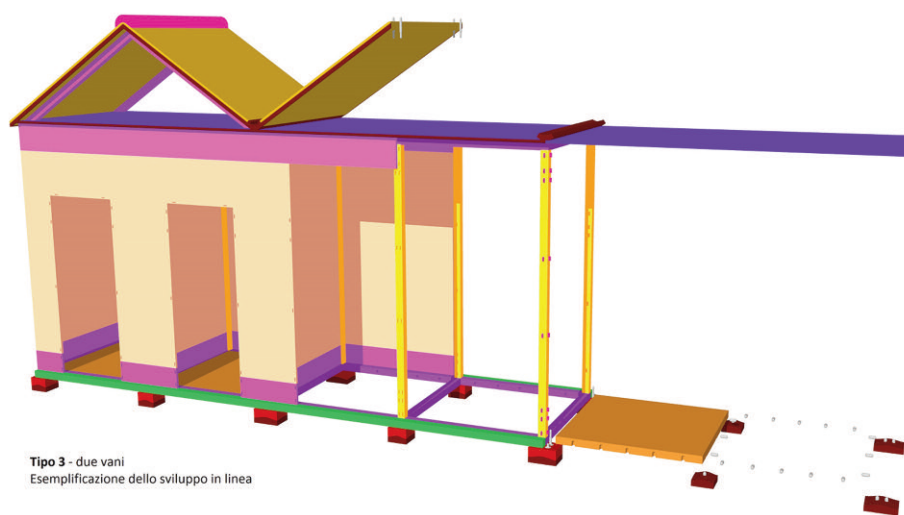
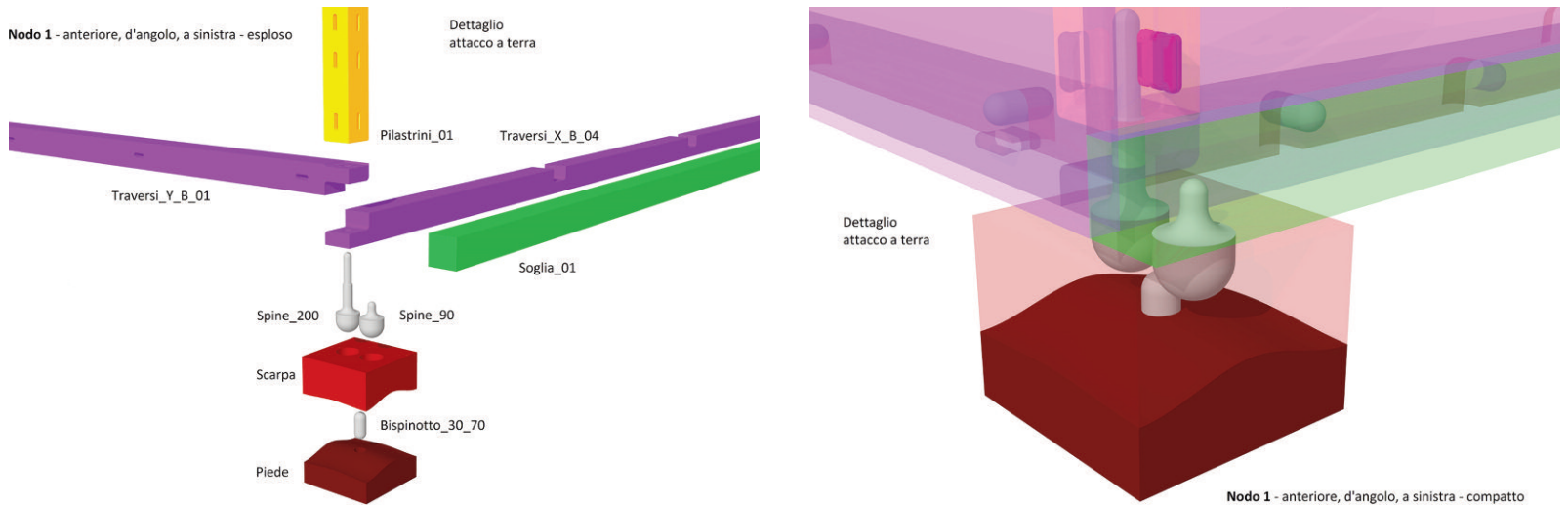


Fig. 4 - Multiple hypothesis for Type 3.



Figg. 5, 6 - Left: Exploded perspective view Node 1. Right: Compact perspective view Node 1, with transparent surfaces.

te con pochi pezzi aggiuntivi rispetto ai normali, comunque già facenti parte del database, si sono potute toccare con mano svariate configurazioni perfettamente congruenti (Fig. 4).

Un aspetto progettuale di particolare sensibilità ha riguardato l'attacco a terra. Il Piede rappresenta un pezzo ad alto sacrificio (Figg. 5-8), sovrastato da una Scarpa meno soggetta a deterioramento. Per facilitare il disinserimento del Piede qualora degradato, la superficie di separazione tra i due è generata da linee a forma gaussiana, curando che le rispettive cuspidi siano sempre rivolte verso l'alto. Tale accorgimento, oltre a facilitare lo sfilamento del pezzo, sfavorisce il ristagno d'acqua. Sulla Scarpa poggiano i Traversi e il collegamento in verticale tra le varie parti è dato da un particolare tipo di Spine che, essendo di opportuna lunghezza, vanno a inserirsi nei sovrastanti Pilastrini facenti parte della fascia intermedia della costruzione. Nei vuoti formati dall'intelaiatura orizzontale si collocano i tavolati (Impianciti) di legno di larice (*Larix decidua* Mill.) vincolati ai pezzi dell'intelaiatura per mezzo di spinotti, ma dotati di un grado di libertà di movimento verso l'alto grazie alle incisioni semi-passanti (orientate verso il basso) che ne consentono la rimozione (Figg. 6-8).

Sui Pilastrini, per mezzo di un dispositivo di aggancio elastico e, pertanto, reversibile, di legno di frassino (Molletta), si addossano le tavole di fasciame (Pareti). Per questi pezzi le varianti sono necessariamente molte per diverse ragioni. Un primo fattore di moltiplicazione consiste nella scansione in tre livelli dell'intera elevazione caratterizzata da obsolescenza differenziata. Un secondo fattore consiste nella necessaria varietà distributiva di ogni singola tipologia di prodotto (Figg. 1-4). In copertura un primo ordine di pezzi è dato dai Traversi, ma adattati per la posizione sommitale, sui quali poggia un pannello (Cielo), attraversato dai Puntoni, con funzione di partizione orizzontale. Appena al di sopra si sviluppa l'incastellatura triangolare formata dai Puntoni e dai Traversi, sovrastata dalle Falde (sottili pannelli di X-lam di larice). La chiave sommitale dell'incastellatura triangolare, in cui agiscono coppie di Bi-spine, doppiamente modulate nei diametri, è data dal Colmo, che svolge anche la funzione di sigillo nel punto più alto della costruzione (Figg. 9-11). Un Telaio e una Porta sono concepiti come filtro tra esterno e interno dei vani.

La piccola scala ha facilitato la messa a punto di un database di tutti i componenti descritti, per la gestione del sistema edilizio. Le informazioni contenute sono di tipo 'relazionale' in quanto, oltre a definire le caratteristiche del componente in termini qualitativi e quantitativi, includono le combinazioni tra componenti (connessioni), le propedeuticità di installazione, il tempo residuo di funzionamento, la scansione temporale preventiva delle attività manutentive da effettuare prima del montaggio sui singoli componenti. Lo schema del database digitale è di tipo 'a stella' (Kimball and Ross, 2011): dall'elemento gerarchicamente superiore (l'intero sistema costruttivo con le sue caratteristiche d'insieme quali peso complessivo, costo, tempo d'uso, ecc.) si dirama nei suoi sottosistemi (attacco a terra, copertura, partizioni verticali e orizzontali) e successivamente nei nodi, giunti e tasselli innovativi. La laboriosità nella definizione di questo schema sarà ben ripagata dal controllo delle relazioni tra tutti gli elementi e dalla possibilità di implementare il database a seconda della complessità del progetto.

Conclusioni – L'esperienza di ricerca e sperimentazione condotta, sebbene incentrata sulla piccola scala, ha aperto uno scenario carico di potenzialità sul versante della modalità di progettazione strettamente collegata alle potenzialità produttive. La strutturazione di un database digitale di componenti, che potenzialmente potrebbe contenere collegamenti al modello geometrico e, tramite i necessari strumenti di interfaccia, collegamenti ai file di produzione, rivendica la centralità del progetto coinvolgendo al tempo stesso tutti gli 'attori' in una progettazione coordinata e aperta all'intero ciclo di vita del piccolo manufatto, promuovendo: collaborazione, consenso su obiettivi concordati, tempistica e benchmark, identificazione di strategie praticabili, multidisciplinarietà, sostenibilità, (ambientale, sociale, economica), condivisione delle informazioni, trasmissibilità dell'esperienza.

Nell'ottica di ottimizzare i processi di produzione dei componenti, l'obiettivo più ambito è quello di limitare i passaggi interpretativi tra progetto e cantiere, al fine di ridurre le fisiologiche distorsioni di informazioni determinate da problemi di interoperabilità tra software, ancora non del tutto risolti (Pavan et alii, 2014). Nonostante ciò i van-

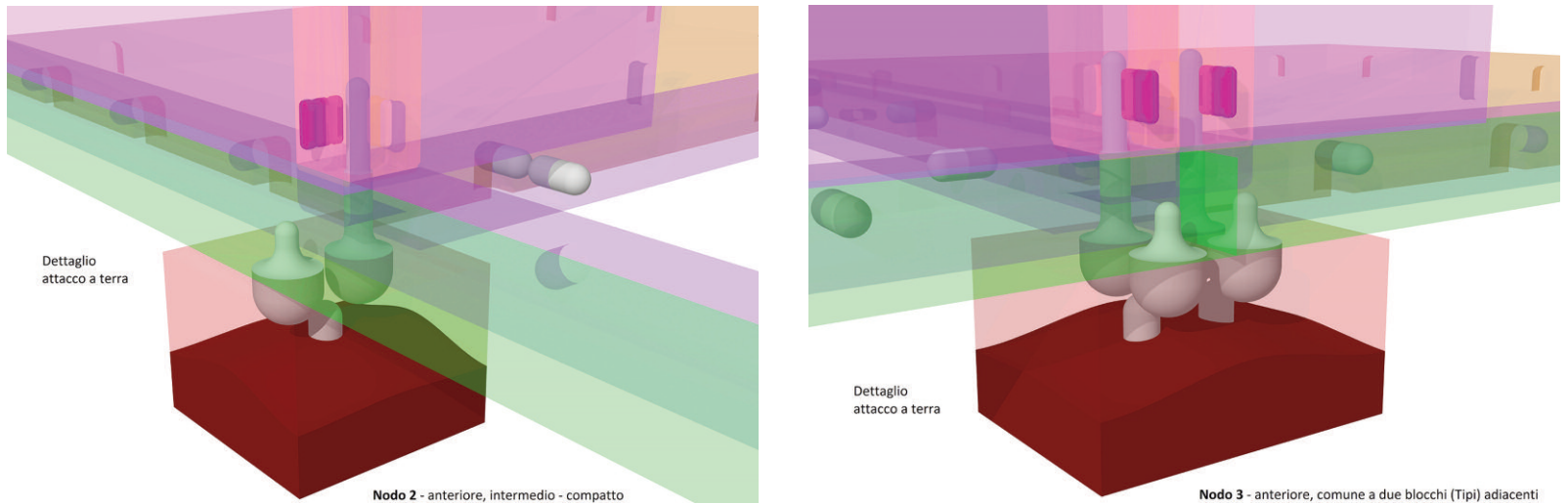
taggi sono dati dall'affidabile esecuzione e controllo delle caratteristiche dei componenti realizzati attraverso il database, oltre alla possibilità di registrare dinamicamente il fabbisogno di pezzi, l'avvenuta realizzazione e le eventuali note del produttore.

Per quanto riguarda la possibile proiezione industriale della presente sperimentazione progettuale – in una visione di futuro mercato – attualmente sono in corso concreti contatti con un'azienda del settore legno. Al tempo stesso, sotto il profilo delle verifiche preventive di fattibilità, possiamo contare una prassi consolidata di protipizzazione di pezzi speciali, a carattere sperimentale, presso una struttura che dispone ciclicamente di CNC. Inoltre, è in atto una collaborazione con il Laboratorio Prove Materiali e Strutture di Sapienza Università di Roma, al fine di ottenere valori prestazionali su apposite campionature di pezzi, oltre a rapporti finalizzati alle simulazioni di calcolo agli elementi finiti.

ENGLISH

Temporary facilities intended for bathing services, although including moderately-sized artefacts, are well suited for representing an experimentation context oriented towards technological innovation and advanced principles of environmental sustainability. These facilities have been the subject of study for great masters of architecture, such as Le Corbusier with the famous Cabanon, a minimal unit that lives in symbiosis with the coastal environment (Alison, 2006), or Aldo Rossi with his Cabine dell'Elba (cabanas at Elba), wooden constructions connected to sea culture (Rossi, 1999).

These small buildings can represent miniature technological models (Battisti, 2012), characterized by reduced costs and building times, able to convey knowledge and environmental good practices, and can be suitable models for a widespread usage of experimental technologies. They can be sustainable solutions to equip coasts, in order to provide appropriate spaces for bathing services and temporary and seasonal facilities, by including prefabrication systems suitable for preserving the identity of places and for enhancing the natural and landscape resources of diverse settings (Lepore and Sonsini, 2009). The design of bathing facilities contributes in affecting the look of coasts themselves, and therefore in determining how suc-



Figg. 7, 8 - Left: Compact perspective view Node 2, with transparent surfaces. Right: Compact perspective view Node 3, with transparent surfaces.

cessful the whole 'tourist enterprise' is. The finished product, from a set of individual components and connections apparently easy to control, transforms into an articulate organism, which requires that consideration is given to concatenating effects of constituting elements, the requirements of displacement and repositioning, dry assembly, lightness, prefabrication, durability, and reuse of parts. Furthermore, it should be remembered, that technological solutions involve many more issues, including those related to programming and production (specifically, industrial production with the aim of exploiting local resources).

These aspects suggest the search for a balance between building practice and natural resources (specifically 'places between land and sea'), and can all be found as peculiar in the usage of light wooden structures. It is precisely because of the versatility of wood and the surprising revival of this production sector, that it is today possible to make use of prefabrication systems based on dry-assembled small semi-finished products, that can favour an increasingly daring use of these solutions. These are apparently simple systems that are rooted in the secular tradition of wooden building; in the Renaissance scientific theories derived from the transfer of knowledge from ship and construction carpenters; in the studies of Philibert De L'Orme, who in the book *Nouvelles Inventions pour Bienbâter* describes a wooden structure with thin segments (Campa, 2009); and in several treatises including the one about Chinese architecture *Ying Zao Fa Shi* from the XII Century, and the one on *Carpinteria de lo Blanco* by Diego Lopez de Arenas, as transcribed by Enrique Nuere. These systems show how wood is well suited for being used in coaction regimens of simple, small elements, that only through dry assembly acquire complex and particularly resistant forms.

In this framework, we intend to present a design experimentation¹ performed in the field of temporary, removable facilities related to bathing services, planned for coasts, with the purpose of introducing innovations in conceiving components and connections, and to highlight the perishability of wood as a material, with a view of reusing parts. Although temporary, these artefacts (small cabanas) are reused periodically and it is therefore necessary to treat durability of components in a new perspec-

tive. Attention has been given therefore, not just to the characteristic durability of wood (Giordano, 1993), but also to the systemic one (Brand, 1997; Celadyn, 2014), related to the different degrees of exposure to degradation, including those caused by repeated seasonal assembly and disassembly, aiming at levelling out obsolescence.

In wooden architecture for short time periods, many shortcomings that are usually neglected, are responsible for perishability: excessive use of metallic 'prostheses'; poor or absent insulation of humidity traveling upwards in ground connections; poor protection from photo-chemical degradation of the most exposed parts; poor construction flexibility, incompatible with easy replacements; rigidly polyhedral joining systems, unsuitable for the stringiness and anisotropy of wood; careless assemblies, that often produce short-term damage. These factors accelerate obsolescence, both in terms of 'necessity' and 'pleasantness' – idiomatic for wood – and also diversify it, thus hindering and complicating the expected durability. For this reason, we aimed at conceiving the whole artefact so that the necessary replacement of parts can be planned and foreseen.

From the methodological point of view, the main choice was to start from the features of wooden prefabrication (Zambelli, Vanoncini and Imperadori, 1998). An open and continuous design was then adopted, which is ideal for a context varying in time and space, considering a number of factors, such as: single material, lightness with respect to volume and weight of each component, reduced encumbrance, manageability and transportability of individual components, innovative connections, replaceability of parts, and accuracy of implementation. Furthermore, the design experimentation was carried out in close integration with computerized production systems, in order to ensure not only a high product standard, but also the information levels necessary to reproduce replacement parts in time. For this reason, it doesn't make much sense to talk about traditional design plans, because the exchange of information is entirely digital.

Because of its usage versatility, wood is well suited for adopting the transformations induced by the techniques of Industry 4.0, understood as the connection between sensors, data processing and digitized production (Zengado Li et alii, 2018).

This makes it possible to have a continuous and dynamic communication between digital models and operating machines (CAD/CAM), which underlines the real advantages of the interconnection between design phase and production: the possibility to design components that are increasingly 'customized', with moderate costs in scale economies, the evaluation of technical (and economic) feasibility of alternatives since the first phases of ideation of components. The spread of software to manage – even complex – geometries, and the interface with management platforms of operating machines (through, e.g., Arduino), make it easy to build even ambitious wooden structures (Kallegias and Pattichi, 2016).

Thus, in addition to the traditional techniques of wood prefabrication, the opportunities provided by digitization enable costs reduced by the standardisation of industry, as well as customized and sustainable products (Hildebrandt, Hagemann and Thraen, 2017). Specifically, in addition to the well-known innovations of industrialised wood (CLT, XLAM, etc.), there are examples that prove how it is possible to produce panels and technical elements, as well as the complex system of connections, by using 3D printing (Robeller, Mayencourt and Weinand, 2014).

Arythmopoiesis², between wood and industry – The purpose of this design experimentation, addressing small scale projects, is to identify criteria and new methods with respect to the application of wood in construction (in light of innovations both in xylological studies, and in the field of stereotomy and the possibilities of design through information modelling). The assumptions defining the experimentation were: a) going beyond the mono-species concept for wood as a material, in favour of a multi-species idea; b) a reflection on the different degradation modes of wood, with respect to the different positioning of the individual parts of the building organism, with a perspective of planned obsolescence; c) a smooth (a-polyhedral) geometric characterization of surfaces in separation of joints, aiming at abolishing the traditional ones with polyhedral matrix, so as to facilitate removability and replacement of obsolete components; d) a path towards an interface system between design and CNC machines; e) references to previously

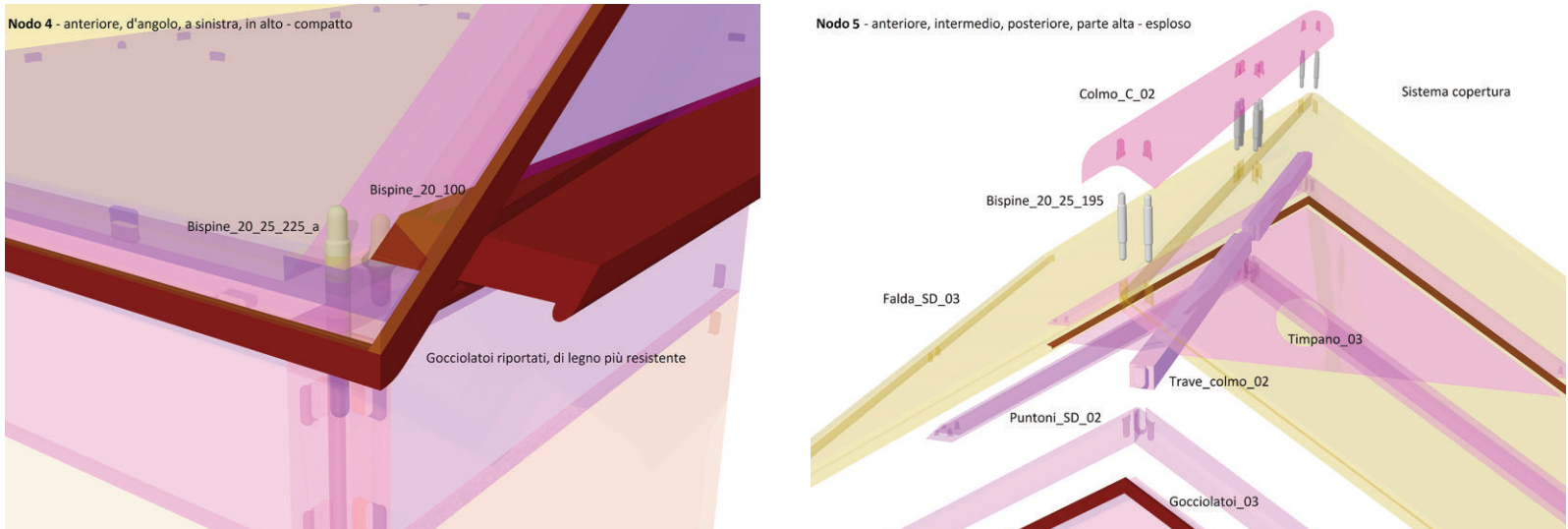


Fig. 9, 10 - Left: Compact perspective view Node 4, located on the top area close to the lower part of the roofing pitch. Right: Exploded perspective view Node 5 located on the top area.

mentioned historical sources.

Practically speaking, the development of the experimentation coincides with the fine tuning of design solutions, from the typological system, to the study of classes of technological units, of technical elements, of components and of junction nodes: a) five functional units, conceived as open (Fig. 1-3); b) hypothesis of multiple serial configurations (Fig. 4); ground attachment (Fig. 5-8); d) three-levels scanning of vertical partitions (Fig. 1-4); e) roofing, adapted according to types (Fig. 1-4); f) adoption of 'a-polyhedral' junctions consistent with specific numerical control procedures (Fig. 5-14).

Mono and multi-species of wood – The stakes involved between mono- and multi-species of wood, in a building organism, imply wide considerations. First of all, the main fact to be considered is that each wood species, from broadleaves to resinous trees, in tropical and temperate areas, has peculiar features in terms of volume mass, elasticity, resistance to compression – but mostly to traction – and resistance to the various degradation factors, that can be used in detail in the very variegated set of needs of a building system. On the other hand, there is a drawback in terms of environmental sustainability. This means that woods with excellent features are mostly unavailable on the market and they may be underestimated, or even wasted in wood cultivation, such as the locust tree (*Robinia pseudoacacia* L.), which has a very high resistance to traction (Laner, 2009).

For this reason, in the case of cabanas, all the 'pins' are conceived as made of locust tree, just as all the wooden connection 'pegs' are made of very elastic ash (*Fraxinus excelsior* L.). Common claddings are instead made of Norway spruce, but the more exposed ones are made of larch. Finally, the parts more subject to wearing (drip caps, feet) are made of tropical woods, including ipê (*Tabebuia longiflora* Griseb.), azobé (*Lophira alata* Banks) or iroko (*Chlorophora excelsa* Benth).

Different degradation modes of wood in the building organism – The factors causing perishability of wood originate essentially from harsh (for wood) climatic conditions, particularly if extended

in time. Thermal-hygrometric alterations, with respect to normal conditions, such as increased humidity and heat, strengthen the probability of an attack by a pathogen, being it a fungus or an insect pest. An opposite factor of degradation of wood is to be attributed to an excessive exposure to UV rays found in sunlight (main factor in artefacts for bathing services). Specialized literature on this matter is very extensive and exhaustive, but what we need to consider here is the different effects that can come into place in a certain building organism, with respect to its different parts and to the different levels of exposure.

It is evident that the vulnerable point is the attachment to the ground. The phenomenon to be contrasted here is the humidity traveling upwards, or downwards humidity not properly dissipated (this is also very serious and is almost always related to human causes, including errors in design and construction). The renovation of poorly ventilated areas is also relevant, since – combined with the factors mentioned above – creates a microclimate that is damaging for wood. The forms of protective treatment adopted so far are only partially exhaustive. And the promising attempts at nanotechnological solutions have not yet passed the experimental threshold. Therefore, in the most sensitive points is inevitable to proceed in two directions: choosing a highly resistant wood species; planning more frequent replacements of out-of-order parts.

In design experimentation, for the Foot, the lowest element, practically touching the ground, the most suitable woods are those listed above. For opposite reasons, the criterion of a higher durability in relation to a more suitable wood species, coupled with that of an easier removability, is also valid for higher parts that are exposed to more intense sunlight. In any case, also in intermediate parts, where phenomena are more moderate, easy replacement-positioning of each individual piece is still central in the design idea described here, since degradation causes of human, or accidental, origin should never be excluded.

Polyhedral and a-polyhedral junctions, a revolutionary contribution between ICTs and wooden stereotomy – Just as in stony architecture the lan-

guage of surfaces, in terms of textures, depends on the specific tool being used (axe, bush hammer, chisel, etc.), to the point of becoming an identity phenomenon, also in the case of wood the language of junctions is, in itself, closely related to the specific utensils that technology has gradually generated in time. It is however worthwhile to reflect on a constant feature, that is the flat nature that mostly reflects the action of cutting. If we exclude lathes, points, augers and milling cutters – which have a minor role in any case – saws, planes, chisels and narrow-bladed chisels, and, ultimately, axes as well, produce a flat cutting action. This is perfectly coherent with geometric languages applied in a design context, where spatial structures are inherently polyhedral, and a line indicates a corner, a wedge, a dihedron, while a vertex indicates a cusp with many intersecting dihedra.

This intimate relationship between geometry and instrument is what made stereotomy magnificent and extremely efficient (since the 16th Century), which allowed to reasonably reduce the difficulties of combining a piece of a certain geometrical complexity with its counterpart, that is between a positive and a negative element. This conjunction was entirely impractical – stereotomically – in the case of non-polyhedral geometries. On the other hand, for the fibrous and anisotropic wood, polyhedral stereotomy is a pernicious fact, since with shredding of textures, associated with concentrations of stress that are created between corners (wedges) and dihedra, and between cusps and polyhedral cavities, its important material qualities are nullified, creating the need for onerous oversizing in order to balance the static deficit produced.

With the arrival of computerized drawing techniques and with the connection of ICTs with mechanics, this centuries-old impediment is rendered null. It becomes easily feasible to excavate both positive and negative elements, congruent to each other, also on the basis of a non-polyhedral geometry. For wood, this implies a radical paradigm shift (not entirely understood yet), because all of those limitations related to stringiness and anisotropy, though not entirely overcome, are mitigated. Therefore, by creating rounded junctions at corners – and maybe even inventing new ones ad hoc (because technologies allow it, if

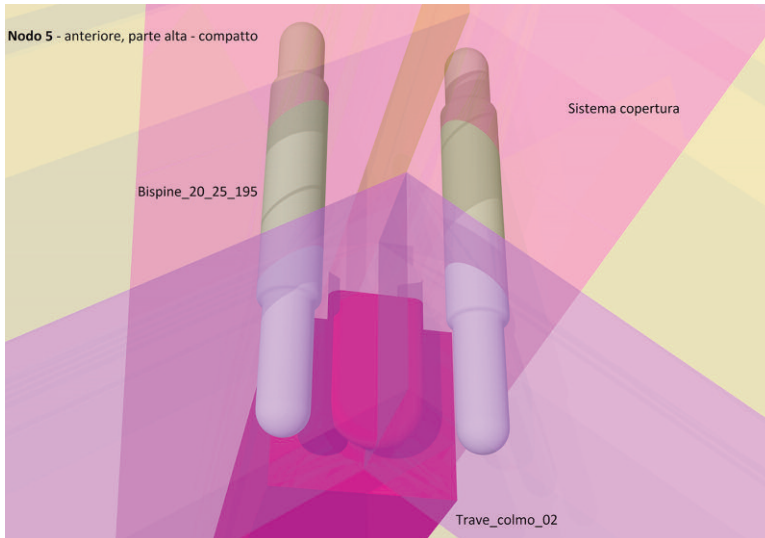


Fig. 11 - Compact perspective view Node 5.

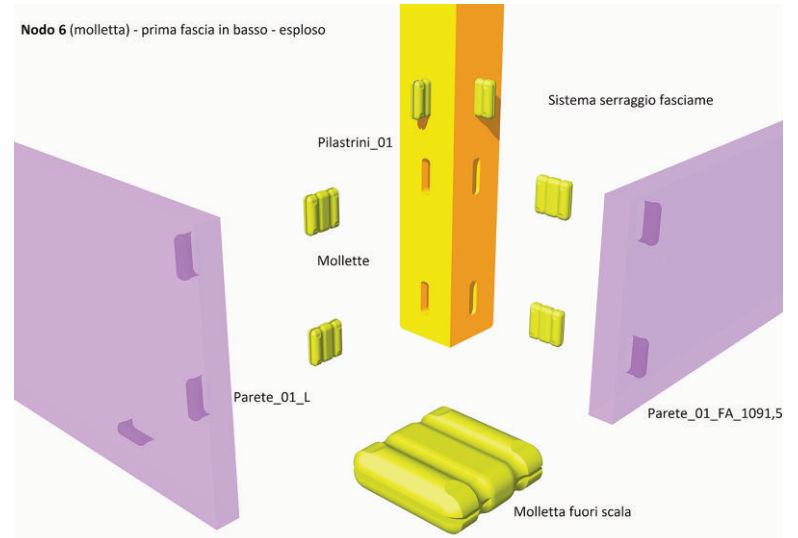


Fig. 12 - Exploded perspective view of some coupling points by means of the Peg component.

studied more in detail) – using the same mass, more efficient structures can be obtained, or for the same performance, less wood is required. In any case, an incomparable new design freedom is available. If we then put into relation this vision with what is being experimented in the field of robotics for assembly processes (Dell'Endice, Odaglia, and Gramazio, 2017), it is evident how the quality leap in design and construction becomes remarkable indeed.

Design solutions and structuring of a database – The objective established since the early phases of the experimentation was to design the five small functional units, and at the same time systemically conceive all of their parts. Then a database of components would be defined, which should be numerable, coherent, rational and implementable, with the purpose of enhancing the workflow between operators (designers, manufacturers, managers), and enable the reuse of information generated during the design and construction of small buildings, increasing available choices. At the current stage of research, the database contains 130 items, some of which are symmetric pairs of pieces, while others are collections.

With appropriate insertions of special pieces, able to fill gaps produced by iterations, reversals, symmetries etc., each component can be placed both along the frontal plane line (X), and along the perpendicular line (Y). The combinations thus generated are innumerable. During the initial assessments performed with a few additional pieces with respect to the normal ones, already included in the database, it was possible to see first-hand several perfectly congruent configurations (Fig. 4).

A particularly sensitive design aspect involved the ground attachment. The Foot is a highly sacrificed piece (Figg. 5-8), above which a Shoe is placed, that is less subject to deterioration. In order to facilitate the removal of the Foot when deteriorated, the separating surface between them is generated by Gaussian-shaped lines, taking care that cusps are always placed facing upwards. This precaution, in addition to facilitating the removal of the component, prevents stagnation of water. On the Shoe, Beams are laid and the vertical connection between the various parts is given

by a particular type of Pins that, being properly sized, are inserted in the overhanging Bollards, included in the intermediate part of the structure. In the voids formed by the horizontal framework, boards (Tiles) are placed, made of larch wood (*Larix decidua* Mill.), joined to the parts of the framework by means of plugs, but with a degree of freedom to move upwards, thanks to semi-passing incisions (oriented downwards) that enable its removal (Figg. 6-8).

On the Bollards, by means of an elastic, and therefore reversible, coupling device made of ash wood (Peg), planking boards are saddled (Walls). For these pieces there are necessarily many variants for several reasons. A first multiplication factor is the arrangement in three levels of the entire elevation, with different obsolescence properties. A second factor is the necessary distribution variety of each single type of product (Figg. 1-4). On the roofing, a first order of pieces is given by Beams, but adapted to the top position, on which a panel (Sky) is laid, crossed by Rafters, functioning as horizontal partition. Just above them, the triangular scaffolding formed by Rafters and Beams is placed, and above it the Pitches (thin X-lam larch panels). The top key of the triangular scaffolding, where pairs of Bi-pins operate, doubly modulated in diameters, is given by the Top, which also functions as a seal in the highest part of the structure (Figg. 9-11). A Frame and a Door are conceived as filters between outdoors and indoors.

The small scale of the project allowed developing a database of all the components described above for the management of the building system. The information contained in the database is of 'relational' type, since in addition to defining the features of individual components in quantitative and qualitative terms, it includes combinations of components (connections), installation requirements, residual working time, and the preliminary time schedule of maintenance activities to be performed on single components before assembly. The digital database schema is of 'star' type (Kimball and Ross, 2011): from the hierarchically higher element (the entire construction system with its overall features, such as total weight, cost, time of use, etc.) it forks into its subsystems (ground attachment, roofing, vertical and horizon-

tal partitions), and then into nodes, junctions, and innovative plugs. The difficult definition of this schema will be well rewarded by the control of the relations between all elements and the possibility to implement the database depending on the complexity of the project.

Conclusions – The research and development experimentation carried out, although focused on small scales, has opened a scenario full of potential as regards design modalities closely related to production possibilities. The structuring of a digital database of components, which could potentially include connections to the geometrical model and – through appropriate interface tools – connections to production files, emphasizes the centrality of design, by at the same time involving all 'actors' in a coordinated planning, open to the entire lifecycle of the small artefact. This promotes: collaboration, consensus on agreed-upon objectives, timelines and benchmarks, identification of implementable strategies, multidisciplinary, (environmental, social and economic) sustainability, information sharing, transmissibility of experience.

With a view of optimizing the production processes of components, the most desirable objective is to limit the interpretative steps between design and construction, so as to reduce the natural distortions of information caused by interoperability problems with software, which have not been fully solved yet (Pavan et alii, 2014). Despite this, advantages are given by the reliable execution and control of the features of components produced by means of the database, in addition to the possibility of dynamically recording the requirements in terms of parts, the completion of construction, and any remarks by the manufacturer.

As regards the possible industrial application of this design experimentation – in a future market perspective – currently, solid contacts have been established with a company in the wood sector. At the same time, concerning the preliminary feasibility assessments, we can mention a consolidated – experimental – prototyping practice for special elements, with a facility that has periodic access to CNC. Furthermore, a cooperation is in place with the Laboratory for Material Testing and Structures of the University of Rome La Sapienza, in order to

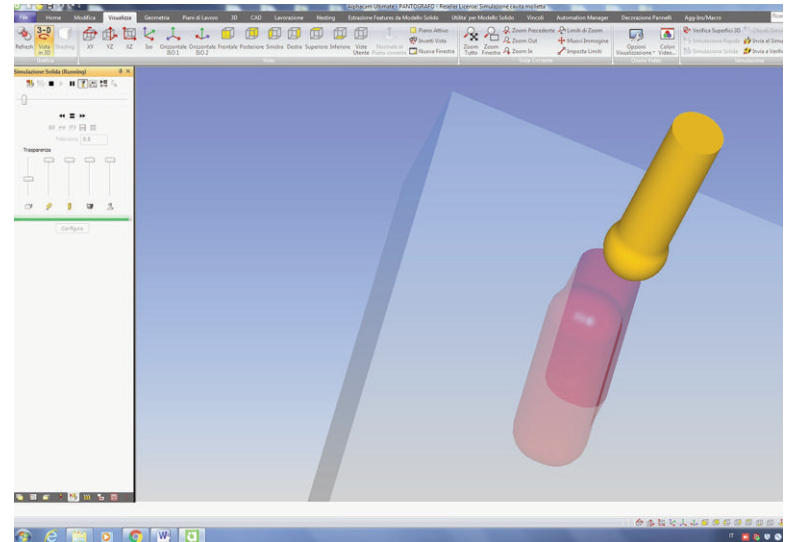
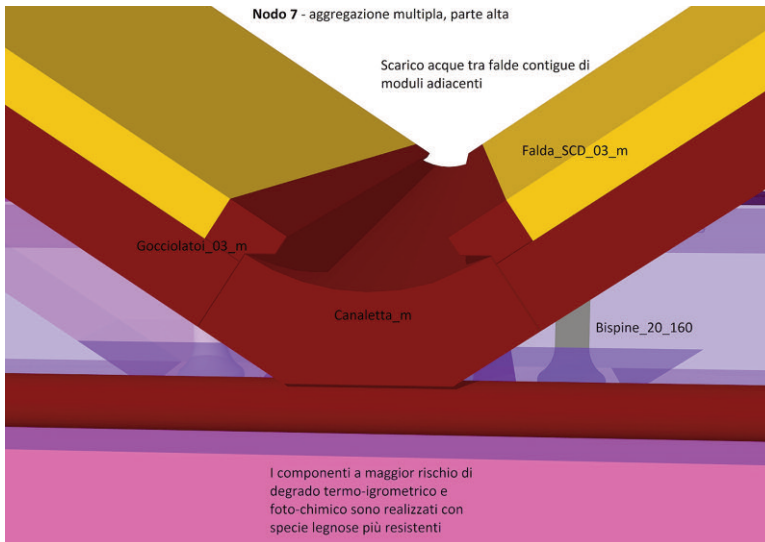


Fig. 13, 14 - Left: Compact perspective view of the drainage system by means of the Conduit_m component, in the multiple configuration hypothesis. Right: Simulation of the action of a milling cutter, with undercut, to restrain a Peg, through Alphacam.

obtain performance values on specific component samples, in addition to reports for finite elements calculation simulations.

ACKNOWLEDGEMENTS

The contribution is the result of a common reflection of the Authors. However, the paragraphs 'Introduction', 'Structuring of a database' and 'Conclusions' are to be attributed to T. Villani, while all the other paragraphs are to be attributed to F. Ragazzo.

NOTES

1) Self-funded research which originated from the experimentations carried out while teaching a course on Technologies and Production, held by the Authors in the Specialization Course on Industrial Design at Sapienza University of Rome. It has been developed with the cooperation of: Canducci Holtzservice (Pesaro) for construction techniques with wood; Alphacam Licom Systems Srl, (Ivrea) for digital modelling and production files; and Legnomeccanica Srl (Rome) for the first experiments with CNC machines.

2) Expression coined by the Author as a synonym, in ancient Greek, of the phrase 'do it with numbers'. The opportunity was given by the exhibition Fallo col Numero, held at the Menna Binga Archive in via dei Monti di Pietralata in Rome (December 2009, January 2010).

REFERENCES

- Alison, F. (ed.) (2006), *Le Corbusier. L'interno del Cabanon. Interior of the Cabanon. Le Corbusier 1952, Cassina 2006*, Mondadori Electa, Milano.
- Battisti, A. (2012), *Technologies for small buildings*, Alinea, Firenze.
- Brand, S. (1997), *How buildings learn: what happens after they're built*, Phoenix illustrated, London.
- Brown, A. (1999), *The Genius of Japanese Carpentry. An Account of a Temple's Construction*, Kodansha International, Tokyo and New York.
- Campa, M. R. (ed.) (2009), *Le Nouvelles inventions di Philibert de l'Orme. Traduzione integrale del testo Nouvelles Inventions pour bien bastir et à petits fraiz*, Aracne editrice, Roma.
- Celadyn, W. (2014), "Durability of Buildings and Sustainable Architecture", in *Czasopismo Techniczne, Architektura*, vol. 7 A (14), pp. 17-26.
- Dell'Endice, A., Odaglia, P. and Gramazio, F. (2017), "Prefabbricazione robotizzata e innovazione", in *MD*

- Journal*, vol. 3, pp. 45-55.
- Ferrante, T. (ed.) (2008), *Legno e innovazione*, Alinea, Firenze.
- Giordano, G. (1981), *Tecnologia del legno*, Utet, Torino.
- Giordano, G., Ceccotti, A. and Uzielli, L. (1993), *Tecnica delle costruzioni in legno*, Quarta Edizione, Hoepli, Milano.
- Hildebrandt, J., Hagemann, N. and Thraen, D. (2017), "The contribution of wood-based construction materials for leveraging a low carbon building sector in Europe", in *Sustainable Cities and Society*, n. 34, pp. 405-418.
- Kallegias, A. and Pattichi, E. (2016), "Elemental Intricacy in Complexity and Simplicity", in *Proceedings of the 34th eCAADe Conference, Wien, 20-22 september 2016*, pp. 475-481.
- Kimball, R. and Ross, M. (2011), *The Data Warehouse Toolkit: The Complete Guide to Dimensional Modeling*, John Wiley & Sons, New York.
- Laner, F. (2008), *Legno e stati di coazione*, Le Guide Peter Cox, n. 5, Flap Edizioni, Mestre (VE).
- Laner, F. (2009), "Legno, design strutturale e CNC", in *Area Legno*, n. 43, pp. 18-22.
- Lepore, M. M. and Sonsini, A. (eds) (2009), *Attrezzature temporanee sull'acqua. Riflessioni per uno sviluppo sostenibile*, Alinea, Firenze.
- Merotto, A. (2017), *Danni e difetti delle costruzioni in legno. Diagnosi, punti critici, soluzioni*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna.
- Pavan, A., Daniotti, B., Re Cecconi, F., Maltese, S., Lupica Spagnolo, S., Caffi, V., Chiozzi, M. and Pasini, D. (2014), "INNOVance: Italian BIM Database for Construction Process Management", in *International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Orlando (FL), 23-25 June 2014*, pp. 641-648.
- Perriccioli, M. (ed.) (2005), *La temporaneità oltre l'emergenza*, Edizioni Kappa, Roma.
- Ragazzo, F. (2013), "Legno, aritmopoiesi, design", in Dal Falco, F. (ed.), *Lezioni di design*, Designpress, Roma.
- Ragazzo, F. (2011), *Curve Policentriche. Sistemi di raccordo tra archi e rette*, Prospettive Edizioni, Roma.
- Ragazzo, F. (2018), "Scavi a spigolo vivo tramite CNC", in *Struttura Legno*, n. 20, pp. 58-65.
- Ribera, A. (2015), *Legno. L'universo costruttivo di un materiale nuovo*, Ribera legnoformazione, Arese (MI).
- Richardson, P. (ed.) (2011), *XS: Big ideas, small buildings*, Universe Publishing, New York.
- Robeller, C., Mayencourt, P. and Weinand, Y. (2014), "Snapfit joints, CNC fabricated, Integrated Mechanical Attachment for Structural Wood Panels", in *ACADIA Proceedings 34th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture, Los Angeles, California*, pp. 189-198.

- Rossi, A. (1999), *Autobiografia scientifica*, Nuova Pratiche Editrice, Milano.
- Villani, T. and Ragazzo, F. (2016), "Legno e architettura: se il CNC aiuta a creare...", in *Legnoarchitettura*, vol. 25, pp. 93-101.
- Zambelli, E., Vanoncini, P. A. and Imperadori, M. (1998), *Costruzione stratificata a secco: tecnologie edilizie innovative e metodi per la gestione del progetto*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna.
- Zengado Li, C., Xue, F., Li, X., Hong, J. and Shen, G. Q. (2018), "An Internet of Things-enabled BIM Platform for on-site assembly services in prefabricated construction", in *Automation in Construction*, n. 89, pp. 146-161.

* FELICE RAGAZZO, President of the Wood Quality Group, is a Designer and Contract Professor at the Graduate Course on Design at the PDTA Department of La Sapienza University of Rome, Italy. Tel. +39 338/94.36.011. E-mail: felice.ragazzo@uniroma1.it

** TERESA VILLANI, Architect and PhD, is a Researcher in Architecture Technology the PDTA Department of La Sapienza University of Rome, Italy. Her field concerns tools for planning and designing renovations; in the residential and healthcare sectors she studied in detail the relation between comfortable and safe spaces, and the use of new technologies and construction systems with wood. Tel. +39 349/59.50.221. E-mail: teresa.villani@uniroma1.it