



# **POLITECNICO DI TORINO**

Corso di Laurea Magistrale  
in Architettura per il Progetto Sostenibile

Tesi di Laurea Magistrale

## **Plywood Design: applicazioni e progetti dalla fine dell'Ottocento alla Digital fabrication. Evoluzione tecnologica del compensato di legno quale componente costruttivo.**

Relatore  
prof. Guido Callegari

Candidato  
Matteo Vittone

A.A. 2018-2019



***“L’oggetto standardizzato non deve essere un prodotto finito,  
al contrario deve essere prodotto in modo che l’uomo,  
con le sue valenze individuali, sia in grado di completarlo”***

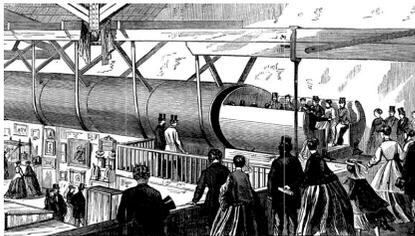
*Alvar Aalto, 1935*

**INTRODUZIONE** ..... p. 8

## **CAPITOLO 1.**

### **Il compensato: applicazioni dall'Ottocento ad oggi**

1.1	Le origini del compensato	p. 17
1.2	America, Europa e i primi brevetti	p. 18
1.3	Il compensato in Interior Design	p. 20
1.3.1	Dal diciottesimo al ventesimo secolo	p. 20
1.3.2	Gli anni 2000 e la Digital Fabrication	p. 40
1.3.3	Analisi tecnologica dei casi studio (TimeLine dal 1790 al 2019)	p. 48
1.4	Utilizzo del compensato in campo aeronautico	p. 52
1.4.1	Diciannovesimo e ventesimo secolo	p. 52
1.4.2	Applicazioni in campo aeronautico oggi	p. 57
1.4.3	Analisi ambiti di impiego in aeronautica (TimeLine dal 1880 al 2019)	p. 60
1.5	Utilizzo del compensato in campo nautico	p. 62
1.5.1	Il ventesimo secolo	p. 62
1.5.2	Applicazioni in campo nautico oggi	p. 70
1.5.3	Analisi ambiti di impiego in campo nautico (TimeLine dal 1840 al 2019)	p. 74
1.6	Utilizzo del compensato nel settore dell'automotive	p. 76
1.6.1	Applicazioni nell'automotive tra 1800 e 1900	p. 76
1.6.2	Applicazioni nell'automotive oggi	p. 82
1.6.3	Analisi ambiti di impiego nel settore automotive (TimeLine dal 1860 al 2019)	p. 84



## CAPITOLO 2.

### Plywood: proprietà, caratteristiche, classificazioni e normativa



2.1	Il legno compensato: generalità	p. 89
2.2	Evoluzione della definizione di “Plywood”	p. 90
2.3	Evoluzione del materiale	p. 92
2.4	Materie prime e tecnologia di fabbricazione	p. 93
2.5	Tipologie di compensato	p. 94
2.6	Caratteristiche e classificazioni del compensato	p. 95
2.6.1	Le classi di qualità	p. 95
2.6.2	Le classi di utilizzo	p. 96
2.6.3	Le classi di incollaggio	p. 97
2.6.4	Gli impieghi strutturali	p. 98
2.6.5	Conducibilità termica	p. 99
2.6.6	Reazione al fuoco	p. 99
2.7	Il compensato in Italia	p. 101
2.7.1	I cloni di Pioppo	p. 101
2.8	Sostenibilità e certificazioni	p. 106
2.9	Quadro normativo di riferimento	p. 108

## CAPITOLO 3.

### Plywood Architecture: dall’Ottocento alla Digital Fabrication



3.1	Plywood architecture	p. 112
3.1.1	Il ventesimo secolo: un nuovo inizio	p. 112
3.1.2	Progetti di architettura sperimentale: HOUSING	p. 119
3.1.3	Analisi tecnologica delle architetture sperimentali: PLYWOOD HOUSING (TimeLine dal 1880 al 2019)...	p. 150
3.1.4	Inquadramento architetture sperimentali: PLYWOOD HOUSING in ambito internazionale	p. 154
3.1.5	Progetti di architettura sperimentale: PAVILIONS	p. 156
3.1.6	Analisi tecnologica delle architetture sperimentali: PLYWOOD PAVILIONS (TimeLine dal 1900 al 2019)	p. 176
3.1.7	Inquadramento architetture sperimentali: PLYWOOD PAVILIONS in ambito internazionale	p. 180
3.1.8	Digital Fabrication	p. 182

**Plywood architecture: sistemi costruttivi e prospettive applicative future**



4.1	Sistemi costruttivi: ricerca	p. 189
4.2	Sistemi Costruttivi: tecnologia	p. 191
4.3	Sistemi costruttivi: classificazione	p. 193
4.3.1	Portal System	p. 194
4.3.2	Box System	p. 196
4.3.3	Core System	p. 198
4.4	Plywood for the future	p. 200
4.5	Plywood for self-build	p. 204
4.5.1	DIY: il contesto Europeo	p. 205
4.5.2	DIY: il contesto Americano	p. 207
4.5.3	DIY: il contesto Italiano	p. 208
4.5.3.1	Autocostruzione in Toscana	p. 210
4.5.3.2	Autocostruzione in Puglia	p. 210
4.5.3.3	Autocostruzione e autorecupero ai fini residenziali nel Lazio	p. 212
4.6	Riflessioni sul concetto di autocostruzione	p. 213
4.7	L'autocostruzione di abitazioni in compensato, la "User House"	p. 214
4.7.1	Fase progettuale	p. 215
4.7.2	Fase di autoproduzione	p. 216
4.7.3	Fase di autocostruzione	p. 217
4.7.4	Il compromesso tra "build-control" e "self-build"	p. 218
4.7.5	Economia diretta o autocostruzione familiare	p. 218
4.8	Il concetto di "share" associato all'autocostruzione	p. 219
4.9	Posizione nel contesto abitativo italiano	p. 220
4.10	Le figure in gioco	p. 221
4.11	Il processo edilizio	p. 222
4.11.1	Fase di concezione	p. 222
4.11.2	Fase esecutiva	p. 228
4.11.3	Fase di esercizio, manutenzione e recupero	p. 237



---

<b>Conclusioni</b> .....	p. 238
<b>Definizioni</b> .....	p. 242
<b>Bibliografia</b> .....	p. 246
<b>Sitografia</b> .....	p. 251
<b>Riferimenti immagini</b> .....	p. 255
<b>Ringraziamenti</b> .....	p. 264

## INTRODUZIONE

L'inizio del percorso di tesi è stato segnato dalla partecipazione in prima persona ad un Workshop proposto durante l'ultimo anno di Laurea Magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile presso il Politecnico di Torino, il quale obiettivo era quello di realizzare un'**architettura sperimentale** usando il **compensato**.

Il workshop, denominato **Pl(a)lywood**, è stato un importante momento di didattica, di innovazione e di incontro tra università e impresa; infatti grazie al confronto con un'azienda del settore, è stato possibile realizzare un'architettura innovativa, sperimentale e studiata al fine di dimostrare la possibilità del compensato di essere introdotto nel mondo architettonico quale **componente costruttivo** per la realizzazione di abitazioni.

Durante il percorso di tesi viene evidenziato il crescente sviluppo di questa tipologia di esperienza didattica e di ricerca avente il fine di progettare e realizzare architetture sperimentali in compensato e non solo. Start-up, enti di ricerca e università rappresentano un campo molto fertile da questo punto di vista, ma che purtroppo, poche volte riescono ad influenzare, almeno nell'immediato, il mercato e le aziende del settore di competenza. Le esperienze didattiche e nel campo della ricerca, soprattutto durante l'ultimo decennio, si sono succedute con grande frequenza, dando un chiaro segno di interesse verso il tema "*compensato*" ed in particolare verso la digitalizzazione del processo, della progettazione e della produzione architettonica, grazie all'impiego di software CAD, CAM e macchine a controllo numerico per il taglio e la realizzazione dei componenti. Questa digitalizzazione applicata alla realizzazione di architetture in compensato, tuttavia, molte volte si è fermata alla carta, o meglio allo schermo, e solo in pochi paesi, come ad esempio l'Inghilterra, ha visto la nascita e la crescita di aziende che hanno puntato su questo materiale per la realizzazione di abitazioni e moduli abitativi. Durante lo studio, sono state incontrate importanti realizzazioni universitarie e non solo, che forniscono buone speranze per un futuro sviluppo di queste innovative modalità e sistemi costruttivi

in compensato.

Il workshop, la curiosità e la passione verso la materia “*legno*”, sono state seguite da un’analisi e da una ricerca meticolosa attraverso un’ampia bibliografia e sitografia, delle esperienze, in architettura e non solo, realizzate con questo materiale.

Facendo quindi un passo a ritroso nella storia, viene ritratto un materiale semplice, in crescita nel tempo, segnato da una continua evoluzione determinata e influenzata dagli scopi per i quali lo stesso è stato utilizzato. La stessa crescita di questo materiale ha determinato a sua volta delle significative innovazioni in tutti gli ambiti in cui è stato impiegato, dall’aeronautica all’interior design, fino all’automotive, per giungere infine all’architettura.

Il percorso è del tutto incentrato sul legno compensato, sulla sua storia, sui suoi utilizzi e in particolare sull’analisi dei sistemi costruttivi e delle tecnologie di lavorazione e produzione, utilizzati per realizzare aerei, auto, imbarcazioni, arredi, padiglioni e abitazioni, dando una visione di insieme dell’importanza e dell’innovazione portata in tutti i campi, da questo materiale. Da una **produzione artigianale** dei primi ebanisti, si è passati ad una forma più meccanizzata delle lavorazio-

ni, che ha visto un risparmio di tempo, di manodopera, un risparmio economico e una standardizzazione del prodotto, una produzione seriale di pannelli, ma anche una personalizzazione totale della conformazione stratigrafica degli stessi al fine di realizzare tipologie diverse di uno stesso materiale, applicabili in campi e condizioni esterne completamente differenti e aventi caratteristiche meccaniche, chimiche e fisiche variabili. In relazione a questo tema vengono introdotte le principali caratteristiche del materiale e le sue classificazioni, inerentemente alla normativa vigente in Italia.

I pregi del compensato sono molteplici e, ancora una volta, questo percorso di tesi punta a valorizzarne le proprietà e le caratteristiche, donandogli credibilità e importanza, tentando di fornire a chiunque una chiave di lettura delle differenti esperienze in campo architettonico e infine fornendo una prima classificazione dei sistemi costruttivi utilizzati e utilizzabili per realizzare moduli abitativi con componenti strutturali in compensato.

Il compensato in architettura introduce nuove modalità realizzative, un innovativo approccio all’architettura, vincolato dalle dimensioni standard dei pannelli, dalle dimensioni massime di lavorazione delle macchine a controllo numerico ma anche dalle nuove possibili-

tà realizzative dei componenti strutturali tramite uno **“share”** dei file di lavoro e di progetto, un continuo **“update”** dei diversi sistemi costruttivi e una semplicità di realizzazione tramite un semplice taglio con macchina a controllo numerico dei componenti strutturali piani, di connessione, di rinforzo e di tamponamento. Il compensato, materiale economico, facilmente lavorabile, reperibile e sostenibile, si adatta molto bene alle nuove lavorazioni e ai nuovi standard di precisione e produzione, imposti dalla **Digital Fabrication**, dalla progettazione digitale, dalla globalizzazione e dai software di modellazione tridimensionale. Infatti, si parla di un materiale in formato di pannello piano, disponibile in diversi spessori, lavorabile a proprio piacimento, per la realizzazione di qualsiasi forma. La progettazione dei componenti inoltre può partire da un disegno bidimensionale dei componenti per il taglio che poi, estrusi in ambiente 3D possono essere assemblati per testarne connessioni, facilità di assemblaggio, comportamento statico, integrazione con altri materiali, sequenze di montaggio, difetti o errori, che possono e devono essere corretti già in fase progettuale.

L'analisi prosegue, dopo un'introduzione dei casi studio, da un punto di vista tecnologico (rafforzato dall'elaborazione di alcune TimeLine), e da un punto di vista tipologico e di diffusione delle esperienze, didattiche e

non, nel mondo, dando così un quadro completo delle realizzazioni e dei sistemi costruttivi utilizzati. Queste analisi, hanno portato ad una classificazione inedita e innovativa dei sistemi costruttivi utilizzati ed utilizzabili nella realizzazione di moduli abitativi con struttura in compensato.

Questi innovativi sistemi costruttivi sono stati utilizzati per la realizzazione di architetture sperimentali legate alla **didattica**, a **workshop** di architettura, di design, di ingegneria, di una sola e isolata applicazione di integrazione al costruito, per la realizzazione di una sopraelevazione, e in applicazioni sperimentali di **autocostruzione**.

In relazione a queste possibilità di impiego nel campo architettonico, è stata indagata la pratica di **autoproduzione** e **autocostruzione** di moduli abitativi in compensato, da un punto di vista normativo, tecnico e delle realizzazioni già effettuate in Europa, in America e in particolare in Italia riguardanti la pratica dell'autocostruzione. L'utilizzo del compensato in questa particolare pratica, è facilitato e supportato dalle possibilità digitali di condivisione in tempo reale dei file di taglio, e dalla possibilità di lavorare facilmente il materiale, sottoponendo i singoli pannelli al taglio con macchina a controllo numerico (CNC) al fine di ricavarne gli ele-

menti costitutivi della vera e propria struttura in compensato, operazione eseguibile in completa autonomia da un singolo operatore.

Importanti esperienze nel campo dell'autocostruzione sono già state effettuate nella realizzazione di architetture sperimentali da parte delle università, ma l'obiettivo è quello di portare questo processo in un mercato reale, giungendo direttamente all'utente finale, al proprietario dell'abitazione, all'autocostruttore reale, colui che utilizzerà l'abitazione autocostruita e che dovrà farsi carico anche della componente economica dell'intervento. La pratica dell'autocostruzione come illustrato durante il percorso, è caratterizzata da elementi positivi, quali il risparmio economico dettato dalla realizzazione in autonomia dell'intervento, ma anche da elementi negativi, quali il poco controllo delle operazioni, la difficoltà di gestione degli interventi, degli investimenti e delle tempistiche di cantiere, che molte volte si protraggono per lunghi periodi, determinando di fatto un impoverimento dell'opera e problematiche nella vita degli autocostruttori, che si trovano senza abitazione e con molte ore dedicate e da dedicare alla realizzazione dell'opera.

Il progetto, indaga le caratteristiche del processo autocostruttivo basato su di un sistema costruttivo in

compensato, sperimentale e innovativo, evidenziandone problematiche legate alla progettazione, all'autocostruzione stessa in termini realizzativi e organizzativi, alla stringente normativa italiana attuale legata alle nuove costruzioni e al processo realizzativo, con l'integrazione tra autocostruzione e interventi puntuali di imprese esterne.

La tesi vuole proporre una riflessione iniziale sulle possibilità e gli scenari futuri legati all'utilizzo di questo materiale in campo architettonico, fornendo così, un punto di partenza dal quale possono nascere riflessioni, studi e evoluzioni future.

Il percorso di tesi si divide in quattro capitoli che ripercorrono quanto introdotto. Le pagine che seguono riportano i contenuti principali della tesi, descrivendo nel dettaglio i differenti capitoli e gli argomenti trattati dagli stessi.

## CAPITOLO 1.

### Plywood: applicazioni dall'Ottocento ad oggi

Il primo capitolo propone un percorso conoscitivo del compensato e dei suoi utilizzi, dalle origini fino ai giorni nostri, dai primi rudimentali pannelli realizzati nell'antico Egitto, fino alle più svariate forme di pannelli di compensato oggi sul mercato, dagli arredi di Thomas Sheraton, della Gardner e le sedie degli Eames, fino alle nuove produzioni e condivisioni nel mondo digitale di Opendesk, passando dalla produzione di aerei da guerra De Havilland fino a innovativi droni in compensato prodotti dalla marina americana e dalle realizzazioni DIY nel mondo delle imbarcazioni.

Il percorso attraverso i diversi "mondi" nei quali il compensato venne e viene utilizzato, si propone di illustrare l'evoluzione di un materiale che per molto tempo è stato disprezzato e che invece possiede delle qualità notevoli. L'evoluzione del materiale stesso ha portato un'innovazione tecnologica che ha mostrato i suoi effetti in tutti i campi nel quale è stato applicato, dalla leggerezza conferita durante il volo, all'invisibilità ai radar delle flotte navali nemiche, fino alla sua elasticità, alla sua facilità di lavorazione e produzione e alla sua resistenza meccanica e agli agenti atmosferici.



## CAPITOLO 2.

### Plywood: proprietà, caratteristiche, classificazioni e normativa

Il secondo capitolo propone un quadro di riferimento e di riflessione sul compensato dal punto di vista delle sue caratteristiche intrinseche, dal punto di vista della sua evoluzione durante la storia, dai cambiamenti apportati alle tecniche di produzione e al suo utilizzo, proponendo una chiave di lettura per i capitoli successivi, incentrata su tecnologia e normativa di riferimento.

Secondariamente viene illustrato lo scenario prevalente in Italia che è quello del compensato di pioppo, sviluppatosi prevalentemente nella pianura padana, ambiente particolarmente favorevole per la sua coltivazione, e lo sviluppo di particolari cloni maggiormente adatti al clima settentrionale, maggiormente resistenti a particolari malattie del pioppo e maggiormente adatti alla produzione di sfogliati per la produzione di compensato.

Dibattito sempre aperto, oggi più che mai, fonte di sviluppo, ricerca e studi, è la sostenibilità dei materiali e del loro ciclo di vita, in questo capitolo vengono illustrate le principali problematiche legate al legno compensato e all'uso di collanti annessi alla sua produzione.



## CAPITOLO 3.

### Plywood Architecture: dall'Ottocento alla Digital Fabrication

Il terzo capitolo chiude il percorso nella storia del materiale illustrando le applicazioni che lo stesso ha avuto in architettura, nella realizzazione di padiglioni, strutture provvisorie, abitazioni, interventi sul costruito e moduli abitativi di emergenza. La presentazione dei casi studio più significativi è accompagnata da alcune TimeLine, che delineano il quadro di riferimento e propongono una base di partenza per le esperienze future, e da alcune cartine geografiche che indicano la localizzazione delle esperienze nello spazio, individuando così i paesi, le università, architetti, designer, ingegneri e le startup più attive in questo campo.

Le modalità di lavorazione, la progettazione e la realizzazione di queste strutture sono cambiate profondamente dopo l'introduzione del supporto digitale, del computer e della rete internet, grazie ai quali, in primis si è giunti a realizzare strutture anche molto complesse, basandosi su algoritmi matematici, sono state poi prodotte e commercializzate macchine per il taglio con precisione millimetrica (CNC) comandate dai computer stessi, e infine si è riusciti a creare delle reti di "share" attraverso le quali è stato possibile condividere esperienze e progetti, oltre che file di taglio per la produzione dei componenti costruttivi.

## CAPITOLO 4.

### Plywood architecture: sistemi costruttivi e prospettive applicative future

Il quarto capitolo pone al centro la tecnologia, in particolare, viene proposta una classificazione delle tecnologie e dei sistemi costruttivi per la realizzazione di abitazioni con struttura in compensato. Il lavoro parte dall'analisi dei casi studio relativi all'architettura, e in particolare quelli relativi all'Housing riportati al punto 3.1.2, dopo di che viene stilata una prima classificazione dei sistemi costruttivi e in un secondo momento si propone un'analisi incentrata sulle caratteristiche degli stessi al fine di acquisire una conoscenza base della tecnica costruttiva e degli elementi principali della stessa. Vengono quindi definiti tre differenti sistemi costruttivi, tutti derivati da esperienze reali, e tutti basati su di una struttura riconoscibile in compensato strutturale. Il confronto tra i diversi sistemi costruttivi individuati viene reso di semplice lettura grazie alla redazione di una tabella conoscitiva dove vengono esplicate le caratteristiche principali di ognuno di essi e da un esplosivo tridimensionale schematico dei modelli strutturali così da renderne evidenti le differenze. In conclusione, vengono introdotti alcuni scenari futuri dell'architettura in compensato, con lo sviluppo di un progetto per l'autoproduzione e l'autocostruzione di un modulo abitativo. Vengono quindi trasposti i concetti di autocostruzione e autoproduzione dalla teoria al progetto, accompagnati dalla descrizione delle caratteristiche sulle quali si fonda il concetto di "User House".





## **CAPITOLO 1**

**Plywood: applicazioni dall'Ottocento ad oggi**

Obiettivo di questo percorso attraverso sperimentazioni e realizzazioni in compensato è quello di analizzarne i diversi impieghi e indagare sulle diverse applicazioni che questo materiale ha avuto durante la sua storia analizzando i metodi costruttivi e i modi con i quali venne impiegato.

Il compensato, come vedremo durante il percorso di tesi, si presenta come un materiale estremamente volubile, prestandosi a diverse tipologie di lavorazioni in relazione al prodotto finito che si vuole ottenere. Può essere utilizzato in forma di pannelli piani o sottoposto a formatura a caldo per ottenere pannelli curvi di diverse forme; può essere composto da sfogliati aventi diverse proprietà, conferendo così al materiale caratteristiche differenti di tenuta agli agenti atmosferici, impermeabilità, resistenza ai carichi, e gli stessi possono essere uniti tra loro tramite collanti più meno resistenti; tutte queste differenze di composizione permettono alle diverse tipologie di pannelli risultanti, di adattarsi a diversi scopi.

Proprio per questa sua natura variabile e grazie alle sue caratteristiche mutevoli in relazione al sito di impiego e alla funzione stessa per la quale deve essere utilizzato, il legno compensato ha trovato spazio, durante la sua storia, nei più svariati campi d'applicazione.

Questo primo capitolo ha il compito, non solo di stupire il lettore, ma anche di esaltare il materiale stesso, presentandone gli utilizzi alternativi, che lo stesso, ha avuto nell'interior design, nell'aeronautica, nella realizzazione di imbarcazioni e nell'automotive.

La presentazione viene accompagnata da alcune TimeLine aventi il compito di riassumere e presentare uno scenario completo di quelle che sono le esperienze maturate nei diversi settori, classificandone alcune caratteristiche ritenute rilevanti.

## 1.1 Le origini del compensato

Il compensato come lo conosciamo oggi, non è nato prima del XIX secolo, tuttavia ritroviamo precedenti sperimentazioni e applicazioni del concetto primitivo di compensato, meglio detto “veneers”, la cui realizzazione si basava sull’utilizzo di piallacci di diversi legni pregiati per nobilitare e rivestire oggetti realizzati con materiali poco apprezzati dal punto di vista estetico.

L’utilizzo di questi sfogliati, è stato ritrovato e documentato nell’Antico Egitto sia da oggetti sopravvissuti per generazioni e diventati poi pezzi da museo, sia da dipinti e rappresentazioni ritrovati sui muri delle caverne, rappresentanti lavoratori del legno con i relativi utensili durante la produzione di sfogliati ai quali veniva applicata della colla per poi essere utilizzati come rivestimento.

Per la fabbricazione di questi oggetti sarebbe stato usato un “veneer hammer” per pressare il piallaccio su una struttura di legno massiccio, attraverso una pressione applicata fino all’essiccazione della colla (a quel tempo, di origine naturale). Generalmente, la direzione delle fibre di impiallacciatura e struttura sottostante in queste prime applicazioni era la medesima.

Il ritrovamento di oggetti realizzati in un materiale riconducibile al compensato rimane comunque molto raro ma ci sono evidenze nell’uso di questa tecnica, fino dalla terza dinastia dell’Antico Egitto (2649-2575 A.C.),

nella realizzazione di sarcofagi. Uno di questi è stato ritrovato nella piramide di Saqqara durante alcune spedizioni archeologiche del 1900, composto da pannelli realizzati attraverso l’unione di sei strati uniti con pioli di legno.

Questo impiego suggerirebbe che gli artigiani che per primi hanno impiegato impiallaccature laminate a grana incrociata, avevano intuito che una tale combinazione di materiali avrebbe dato risultati di resistenza più alti che il legno massiccio.

Sopravvivono limitate testimonianze dell’uso dell’impiallacciatura nell’antica Grecia, mentre l’autore romano Plinio il Vecchio, non solo ha menzionato la realizzazione di mobili impiallacciati, ma ha dedicato un intero capitolo all’argomento nella sua “Naturalis historia”. Plinio descrive il taglio e l’incollaggio degli strati di legno per usi decorativi, mentre non cita un utilizzo legato alla costruzione <sup>[1]</sup>.

La Cina, oggi il maggior produttore ed esportatore di legno compensato (2017, Raute), vide i primi pannelli assemblati con della colla più di mille anni fa con la dinastia Song (960-1279), per migliorare la resistenza del legno intervenendo sulla sua composizione e quindi avviando alla sua eterogeneità.

Anche se spesso si pensa, confortati da molta letteratura in materia, che il compensato fosse utilizzato solamente per il suo basso costo, bisogna ricordare che, per lo meno prima del novecento, non era così. Il compensato era scelto infatti per ragioni di riduzione dell’espansione e contrazione del legno in presenza di umidità e per ragioni di resistenza.

### Note:

1. 2016, MUIB, Made Up in Britain, **Plywood**, [http://madeupinbritain.uk/Plywood](http://madeupinbritain.uk/Plywood;);

## 1.2 America, Europa e i primi brevetti

Le costruzioni in compensato, intese come la realizzazione di arredo d'abitazione e simili, non sono giunte in Europa prima del diciottesimo secolo, mentre già dal 1500 gli sfogliati di origine legnosa, avevano preso piede nella decorazione e nel rivestimento, incoraggiati dall'importazione di legni tropicali pregiati. In seguito nacque e si sviluppò la tecnica dell'intarsio, seguita a ruota dalla moda nelle alte classi della società delle più famose città Europee, come Parigi e Amsterdam, di avere un mobilio caratterizzato da superfici impiallacciate sempre più ampie.

Solo dopo gli anni cinquanta del settecento si svilupparono in Inghilterra delle specializzazioni nella lavorazione del compensato che andavano oltre alla semplice impiallaccatura, vedendo la realizzazione di sedie con schienali più o meno elaborati, tavoli e oggetti d'arredo veri e propri. La lavorazione era ancora molto grezza e richiedeva una certa capacità e qualità della manodopera soprattutto nella realizzazione degli schienali per le sedute più elaborati, che venivano realizzati attraverso un taglio manuale, eseguito con seghe per il legno aventi lame molto sottili e precise, di sfogliati legnosi già uniti tra loro.

Thomas Sheraton (1751-1806), falegname inglese, per la realizzazione del suo "Universal Table", un tavolo da pranzo per due, cinque o otto persone, formato da una superficie centrale e due "wings" estraibili, definì il legno da lui utilizzato come un materiale ottenuto attraverso l'incollaggio di tre layers sottili, lo strato centrale con venatura perpendicolare agli altri due, aventi la funzione di prevenirne le deformazioni.

L'importanza dei brevetti era già riconosciuta allora come l'unica protezione legale per i prodotti innovativi, contro gli imitatori, ed fu per questo che nel 1797, Samuel Bentham, ingegnere navale inglese, brevettò quello che noi oggi definiremmo un antenato del "legno compensato", realizzato grazie all'impiallacciatura di diversi fogli di legno attraverso un collante per formare un pannello più resistente<sup>[2]</sup>.

L'utilizzo del pannello impiallacciato continuò e anzi si ampliò con l'arrivo dello stile Rococò nella metà del 1800, non solo per le sue qualità di resistenza ma soprattutto grazie al suo basso costo e facilità con la quale si potevano ottenere elementi d'arredo ornati e decorati.

John Henry Belter, altra figura di spicco nella storia del compensato, era un falegname tedesco che emigrato a New York, brevettò nel 1858, una tecnica di produzione in serie per arredi in legno compensato, velocizzandola e riducendone i costi di produzione. Si pensi che, utilizzando un unico stampo, gli schienali delle sedie potevano essere realizzati a gruppi di otto<sup>[3]</sup>.

Immanuel Nobel, ingegnere svedese, diventato famoso per aver inventato diverse cose, tra le quali anche esplosivi per l'esercito russo, viene qui citato soprattutto per l'invenzione, nel 1850, del tornio rotante al fine della produzione di compensato<sup>[3]</sup>. Questa invenzione fu molto importante perché permise la successiva sfogliatura di fogli di dimensioni più ampie per la realizzazione di pannelli di più grandi dimensioni.

### Note:

2. 2017, **A short history of plywood in ten-ish objects**, <https://www.vam.ac.uk/articles/a-history-of-plywood-in-ten-objects>;

3. Il figlio di Immanuel Nobel, Alfred Bernhard è stato l'inventore della dinamite oltre che di molte altre cose che hanno cambiato il mondo; il premio Nobel prende il nome proprio dal figlio di Immanuel, Alfred Bernhard Nobel, suo ideatore e fondatore;

<http://thetimberpanel.blogspot.com/2013/09/nobel-plywood.html>,

La prima licenza per il compensato fu rilasciata a John K. Mayo il 26 Dicembre 1865 e nel 1868 ricevette il numero di brevetto RE3092. La sua invenzione consisteva “nel cementare o legare insieme un certo numero di fogli di natura legnosa” sottili, ottenuti dal taglio di una tavola o un tronco (definiti “scale-board”), “con la grana dei layer successivi, o alcuni di essi, trasversale a quella degli altri...” al fine di realizzare pannelli adatti per la realizzazione di coperture, tubi, serbatoi, imbarcazioni e molte altre strutture di cui realizza un elenco specifico<sup>[4]</sup>. Questa lista rappresenta un’idea del vasto impiego che il suo prodotto avrebbe potuto avere, ma non era accompagnata, almeno inizialmente da realizzazioni che ne potevano testimoniare l’efficacia. Nel suo brevetto dedicato alla realizzazione di ponti e per “altri impieghi in ingegneria civile” definisce il compensato da lui realizzato come un materiale superiore all’acciaio, sotto molteplici aspetti (leggerezza, resistenza, prevenzione verso la corrosione) e alla base della realizzazione di ponti rettangolari e tubolari, definiti “tubular”. A questo brevetto non seguì però uno sviluppo imprenditoriale e Mayo non capitalizzò mai la sua idea<sup>[5]</sup>.

Alfred E. Beach, inventore e editore statunitense, nel 1867, presentò all’American Institute Fair di New York, un innovativo mezzo di trasporto pubblico sospeso, che poteva essere installato tra gli edifici o sostenuto da colonne, definito “tube” e anche “Beach Pneumatic Transit”, realizzato interamente in compensato e definito in seguito il predecessore della metropolitana di New York. La costruzione presentata aveva una lunghezza complessiva di 32,6 m, un diametro di 1,83 m e uno spessore del pannello, costituito da quindici

layers uniti l’uno sull’altro trasversalmente, di 38 mm. All’interno del “tube”, grazie a dei potenti ventilatori, il vagone, dimensionato per dodici persone, veniva fatto scorrere avanti e indietro. Il vagone di trasporto era ottenuto dal taglio in mezzeria e riassetto di una sezione del “tube” al quale veniva asportata la copertura al fine di realizzare un vagone simile ad una culla<sup>[6]</sup>.

Il 21 Maggio 1872 fu rilasciato un brevetto alla società Gardner & Co. per l’invenzione di un nuovo sedile per sedie “costruito con impiallaccature di legno aventi venatura trasversale l’una rispetto all’altra incollate insieme...”, con la possibilità di ottenere “una configurazione leggermente concava” con sedili lasciati solidi o perforati<sup>[7]</sup>. George Gardner spiegò inoltre che le sedie realizzate in compensato erano più economiche e più durevoli delle tipologie di sedie realizzate fino ad allora. Nel 1874, Isaac Cole, altro pioniere nell’utilizzo del compensato per la realizzazione di sedie, compose una sedia interamente realizzata con soli tre pannelli di compensato.

In seguito alla Gardner & Co., furono fondate numerose aziende che utilizzavano il compensato per produrre arredi o rifornire l’industria del mobile. Uno dei più grandi in Europa fu “Luterma” a Tallinn (Estonia). La società Cawit nella prima metà del ventesimo secolo fu uno dei principali produttori di compensato utilizzato nell’industria del mobile, ma anche per la realizzazione di bagagli, automobili e velivoli<sup>[7]</sup>.

#### Note:

4. 2017, **Plywood, a material story**, p. 28, “houses, boats, sgips, tanks, floors, pipes, drains, sewers, packingcases, boxes, barrels, sidewalks, cans, pails, tubs, firkins, measurers, cheese-boxes, trunks, valises, dry-docks, canal-locks, mill and factory plumes, masts, spars, outside covering and inside finis of houses, stores, shops, depots, and warehouses, fences, covering of piles, railroad-cars, railroad and suspension bridges, railroad tracks and sleepers, wagons, carriages, and carts, bedsteads, sacking, mattresses, and covering of beds, sofas and sofa-bedsteads, divans, loungers, chairs, and settes.”

5. 2017, **Plywood, A material story**, p. 28, “The application of scale-boards of veneers in layers, the direction of whose grain is crossed or diversified, and which are connected together, forming a material for the construction, lining, or covering of land and marine structures”; <http://patentplaques-blog.com/invention-of-plywood/>

6. Fu in particolare George Gardner a ricevere il brevetto; <http://www.thillmann-collection.de/webe/kollektion/sperrholz/index.html>;

7. Christopher WILK, Elizabeth BISLEY, **Plywood: a material story**, United Kingdom, Thames and Hudson, 2017;

## 1.3 Il compensato in Interior design



Pensando soprattutto agli utilizzi che oggi conosciamo del compensato, si potrebbe pensare che durante la sua storia sia stato prodotto soprattutto in lastre piane, ma così non è; infatti già durante la seconda metà del diciannovesimo secolo iniziò la produzione del “moulded plywood”, modellato nelle più svariate forme, curve e piane, soprattutto legato alla realizzazione, almeno inizialmente, di arredi e in particolare, di sedute e schienali per sedie, formati da un unico pannello o da due componenti differenti. Come vedremo nei punti che seguono però, il compensato ha avuto molti campi di impiego, alcuni anche difficilmente pensabili ad oggi.

### 1.3.1 Dal diciottesimo al ventesimo secolo

Durante il diciottesimo e diciannovesimo secolo ebbero luogo, in tutto il mondo delle sperimentazioni in termini di produzione e realizzazione di arredi, quali sedie, tavoli e mobili in generale, attraverso l'utilizzo di legno compensato, o meglio quello che era, soprattutto inizialmente, un prototipo dello stesso, realizzato attraverso l'impiallacciatura, la sovrapposizione, di più strati di legno di spessore variabile.

Si riporta di seguito uno studio in ordine cronologico delle più significative realizzazioni dei principali designer, architetti e ebanisti, che si sono cimentati nella progettazione e nella produzione dei primi brevetti Europei e Americani, fino alle realizzazioni del 1900 antecedenti l'invenzione delle macchine a controllo numerico (CNC e ambiente CAD/CAM).

Come vedremo in seguito, la tecnologia e la digitalizzazione hanno portato, stanno apportando e porteranno grandi cambiamenti e innovazioni nel campo dell'industrializzazione e nella produzione di arredi, ma non solo, utilizzando il compensato come materia prima.

### 1.3.1.1 The “Universal table”, Thomas Sheraton

**Thomas Sheraton** (1751-1804), nato a Stockton on Tees, arrivò a Londra nel 1790 come ebanista, aprì una piccola cartoleria dove fu autore, editore, libraio, disegnatore e insegnante.

Il suo primo libro *“The cabinet maker upholsterer’s drawing-book”* racchiudeva i disegni di 113 pezzi d’arredo, tra i quali vi era anche un tavolo da pranzo definito *“Universal Table”*; era un tavolo adattabile, al quale potevano sedersi due, cinque o otto persone, formato da una superficie centrale e due “ali” estraibili.

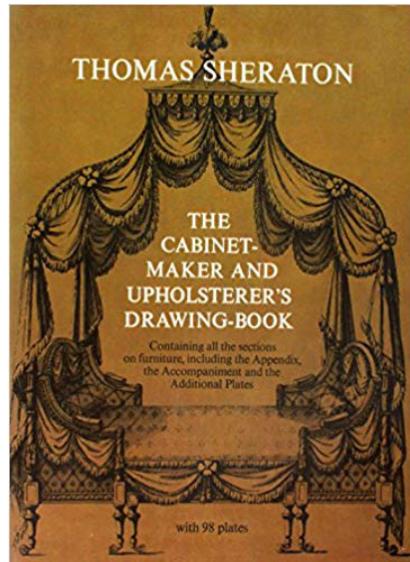


Fig. 1: copertina del libro “The Cabinet-maker and upholsterer’s drawing-book” di Thomas Sheraton, 1791.

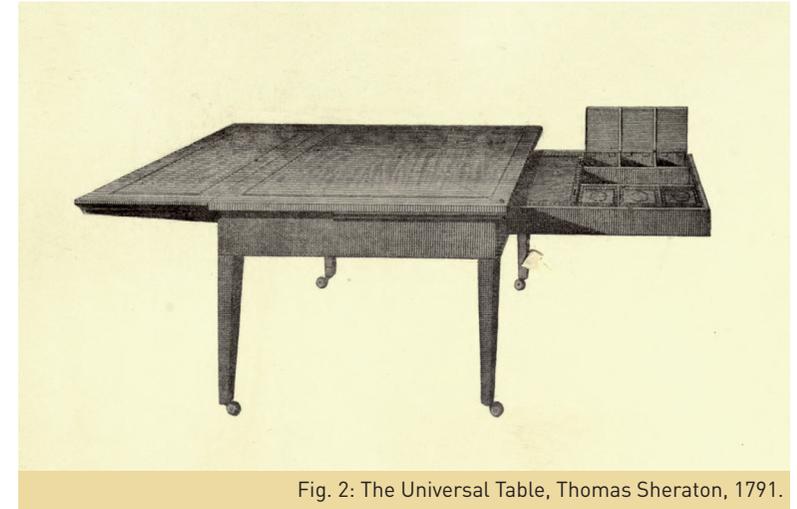


Fig. 2: The Universal Table, Thomas Sheraton, 1791.

Il legno utilizzato era definito nelle descrizioni realizzate dallo stesso autore come un materiale ottenuto attraverso l’incollaggio di tre pannelli sottili, uno strato centrale e altri due con venatura perpendicolare al primo, così da prevenirne le deformazioni.

Potremmo quindi definire questo tavolo come l’iniziatore, il primo, di tanti arredi che verranno prodotti nella storia, da questo momento in avanti utilizzando quello che potrebbe essere definito un predecessore del moderno legno compensato.

### 1.3.1.2 Belter's Rosewood furniture

**John Henry Belter** (1804-1863), nato in Germania, si trasferì a New York nel 1833, dove grazie alle sue qualità da falegname e designer sperimentò nel campo dell'arredo, utilizzando il palissandro, specie legnosa allora popolare negli Stati Uniti.

Nel 1856 ottenne un brevetto per il suo metodo di lavorazione e di produzione di pannelli realizzati attraverso l'impiallacciatura di diversi strati di legno. Questo nuovo processo permetteva la composizione di pannelli attraverso l'incollaggio di laminati che, una volta modellati in stampi attraverso il riscaldamento a vapore, venivano intagliati, realizzando pezzi su misura e della forma voluta.



Fig. 3: Rosewood Belter Bed.

**Note:**

32. 2018, Pamela WIGGINS, **Who Was John Henry Belter?**, [www.thesprucecrafts.com/who-was-john-henry-belter-148715](http://www.thesprucecrafts.com/who-was-john-henry-belter-148715);



Fig. 4: Belter Chair.

In seguito, fondò una grande fabbrica di arredamento, la J.H. Belter & co., che divenne molto famosa per la fattura esemplare di sedie, tavoli e mobili utilizzando il palissandro (appunto "rosewood"). In seguito alla guerra civile americana e alla sua morte, nel 1867, dopo essere passata sotto il nome di *Springmyer Brothers*, la fabbrica fallì <sup>[32]</sup>.

Si riportano alcune delle realizzazioni della Belter's Rosewood furniture, durante gli anni '50-'60 del 1800. Come si può vedere dalle immagini, non vi è più solo un pannello piano che ha la funzione di piano d'appoggio, ma il pannello viene lavorato, modanato, intagliato e decorato per realizzare mobili di pregio.

### 1.3.1.3 Gardner & Co.

La casa americana più influente nel mondo della produzione di sedie in legno durante il 1800 fu sicuramente la **Gardner & Co.**, che precedette nell'utilizzo del compensato monoblocco per la realizzazione di "seats and backs" (seduta e schienale) la compagnia Thonet, di Vienna (Austria).

Anche se inizialmente non venne dichiarato il materiale utilizzato per la realizzazione delle sedute, venne poi indicato il compensato come unico materiale appropriato per essere modellato e forato in quel modo, indicando che l'utilizzo della lamiera sarebbe stato poco pratico per quell'utilizzo.

Viene riportata come esempio la *Doll's Chair*, realizzata dal 1873 in avanti, dove, il telaio di supporto è realizzato in legno di faggio e un unico pannello in compensato, composto da tre layers, forma seduta e schienale della sedia <sup>[8]</sup>.

La Gardner & Co. sarà di ispirazione e influenzerà qualsiasi azienda d'arredo nella produzione di mobili in compensato, dall' America fino all' Europa, che giungerà a conoscenza di queste nuove tecnologie di realizzazione molto presto grazie ad alcune esposizioni.

**Note:**

8. 2017, LoziDesign, **Plywood - Material of the Modern World**, [https://www.lozidesigns.com/new-blog/2017/10/2/plywood-material-of-the-future](https://www.lozidesigns.com/new-blog/2017/10/2/plywood-material-of-the-future;);



Fig. 5: Doll's Chair, non-rocker model, 1873 (sopra).  
Fig. 5A: Doll's Chair, 1873 (sotto).

### 1.3.1.4 Moulded plywood chair

**Isaac Cole**, americano attivo nel campo del compensato dal 1859 in New Jersey, progettò brevettò e realizzò nel 1873 una sedia attraverso l'utilizzo di tre soli pannelli di compensato curvato ("*molded plywood*").

Sicuramente meno pratica e meno robusta delle sedie prodotte dalla Gardner & Co. o da altre grandi imprese del settore in quegli anni, è stato però un forte segnale di interesse verso la sperimentazione nell'utilizzo del compensato, per esplorarne e sfruttarne a pieno capacità tecniche e qualità estetico-realizzative. La sua particolarità, che la rende molto apprezzata ancora oggi, le dona un senso di leggerezza e sinuosità eccezionali.



Fig. 6: Isaac Cole Chair, Patent model for One-piece Plywood chair, 1873.

### 1.3.1.5 Thonet's Armchair

Degna di nota è la compagnia viennese **Austrian Gebrüder Thonet**, fondata nel 1819 da *Michael Thonet* e protagonista durante il diciannovesimo e ventesimo secolo, nello scenario Europeo per la realizzazione di sedute e arredi in legno compensato.

Nel 1880 tuttavia, dopo un'esibizione a Vienna delle sedie realizzate dalla *Gardner & Co.* poterono rendersi conto del "*gap*" qualitativo insanabile con i concorrenti americani, sia dal punto di vista della qualità del materiale utilizzato che della tecnologia di realizzazione.

L'azienda *Thonet* che inizialmente utilizzò la perforazione delle sedute, sulla base dell'esperienza della *Gardner & Co.*, cambiò la sua produzione a favore di una linea di sedute in compensato con motivi decorativi in rilievo.

### 1.3.1.6 Luther's Settee

**Christian W. Luther** (1857-1914) prima di intraprendere il proprio cammino nell'azienda di famiglia, la **A.M. Luther Mechanical Woodworking Factory** (*Luterma*), a Tallin (Estonia), visitò nel 1880-1881 Inghilterra e Stati Uniti, per apprendere le tecniche di lavorazione moderne delle migliori industrie di arredamento in legno compensato. Questo periodo di studio lo portò a conoscere le innovative tecniche di produzione della Gardner & Co. e fu così che, una volta tornato in Estonia, iniziò la produzione di sedute realizzate con compensato a tre strati attraverso l'utilizzo di un "rotary cutter" (lama rotante), e che infine veniva forato.



Fig. 7: hatboxes, bags and suitcases by Luterma.



Fig. 8: Plywood stool, Christian W. Luther.

Dopo un primo periodo di realizzazione ispirata agli arredi della Gardner & Co. però, passò alla realizzazione di diverse tipologie di prodotti, dalle cappelliere alle valigie. Sebbene la realizzazione di arredi e altri elementi fosse preponderante, dal 1890 iniziarono a prendere piede le realizzazioni di pannelli piani di compensato e di casse del tè<sup>[9]</sup>. Durante la prima metà del 1900, l'azienda vide un grande sviluppo, basato sulla qualità degli arredi, molto apprezzati dal pubblico, perchè realizzati in linea con i principi nascenti di modernismo e minimalismo abitativi.

#### Note:

9. Christopher WILK, Elizabeth BISLEY, **Plywood: a material story**, United Kingdom, Thames and Hudson, 2017, p.44-45;

### 1.3.1.7 Chairs and table for children's bedroom, Marcel Breuer

**Marcel Breuer** (1902-1981) architetto, designer e falegname, ungherese di origine ma con una formazione iniziata a Vienna e conclusasi alla scuola di arte e mestieri “*Staatliches Bauhaus*” di Weimar, inizia da mastro artigiano al laboratorio di falegnameria del Bauhaus, dove produce i primi mobili in legno e sperimenta l'utilizzo del telaio in tubolare d'acciaio iniziando a lavorare nel 1929 per la compagnia viennese Austrian Gebrüder Thonet.

Nel 1937 si dirigerà negli Stati Uniti, dove continuerà la produzione di arredi in compensato e alluminio.

Uno dei suoi primi progetti è stato quello di alcune sedute e un tavolo per una camera da letto per bambini, dove il compensato venne utilizzato in forma di semplice pannello piano, non curvato, per la realizzazione di un arredo semplice e ad un prezzo facilmente accessibile.

Questo genere di utilizzo, in pannelli piani, e la possibilità di curvare facilmente questo materiale, furono le due modalità preponderanti nell'utilizzo del materiale nel periodo tra le due guerre mondiali, realizzando arredi, e non solo, profondamente diversi, di pregio altresì differente.

Oggi più che mai il pannello in compensato piano è utilizzato per realizzare diverse tipologie di arredo. Il concetto proposto da Breuer, cioè la realizzazione di mobili d'arredo semplici, a basso costo e adatti ad un utilizzo temporaneo, di durata relativamente breve, quanto possono essere degli arredi realizzati su misura per bambini, è quanto mai contemporaneo, se pensiamo ai principali marchi d'arredo per la massa <sup>[10]</sup>.

### 1.3.1.8 Moulded wardrobe, Bruno Paul

Come detto in precedenza, l'utilizzo del compensato in questo periodo, è un utilizzo che si basa su concetti semplici per raggiungere obiettivi altrettanto basilari, come quello di realizzare sedute e tavoli a basso prezzo, modulari e funzionali, attraverso l'impiego di pannelli piani.

Il guardaroba progettato e realizzato da **Bruno Paul** (1874-1954), architetto, pittore e designer tedesco, nel 1925, sfrutta basicamente un'altra delle proprietà più ricercata in questo materiale, la possibilità e l'unicità del compensato di poter essere curvato e modellato a piacere <sup>[11]</sup>.

#### Note:

10. <http://it.thonet.de/chi-siamo/designer/marcel-breuer.html>;

11. <http://www.sapere.it/enciclopedia/Paul%2C+Bruno.html>;

### 1.3.1.9 Plywood chairs, Gerrit Rietveld

Il compensato, come visto anche in precedenza, molte volte vede l'associazione al suo utilizzo in pannelli piani o curvati, di telai in legno massello o sottili tubolari in alluminio.

**Gerrit Rietveld**, architetto e designer olandese, precursore del design moderno e esponente del movimento De Stijl, utilizzerà in modo esemplare entrambe le modalità di realizzazione. Se infatti la sua “*Red and Blue chair*” verrà riconosciuta come la trasposizione e concretizzazione tridimensionale dei principi figurativi alla base dell'arte di Mondrian, allo stesso tempo sono da segnalare le sedie da lui realizzate utilizzando tubolari di alluminio e pannelli di compensato curvati <sup>[12]</sup>.



Fig. 9:  
Gerrit Rietveld Chair, 1927.

**Note:**

12. <https://www.holland.com/it/turismo/storie-dolanda/mondrian-e-de-stijl/gerrit-rietveld-11.htm>,

13. Ida van Zijl, Marijke Kuper, **Rietveld Gerrit: The Complete Works**, Utrecht, 1992, pp. 74-76.



Fig. 10: Red and Blue Chair,  
Gerrit Rietveld, 1927.

*“La cosiddetta Sedia rossa e blu, dunque, [...] serve anche per dimostrare che è possibile realizzare qualcosa di bello che interviene plasticamente sullo spazio con l'utilizzo di semplici e puri elementi prodotti dalle macchine”* <sup>[13]</sup>

La “*Red and Blue Chair*” riduce i componenti di una sedia-poltrona a quindici travetti in legno di faggio e due pannelli in compensato piani utilizzati per la realizzazione di seduta e schienale. La comodità di questa sedia è relativa ma il concetto che vi è alle spalle fece sì che la stessa divenne un “*manifesto programmatico*”. Altro aspetto importante è il *codice cromatico* da lui utilizzato, nero per la struttura, giallo per le sezioni di taglio, blu per la seduta e rosso per lo schienale.

### 1.3.1.10 Berkey and Gay furniture Company

La **Berkey and Gay Furniture Company**, nata nel 1866 in Michigan, più precisamente nella città di Grand Rapids, definita anche “The Furniture city” per la presenza delle maggiori compagnie di produzione di arredo in America, ebbe una storia di oltre 50 anni nella produzione di arredi, e in particolare di arredi in legno compensato [14].

L'utilizzo del compensato nell'industria del mobile, in quel periodo era nascosto, in forma di pannello, come sostituto del legno massello nella realizzazione di cassetti, piani superiori, ripiani interni e schienali di armadi e talvolta per la realizzazione di piani da scrivania e cassettoni.

### 1.3.1.11 Cantilever and Paimio Armchair, Alvar Aalto

Negli anni '30 del Novecento, in Finlandia, **Alvar Alto** stabilì un vero e proprio stile di design basato sul pannello in compensato singolo utilizzato per realizzare sedute e schienali per sedie.

In poco tempo divenne popolare in tutta Europa, fino a raggiungere l'America. Il concetto era semplice, applicare il pannello curvo in compensato, che come un corpo unico fungeva sia da seduta che da schienale, al di sopra di una base, un telaio, in tubolare d'acciaio o in legno laminato, “cantilever” [15] cioè a sbalzo, con un solo appoggio a terra nella parte anteriore.



Fig. 11:  
Cantilever chair, Alvar Aalto, 1930.



Fig. 12:  
Paimio armchair, Alvar Aalto, 1932.

La sedia riportata in figura 12 è stata la prima realizzata per il Sanatorio di Paimio, che ospitava malati di Tubercolosi, nel 1932, nella piccola fabbrica in Turku di Otto Korhonen, con cui Aalto collaborò [16].

#### Note:

14. <http://www.furniturecityhistory.org/company/3391/berkey-and-gay-furniture-co;>

15. <http://www.wonderwoodstore.nl/en/aalto-cantilever-chair-nr31.html;>

16. <https://www.moma.org/collection/works/92879;>

### 1.3.1.12 Birch Plywood Armchair, Gerral Summers

La “*birch plywood armchair*” del designer inglese **Gerald Summers** (1899-1967), deriva dall’idea del suo stesso progettista di realizzare una sedia da un unico foglio di compensato suddividendola nelle sue strutture ideali:

- gambe;
- seduta/schienale;
- braccia.

Il compensato scelto è lo stesso utilizzato per la produzione degli aereoplani, prodotto da *Venesta*, in sette strati, nel quale, durante la produzione, venivano realizzati degli intagli che avrebbero poi permesso la realizzazione di gambe e braccia della sedia.

La colla veniva applicata su ogni foglio per poi essere collocati uno sopra all’altro, al di sotto di un grande stampo concavo-convesso. Una volta effettuato lo stampaggio veniva ritagliato lo spazio fra le due gambe e poi rifinito il tutto.

Al contrario di quanto si possa pensare però, la sedia una volta terminata aveva un peso notevole, questo dovuto al fatto che per reggere il peso di una persona doveva resistere, e quindi essere realizzata con un compensato formato da ben dieci layers <sup>[17]</sup>.



Fig. 13:  
Birch Plywood Armchair, Gerald Summers, 1934.

**Note:**

17. <http://www.mvsevm.it/en-us/designers/gerald-summers;>

### 1.3.1.13 Dining table and Short chair Marcel Breuer

Ciò che accomuna i due pezzi d'arredo qui presentati, è l'utilizzo da parte del loro ideatore e progettista, **Marcel Breuer** (1902-1981) di una vera e propria trasposizione materica acciaio-legno del telaio di supporto, ispirata alle realizzazioni di Alvar Aalto.

La **Short chair** (figura 14) composta da telaio in legno e unico pannello di formazione seduta-schienale, vede una distinzione chiara tra il supporto delle braccia e il supporto della seduta, attraverso la realizzazione di due telai in pezzi differenti di legno laminato.



Fig. 14:  
Short Chair, Marcel Breuer,  
1936.

Il **Dining Table** (figura 15) invece vede l'utilizzo di particolari gambe accoppiate, con sezione rastremata verso l'interno, formate dalla sovrapposizione di tre strati di compensato.



Fig. 15:  
Dining Table, Marcel Breuer, 1936.

### 1.3.1.14 Prototype seat for conversation chair, Eero Saarinen and Charles Eames

Fino a dora abbiamo visto un utilizzo del compensato in pannelli piani o curvato e modellato in una sola direzione. Ciò che fece negli anni '40 del '900 **Charles Eames** ebbe dello straordinario; applicò infatti una curvatura su più piani elaborando e studiando nuove forme al fine di dare nuova vita alla realizzazione di arredi in compensato, un materiale particolarmente in crisi in quel periodo.

Questa tecnica produttiva e realizzativa fu applicata per la prima volta nella per un prototipo di poltrona (figura 16) presentato alla competizione di "Industrial Design" tenutasi nel 1940 al MoMA di New York e presentata da *Charles Eames e Eero Saarinen*.



Fig. 16: Prototype seat for conversation chair, Eero Saarinen and Charles Eames, 1940.

### 1.3.1.15 DCM (Dining Chair Metal) chair, Charles and Ray Eames

Dal 1945 in avanti **Charles Eames** abbandonò l'idea di realizzare seduta e schienale con un unico foglio di compensato, per intraprendere una strada economicamente e tecnicamente maggiormente percorribile, cioè quella di dividere in due pannelli differenti seduta e schienale, introducendo un telaio di supporto in legno o acciaio <sup>[18]</sup>.

Il compensato in questo modo, veniva lavorato più facilmente ottenendo comunque una curvatura su tre piani. Questa curvatura complessa sarà alla base della realizzazione di gusci di alianti, barelle e stecche in campo medico per arti fratturati in compensato durante la seconda guerra mondiale.

Questa sedia, che abbandona il telaio in legno, a favore di un telaio in alluminio, da allora in avanti sarà alla base del design moderno delle sedute. Il pregio di questa sedia, in competizione con quelle che non necessitano di un'imbottitura, è quello di avere curvature ergonomiche che favoriscono una posizione ottimale dell'utilizzatore.

**Note:**

18. <https://www.eamesoffice.com/the-work/dcm/>;



Fig. 17:  
DCM (Dining Chair Metal) chair, Charles and Ray Eames, 1945.

*“There is no need to qualify the statement.  
Charles Eames has designed  
and produced the most important group of  
furniture ever developed in this country.  
His achievement is a compound  
of aesthetic brilliance and technical inventiveness.”*

**Eliot Noyes, 1946**

### 1.3.1.16 Chair, Rudolf M. Schindler

**Rudolf M. Schindler** (1887-1953), architetto viennese, collaborò negli Stati Uniti con Frank Lloyd Wright tra il 1918 e il 1922, prima di proseguire la sua carriera, sempre a Los Angeles, come professionista indipendente.

Questa sedia rappresenta tutta la semplicità dell'utilizzo del compensato in pannelli piani similmente a quanto fatto in Europa nel periodo tra le due guerre mondiali.



Fig. 18:  
Schindler Chair

### 1.3.1.17 SE 42 Chair, Egon Eierman

In questa sedia, progettata da **Egon Eiermann** (1904-1970) architetto e designer tedesco, si può vedere come Charles e Ray Eames abbiano influenzato i designer contemporanei nella forma, nella composizione e anche per quanto riguarda la tecnica di formatura del compensato appena messa a punto da Eames.

Proprio come nelle sedie di Eames, infatti, anche Eiermann opta per l'utilizzo di seduta e schienale indipendenti, ottenuti da due pannelli differenti e un telaio strutturale, in questo caso realizzato in legno laminato.



Fig. 19:  
SE 42 Chair

### 1.3.1.18 Walnut-faced plywood and tubular steel chair, Ray Komai

In questa sedia, progettata dal designer americano **Ray Komai** nel 1949 e prodotta da J.G. Furniture Co. a Brooklyn, sedile e schienale sono realizzati con un unico foglio di legno compensato continuo modellato in tre dimensioni, dove si può notare l'influenza diretta delle realizzazioni di Eames e Saarinen, con una cavità ovoidale alla base e una stretta giunzione verticale in posizione centrale allo schienale. In questo caso le gambe sono realizzate in legno e la forma è, per il periodo di realizzazione, particolarmente moderna e ergonomica.

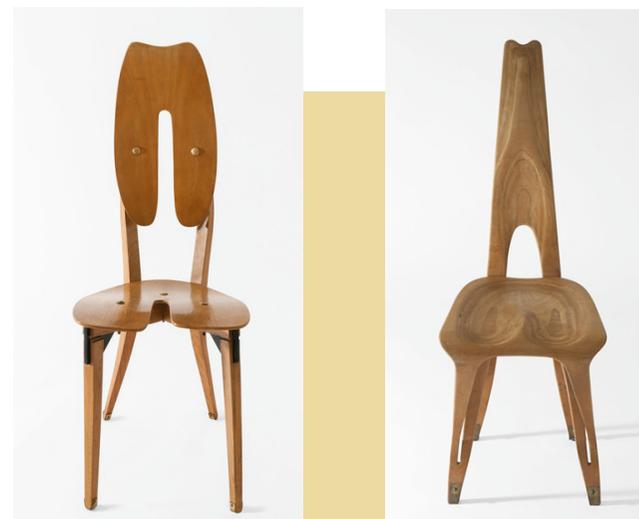


Fig. 20:  
Walnut Chair, Ray Komai

### 1.3.1.19 Realizzazioni in legno compensato di Carlo Mollino

Intorno alla metà del 1900, **Carlo Mollino** (1905-1973), architetto italiano, designer, fotografo e appassionato di aerei, sviluppò un certo interesse verso il compensato, un materiale duttile, volubile, resistente e facilmente lavorabile.

Il primo esempio che suscitò molto interesse fu il tavolo "Arabesco" del 1949, un piccolo tavolo realizzato sulla base di un foglio unico in compensato modellato, curvato e intagliato; seguito, nel 1950 dalla "Lattes Chair", ideata per la mostra itinerante "Italy at Work" a New York.



Altra importante realizzazione, sulla base di queste prime esperienze, fu la “*Copenhagen Chair*”, studiata appositamente da Mollino nel 1952 per la *Kunsthåndværkets Forårsudstilling*, la *Spring Arts and Crafts Exhibition* organizzata dalla *Danish Arts and Crafts Society*.

Mollino passò dal legno massiccio al compensato sperimentandone le possibilità di impiego, di lavorazione e formatura al fine di dare forme complesse, ergonomiche, stilizzate e quasi surreali, alle proprie realizzazioni di design.

Aprì un nuovo scenario nell'utilizzo del compensato realizzando arredi con design alternativi e assimilabili a vere e proprie sculture.



Fig. 21:  
Lattes Chair, Carlo Mollino, 1950 (pagina precedente, a sinistra);

Fig. 22:  
Copenhagen Chair, Carlo Mollino, 1952 (pagina precedente, a destra);



Fig. 23:  
Arabesco Table, Carlo Mollino, 1949 (a lato).

### **1.3.1.20 Q stak chair,** **Robin Day**

**Robin Day** (1915-2010), fu uno dei più importanti e influenti designer nel campo degli arredi in Inghilterra, con una chiara ispirazione verso gli Eames, come del resto la maggior parte dei designer americani e non solo, post 1930. Ripeté in alcuni suoi scritti che tutti i designer che lui conosceva avevano sulla propria scrivania un'immagine della sedia degli Eames (*DCM*). L'influenza del lavoro svolto nel campo del compensato per la produzione di sedie fatto dagli Eames, influenzerà e influenza ancora ai giorni nostri, chiunque dia inizio alla progettazione di una sedia con seduta e schienale in compensato.

Robin Day, nella *Q stak chair*, riprende, studia e si ispira agli Eames ma allo stesso tempo riprende la tecnica di seduta e schienale uniti in un pannello unico quindi e con una sola linea di curvatura.



Fig. 24:  
Q Stak chair, Robin Day, 1953.

### 1.3.1.21 Butterfly stool

Il *Butterfly Stool* del designer giapponese **Sori Yanagi** (1915-2011) è un complemento d'arredo, in legno di palissandro, che combina in modo unico forme orientali con la tecnica di curvatura del compensato sviluppata da Charles & Ray Eames.

La linea curva dei due sedili gemelli di cui è formato questo sgabello, ricorda le ali di una farfalla eternamente pronta per spiccare il volo. Lo sgabello è realizzato in acero o legno di palissandro.

In questa sua realizzazione fonde il “*mingei*”, cioè l'utilizzo delle sole mani per la realizzazione di un'opera, alla tecnologia moderna, riuscendo a realizzare uno sgabello partendo solamente da due pannelli in compensato con la medesima curvatura e alcuni bulloni in ottone di giunzione. Il concetto è quindi fondere il “*realizzato*” a mano con il design moderno, lavorato dalle macchine.

Si dice che per questo pezzo unico di design, Yanagi, sia partito da alcuni modelli realizzati da lui stesso con la carta e addirittura che non sapesse di voler realizzare una seduta ma che, una volta realizzato a mano un modello fisico cartaceo pensò che quello che aveva ideato potesse diventare una sedia. A quel punto si chiese quale materiale avesse le caratteristiche adatte per essere modellato al fine di realizzare quelle complesse linee curve e la risposta gli venne dal compensato (anche lui infatti era a conoscenza delle realizzazioni degli Eames).

La reperibilità di questo materiale però poteva essere un problema, infatti il compensato, ancora quasi sconosciuto in Giappone, veniva lavorato solo nella piccola azienda Tendo Mokko, che però si mise subito a disposizione per la produzione di questa particolare seduta.

La presentazione di questo sgabello ebbe luogo nel 1956 allo *Yanagi Design Institute* del Dipartimento di Matsuya; presentava pannelli in compensato di 7 mm (1 mm per ogni strato) che univano design e resistenza meccanica e strutturale in maniera esemplare.

La filosofia di Yanagi si può racchiudere in questa frase:

*“You don't produce a product by designing it. The process of creating a product generates the design”*

che rappresenta quanto effettivamente sia importante il processo creativo, il percorso che viene effettuato per raggiungere uno scopo, un risultato <sup>[19]</sup>.



Fig. 25:  
Butterfly Stool, Sori Yanagi,  
1956.

**Note:**

19. <http://www.interactiongreen.com/butterfly-stool-sori-yanagi-60th/>;

20. 2017, *Ant Chair, una seduta icona del design scandinavo. Disegnata da Arne Jacobsen nel 1952, Ant Chair ha dato vita ad una serie infinita di sedute*, Quotidiano.Net, <https://www.quotidiano.net/magazine/tempo%20libero/ant-chair-1.3422439>;



Fig. 26:  
Ant Chair, Arne Jacobsen.

### **1.3.1.22 Ant chair and Model 3107 chair, Arne Jacobsen**

La *Ant Chair* definita anche la “*sedia in più*”, leggera, piccola, impilabile, destinata agli ospiti, progettata da **Arne Jacobsen**, architetto e designer danese, nel 1952 per la mensa di una casa farmaceutica; inizialmente presentava tre gambe, per comodità di impilaggio, ma in seguito venne realizzata anche la versione a quattro gambe. La forma si ispirava al corpo di una formica, con una riduzione di sezione del compensato nella regione lombare.

Rappresenta una vera e propria seduta ergonomica, premiata addirittura con il *Gran Premio alla XI Triennale di Milano* nel 1957 <sup>[20]</sup>.

### 1.3.1.23 Plywood chair for Kenzo Tange's Sumi memorial Hall, Tendo Mokko

Questa sedia progettata appositamente per il Sumi Memorial Hall, nella città di Ichinomiya, in Giappone, da uno dei più importanti architetti del XX secolo, **Kenzo Tange** (1913-2005), presenta un design che ne permette l'impilaggio e il comodo spostamento, permettendo all'utente di riporle ordinatamente in poco spazio.

Altri arredi in compensato sono stati appositamente prodotti dall'azienda Tendo Mokko per l'edificio di Kenzo Tange, tra cui una poltrona in compensato sagomato per gli uffici e uno sgabello per la caffetteria <sup>[22]</sup>.



Fig. 27:  
Chair Model 3107, Arne Jacobsen.

Conseguentemente alla Ant, di cui si potrebbe definire la prima erede, realizzò nel 1955 la sedia Model 3107 che univa come la precedente compensato curvato in tre dimensioni e alluminio, al fine di realizzare una sedia ergonomica, economica e moderna <sup>[21]</sup>.



Fig. 28:  
Plywood Chair for Kenzo Tange's Sumi Memorial Hall, Tendo Mokko.

#### Note:

21. [http://collections.vam.ac.uk/item/O48606/3107-chair-arne-jacobsen/;](http://collections.vam.ac.uk/item/O48606/3107-chair-arne-jacobsen/)

22. [https://collections.vam.ac.uk/item/O1359610/chair-tendo-mokko/;](https://collections.vam.ac.uk/item/O1359610/chair-tendo-mokko/)

### 1.3.1.24 Teak-faced plywood chair, Grete Jalk

La sedia della designer danese **Grete Jalk** (1920-1906), è uno dei pezzi maggiormente influenti nella produzione di arredi in compensato stampato del XX secolo.

È composta da due soli pannelli in compensato uniti alla base, che con la loro sinuosità e leggerezza creano una seduta scultorea, dinamica e dalla forma alternativa. La sedia fa parte di un gruppo di mobili progettati dal 1962, tra i quali figurano dei tavoli la cui forma ricorda quella del sedile di questa stessa sedia.



Fig. 29:  
Teak-faced plywood chair,  
Grete Jalk, 1962.

#### Note:

23. [https://www.settemuse.it/arte\\_bio\\_J/Judd\\_Donald.htm](https://www.settemuse.it/arte_bio_J/Judd_Donald.htm);

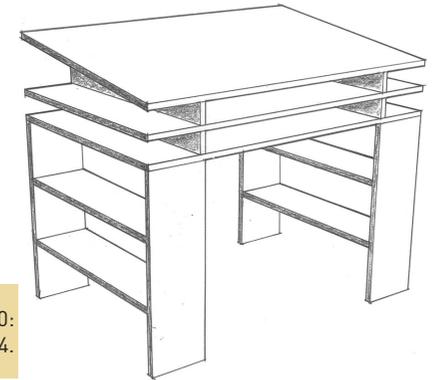


Fig. 30:  
Writing Desk, Donald Judd, 1984.

### 1.3.1.25 Donald Judd furniture

**Donald Judd** (1928-1994), pittore, scultore, architetto e designer, di natura minimalista, utilizzò il compensato in pannelli piani per la realizzazione di scrivanie, tavoli, sgabelli e sedie, con la caratteristica comune di essere razionali, regolari e realizzati con pannelli disposti la maggior parte delle volte uno perpendicolare all'altro<sup>[23]</sup>. L'utilizzo del compensato scelto per la loro produzione era legato al concetto di utilizzare un materiale industrializzato che ponesse attenzione all'oggettualità delle strutture, il più delle volte modulari e rettangolari con volumi posizionati in modo da ottenere selezionati rapporti pieno-vuoto.

### **1.3.2 Gli anni 2000 e la Digital Fabrication**

La **Digital Fabrication** o **fabbricazione digitale** è un processo di produzione in cui la macchina utilizzata per le diverse lavorazioni del materiale è gestita e controllata da un computer.

Le forme più comuni sono <sup>[24]</sup>:

\_ Lavorazioni CNC: dove, in genere, le forme vengono tagliate da fogli di legno (tecnologia principale utilizzata dai prodotti OpenDesk ad esempio);

\_ Stampa 3D: dove gli oggetti sono costruiti con strati di metallo o plastica;

\_ Taglio laser: dove materiali come il metallo vengono bruciati o fusi da un raggio laser;

L'aspetto importante, che unifica queste tre tipologie di processi è che le macchine, qualsiasi esse siano, possono essere programmate in modo affidabile, con risultati caratterizzati da alte precisioni e scarti di materiale di molto ridotti rispetto alle lavorazioni tradizionali, per realizzare prodotti coerenti ai progetti digitali.

Ciò che caratterizza i casi studio riportati di seguito, inerenti gli anni 2000 è proprio l'utilizzo di queste tecnologie innovative per la loro progettazione, modellazione, lavorazione e produzione.

### 1.3.2.1 Bolivian plywood chair Black, Abbott Miller

Dopo due anni di studio e di sviluppo, **Abbott Miller**, designer americano, nel 2009 produsse una sedia in compensato, appositamente studiata per essere realizzata attraverso il taglio, con un router CNC, di un unico pannello di compensato.

Un pannello di compensato, inizialmente da lui indicato come proveniente dalla Bolivia, ma che in seguito indicherà come il tipo di compensato che ognuno preferisce; la sua sedia infatti, poteva essere prodotta e riprodotta da chiunque avesse a disposizione un computer, tramite il quale poter scaricare e leggere i file, e una macchina a controllo numerico, che gli permettesse di tagliare i componenti prima di passare alla fase di assemblaggio e realizzazione effettiva.

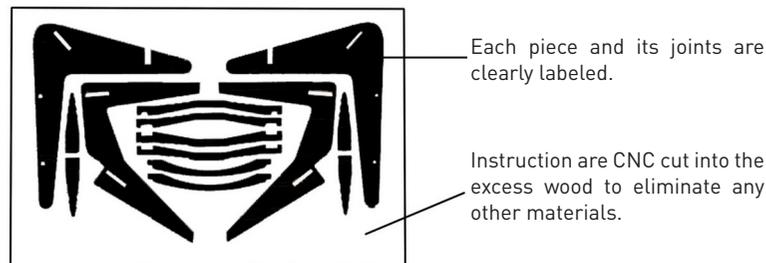


Fig. 31: componenti della Bolivian Plywood Chair Black, Abbott Miller, 2009 (a lato).

**Note:**

24. <https://www.opendesk.cc/about/digital-fabrication>;

25. <https://www.opendesk.cc/about>;

### 1.3.2.2 Opendesk, Lean desk e Edie Stool

**Opendesk** è una piattaforma digitale che utilizza la forma più avanzata di *sharing*, per la condivisione di progetti di arredi al fine di realizzare in qualsiasi momento e in qualsiasi luogo arredi in legno compensato con il solo utilizzo di un computer, una rete dati e una macchina a controllo numerico per il taglio dei componenti..

Il concetto di Opendesk consiste nella condivisione di file digitali attraverso i quali è possibile produrre gli arredi selezionati <sup>[25]</sup>. Tramite il download (e il pagamento in determinati casi) di questi file si può procedere dunque alla “*stampa*” o meglio, al taglio, tramite una macchina a controllo numerico (definita CNC), dei componenti costituenti l’arredo stesso prima di essere assemblati, tramite una serie di incastri che ne permettono il montaggio diretto da parte dell’utente finale.

La filiera di produzione è formata quindi da figure diverse:

- **designer**, aventi una rete globale;
- **maker**, che ricevono il prodotto in versione digitale e lo rendono “reale”;
- **utilizzatore finale**, che può coincidere o meno con la figura di maker.

Opendesk rappresenta un’alternativa agli attuali me-

todi di produzione in serie, offrendo una decentralizzazione totale della produzione, permettendo a chiunque posseda o abbia possibilità di utilizzare, presso un *FabLab* ad esempio, una macchina a controllo numerico di produrre da sé il proprio prodotto, da utilizzare (o in alcuni casi, vendere).

La prima incursione nella Digital Fabrication da parte di Opendesk è rappresentata da **Lean Desk** (2013), una postazione di lavoro flessibile, per 4 persone, ideata per le startup e diventata molto popolare perchè fornisce un'ampia superficie di lavoro. Possiede inoltre, una gestione centralizzata dei cavi all'interno di un "case" che si sviluppa in maniera lineare e continua per tutta la lunghezza della scrivania, con la possibilità di richiuderlo con alcuni componenti su misura in compensato, per nascondere cavettistica e slot per l'incastro dei monitor. Le dimensioni della postazione sono variabili, permettendone la personalizzazione in termini di dimensioni, tra una larghezza di 1300 mm e 1600 mm e una lunghezza tra 1200 mm e 2400 mm <sup>[26]</sup>.

Lo sgabello **Edie**, progettato nello stesso anno, è stato invece uno dei primi prodotti Opendesk condiviso tramite piattaforma digitale. Progettato da **Joni** e **David Steiner** per la loro nipote di 2 anni (Edie appunto, da cui ha preso il nome), fa parte dell' "Open Making" di Opendesk. Questo prodotto derivante da un unico semplice foglio di compensato, ha prototipato l'uso di elementi

ad incastro che possono essere uniti e martellati per produrre giunzioni perfette senza necessità di colla.



Fig. 32: Lean Desk, Opendesk, 2013;



Fig. 33: Edie Stool, Opendesk, 2013.

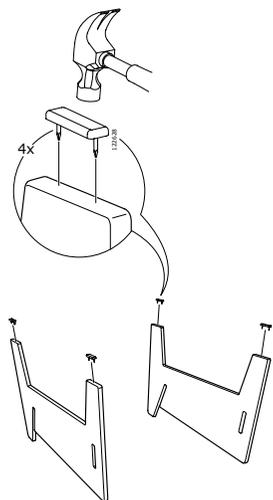
### 1.3.2.3 ÖVERALLT Easy Chair, IKEA®

Anche **IKEA®**, colosso internazionale di arredo per la casa e non solo, si è dotato della sua seduta in compensato (riciclabile) personalizzabile.

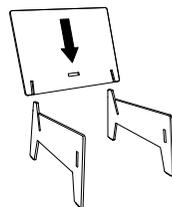
Il cliente infatti può decidere di verniciare, smaltare o semplicemente rifinire e completare la sedia con dei cuscini. Particolarmente interessante, come da marchio **IKEA®**, sono le linee guida, di cui si riporta l'estratto, per il montaggio che avvengono tramite il semplice incastro dei pezzi di cui è formata e l'aiuto di alcuni "cunei" di fissaggio [27].

Fig. 34: ÖVERALLT Easy Chair, IKEA®.

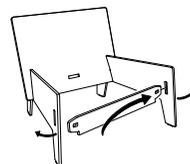
1.



2.



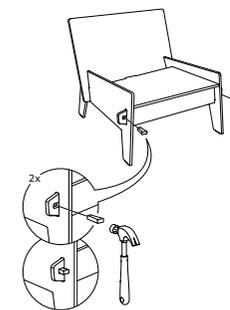
3.



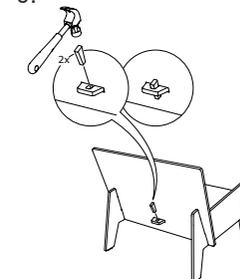
4.



5.



6.



#### Note:

26. <https://www.opendesk.cc/lean/desk#-make-it-yourself;>

27. [https://www.ikea.com/es/en/p/overallt-easy-chair-plywood-30429057/;](https://www.ikea.com/es/en/p/overallt-easy-chair-plywood-30429057/)

### 1.3.2.5 Rolled Table, Pro-Form Architects

Questo tavolo, dalla forma fortemente innovativa e singolare, ma allo stesso tempo molto più performante nel suo utilizzo piuttosto che un tavolo standard, è stato ideato da **Pro-Form Architects**, uno studio di architettura inglese, in occasione del *Water and Land Niigata Art Festival* del 2015. Il Rolled Table, è stato pensato per l'esposizione di guide e opuscoli ed è per questo motivo che il progetto ha portato la realizzazione di una struttura cilindrica, che consentisse la lettura, più confortevole di un tavolo standard, grazie proprio alla sua curvatura e al suo particolare sistema di illuminazione. Il materiale scelto fu il compensato, perchè a costo ridotto, resistente e facilmente lavorabile al fine di realizzarne una struttura complessa, curva e con degli intagli di notevoli dimensioni.

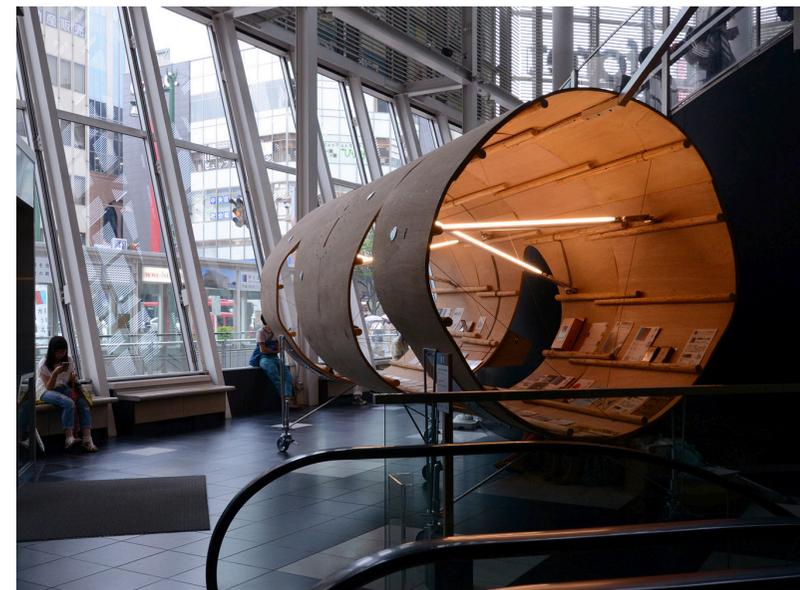


Fig. 35: il Rolled Table, ideato da Pro-Form Architects, in costruzione, 2015 (a sinistra)

Fig. 36: Rolled Table in uso alla Water and Land Niigata Art Festival, 2015 (in alto).



**Note:**

28. Lindsey Leardi, *Students Design Temporary Furniture for Victims of Displacement*, ArchDaily, 2017 (<https://www.archdaily.com/880802/students-design-temporary-furniture-for-victims-of-displacement/>);

29. Natasha Levy, *Ab Rogers Design creates 19-square-metre apartment in London*, Dezeen, 2018 (<https://www.dezeen.com/2018/01/13/ab-rogers-interior-design-19-square-metre-london-flat-apartment-birch-plywood-space-saving-furniture-uk/>);

Fig. 37: ReHome, letto a castello con struttura in compensato, 2017 (in alto).

Fig. 38: 19-square-metre Apartment, Ab Rogers Design, Londra, 2018 (a destra);

### 1.3.2.6 ReHome

**ReHome** è la soluzione, trovata da alcuni studenti dell'*Institute of Design di Lahti*, alla richiesta di abitazioni temporanee post-catastrofe naturale da parte delle persone sfollate [28].

Il team di studenti dopo aver ascoltato e indagato i bisogni primari di queste persone, ha proposto un kit da assemblare formato da componenti in compensato e cartone ondulato, per soddisfare le principali necessità riscontrate: riposo, privacy, comunità e riparo, realizzando così, arredi semplici da realizzare, alla portata di tutti. Il set di arredi comprendeva letti a castello (come quello riportato sopra) e letti semplici con struttura in compensato, un tavolo da pranzo e le relative sedie, un mobile e alcuni arredi per la divisione dello spazio interno in compensato e cartone.

Il progetto è stato esposto al *Habitare Fair* di Helsinki del 2017 e ha visto l'appoggio di alcune associazioni, tra cui Stora Enso e la Croce Rossa finlandese.



### 1.3.2.7 19-square-metre Apartment, Ab Rogers Design

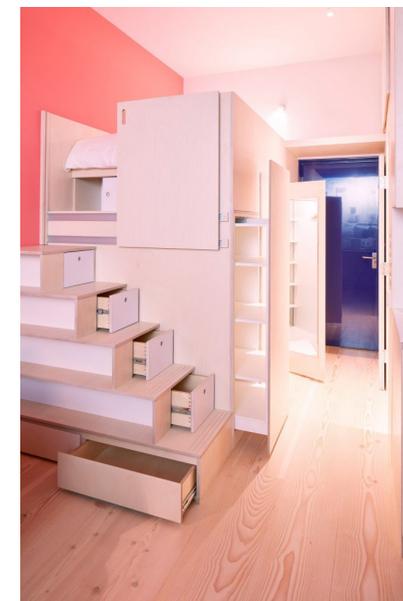
Questo appartamento di soli 19 m<sup>2</sup> progettato dallo studio **Ab Rogers Design** di Londra nel 2018, risponde all'esigenza di sviluppare nuovi modi di abitare e ripensare gli spazi interni delle abitazioni, risparmiando in termini monetari e di spazio.

Il prototipo, esposto negli uffici di Westminster degli stessi sviluppatori, è formato da una cucina, una zona notte e un bagno, ed è diviso in due unità multifunzione [29].

1. una prima unità, composta da una scala avente per ogni alzata un cassetto integrato, che porta ad un letto matrimoniale sopraelevato, avente al di sotto una serie di vani per la riposizione di vestiti, ecc...;

2. la seconda unità è formata invece da un bagno, una zona cottura e un ripostiglio.

I volumi sono realizzati in compensato di betulla, abbinati ad una pavimentazione in legno chiaro che ne riprende la tonalità.



### 1.3.2.8 London House, Archmongers

Questo esempio, come la Plywood House di Mallorca, progettata da SMS Arquitectos (Spagna, vedi punto: 2.7.2.45\_Plywood House), rappresenta la realizzazione di un intervento sul costruito utilizzando il compensato. In questa abitazione di Londra, il compensato è stato utilizzato soprattutto come finitura e arredo interno del nuovo ampliamento, ispirato al design navale, questo, legato soprattutto a questioni di spazio.

Lo studio **Archmongers** di Londra, si è ispirato agli interni navali che spesso utilizzano questa tipologia di materiale, facilmente lavorabile e con buone caratteristiche di tenuta all'umidità <sup>[30]</sup>. In questo progetto, ogni singolo arredo è stato sviluppato in relazione alla sua specifica funzione, dal piano di posa della macchina da cucire, fino al tavolo, avente delle ali pieghevoli che ne permettono, in caso di necessità, l'ampliamento dello spazio di lavoro. L'ambiente generato è in effetti molto simile alla coperta di alcune piccole imbarcazioni a vela.

Ultimo dettaglio degno di nota è la scala in linea, realizzata attraverso la composizione di un kit di assemblaggio di 64 componenti tagliati utilizzando una macchina a controllo numerico, proprio come fatto per la **DIY Spiral Staircase** riportata da HomeMade Modern nel 2016 <sup>[31]</sup>.



Fig. 39: London House, Archmongers, Londra, 2018 (in alto);

Fig. 40: DIY Spiral Staircase, scala in compensato realizzata attraverso il taglio con macchina a controllo numerico e la sovrapposizione di fogli di compensato, Home-Made Modern, 2016 (a sinistra);

#### Note:

30. Alyn Griffiths, **Canal boat interiors inspire space-efficient extension to London house by Archmongers**, Dezeen, 2018 (<https://www.dezeen.com/2018/03/03/archmongers-architecture-house-extension-london-plywood-stoke-newinton/>);

31. Ben Uyeda, **EP99 DIY CNC Spryral Staircase**, HomeMade Modern, 2016 (<http://www.homemade-modern.com/ep99-diy-cnc-spiral-staircase/>);



### 1.3.3 Analisi tecnologica dei casi studio (TimeLine dal 1790 al 2019)

A scopo riassuntivo viene elaborata una linea del tempo delle più significative sperimentazioni nel campo del design di interni realizzate in compensato, analizzate precedentemente.

Elaborazione di:  
Matteo Vittone



1700

1800

1790

1819

1833

1863

1866

1867

1873

1873

1883

1888

Thomas Sheraton

Universal Table

"The cabinet maker upholsterer's drawing-book"

Thonet

Belter's Rosewood Furniture

Berkey and Gay Furniture Company

Gardner & co.

"Doll's Chair"

Isaac Cole

"Moulded plywood chair"

Luterma

PLANED PLY

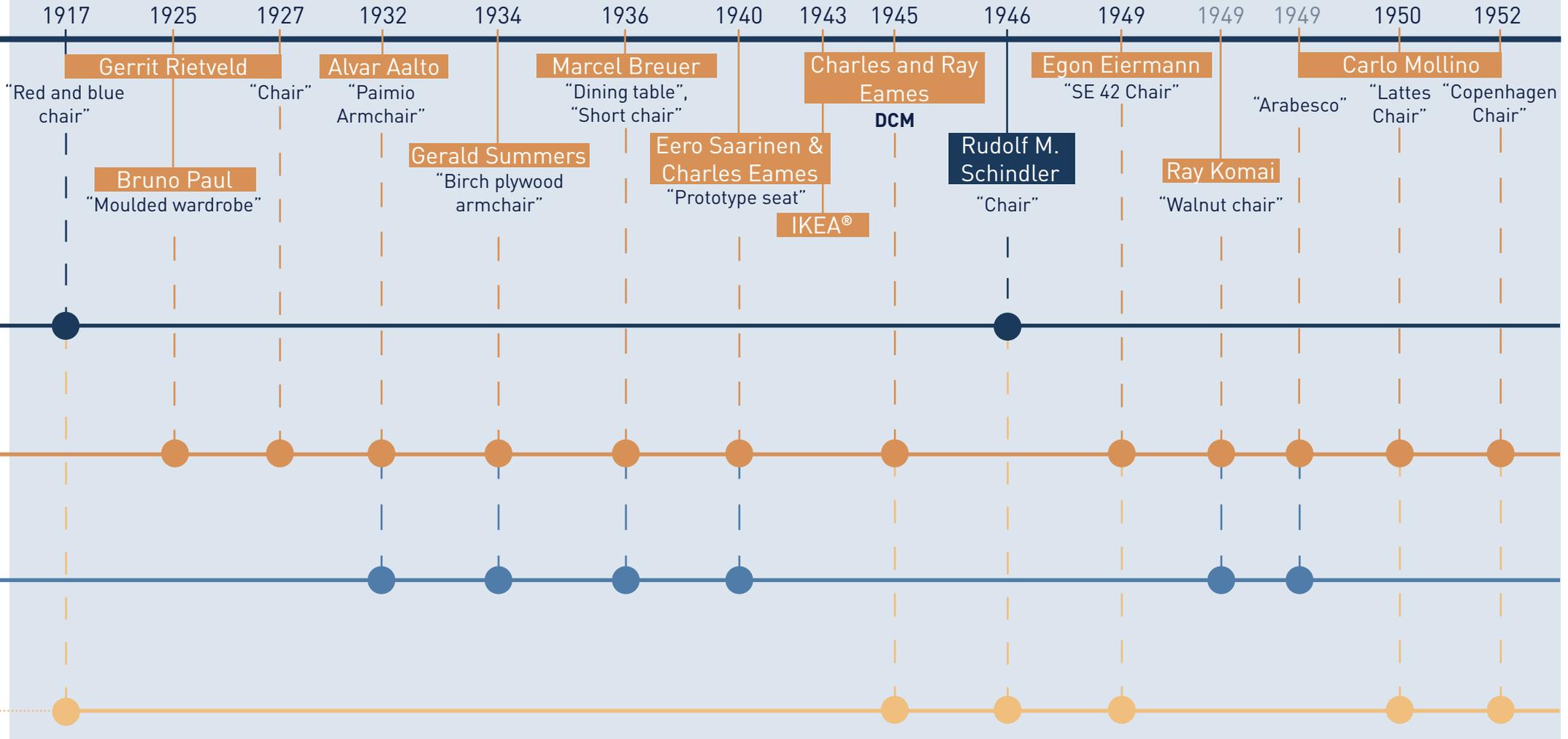
MOULDED PLY

SINGLE PIECE

MULTIPLE PIECES

TimeLine

# 1900



Elaborazione di:  
Matteo Vittone



1900

1952

1953

1954

1955

1955

1962

1984

Arne Jacobsen

"Ant Chair"

Robin Day

"Q Stak Chair"

Sori Yanagi

"Butterfly stool"

"3107 Chair"

Tendo Mokko

Plywood chair for  
Kenzo Tange's Sumi  
Memorial

Grete Jalk

"Teak-faced  
plywood chair"

Donald Judd

"Standing writing  
desk"

PLANED PLY

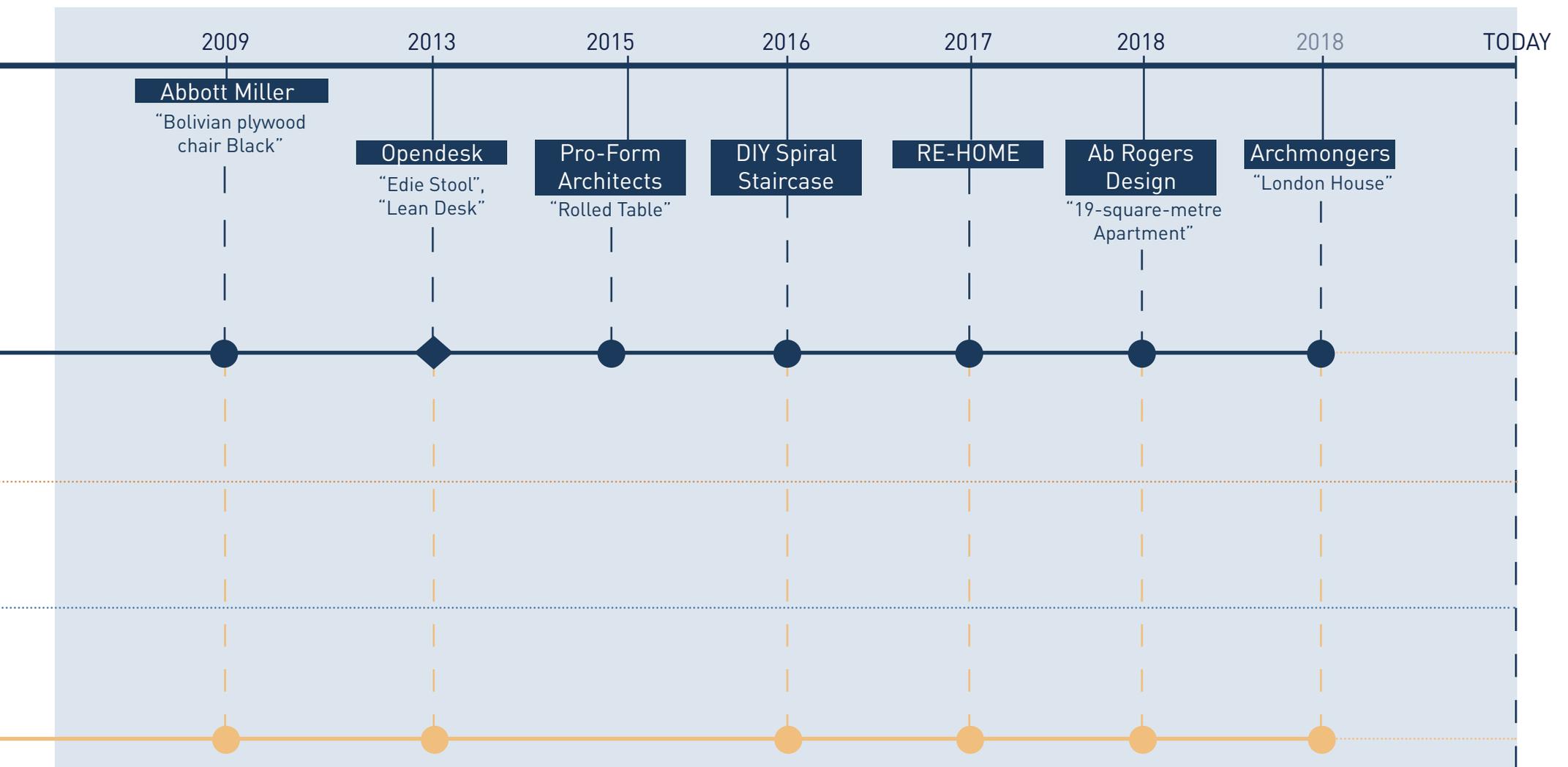
MOULDED PLY

SINGLE PIECE

MULTIPLE PIECES

TimeLine

# 2000



TimeLine

## 1.4 Utilizzo del compensato in campo aeronautico



Per molto tempo, e ancora durante il ventesimo secolo, il compensato è stato messo in discussione per le sue caratteristiche e i suoi utilizzi. Questo fatto fu dettato dall'immaginazione che la gente aveva dello stesso, un materiale, inizialmente chiamato "veneer" che indicava letteralmente il "piallaccio" utilizzato per nobilitare arredi di scarso valore estetico. Era considerato più che altro un velo che nascondeva la realtà, e quindi sinonimo di falsità, finzione. Addirittura Charles Dickens scelse il termine "veneering" per due personaggi del romanzo "Il nostro comune amico" del 1865, *il signore e la signora Veneering* <sup>[32]</sup>. La progettazione e realizzazione di aeroplani rappresentò l'uso tecnologicamente più significativo e avanzato del compensato dal 1910 al 1945, la sua forza e leggerezza permisero la costruzione di nuovi aerei che rivoluzionarono radicalmente la natura del volo. Fino alla metà degli anni '30 del 1900 gli aeroplani erano costruiti prevalentemente in legno. Nel 1912 *Armand Deperdussin*, condusse esperimenti all'avanguardia con compensato modellato che gli permisero di realizzare le prime fusoliere aerodinamiche chiuse. Questi gusci in compensato modellato "monoscozza" erano abbastanza forti da essere autoportanti e non necessitavano di un telaio strutturale interna di rinforzo <sup>[33]</sup>. Fu anche grazie a queste innovazioni che nel 1932 *Amelia Earhart* sorvolò l'Oceano Atlantico con l'aeroplano "Lockheed Vega" e nel 1941 il De Havilland Mosquito entrò ufficialmente in funzione nella *RAF (Royal Air Force)* britannica dopo alcuni anni di sviluppo e prototipizzazione.

### Note:

32. Charles Dickens, *Our Mutual Friend*, 1864-1865, Londra;

33. 2017, *A short history of plywood in ten-ish objects* (<https://www.vam.ac.uk/articles/a-history-of-plywood-in-ten-objects>);

### 1.4.1 Diciannovesimo e ventesimo secolo

Importante, per il compensato e la sua accettazione da parte della popolazione, furono le sperimentazioni e gli scenari in campo aeronautico per i quali il materiale venne utilizzato.

Si propone di seguito un rapido percorso attraverso i principali aerei e dirigibili realizzati in compensato a cavallo tra 1800 e 1900, ma soprattutto durante le due guerre mondiali.

#### 1.4.1.1 Il dirigibile di Ognjeslav Kostovic Stepanovic

Nel 1884 l'Ingegnere serbo, residente a San Pietroburgo, *Ognjeslav Kostovic Stepanovic*, progettò e iniziò a realizzare un dirigibile utilizzando per lo più legno compensato. L'aeromobile era realizzato con una struttura in compensato che sosteneva una membrana di seta riempita di idrogeno. Arrivò a realizzare diversi componenti ma non riuscì mai a vederlo volare.

A ruota di *John K. Mayo* e *George Gardner*, sviluppò un brevetto incentrato sull'utilizzo del compensato per la produzione di strutture anche molto differenti tra loro ma che si basavano sull'unica possibilità di curvare e modellare il materiale facilmente. Il suo dirigibile rimase per molto tempo il più famoso esempio di utilizzo del compensato nella costruzione di aerei.

### 1.4.1.2 Lockheed's Vega Model 1

L'aeroplano **Vega** model 1 del 1926, nasce dallo sviluppo di una fusoliera in compensato di abete rosso a tre strati, lo strato centrale perpendicolare allo sviluppo longitudinale dell'aereo e gli strati interno ed esterno, perpendicolari ad esso. Questa composizione degli strati nasce dalla rielaborazione del brevetto S-1 della *Loughead Company* che prevedeva strato interno ed esterno disposti in posizione obliqua rispetto allo strato centrale che invece era disposto in direzione longitudinale. Questo cambiamento nella conformazione e disposizione degli strati fu dovuto probabilmente alla necessità di velocizzarne la produzione.

L'aeroplano Vega divenne famoso quando nel 1932 Amelia Earhart sorvolò l'Oceano Atlantico <sup>[34]</sup>.

Altri tre aeroplani vennero prodotti attraverso l'utilizzo di una fusoliera in compensato, il *Sirius* (1929), nato come ulteriore sviluppo del Lockheed's Vega, progettato per Charles Lindbergh con l'obiettivo di realizzare un aereo ancora più leggero, che gli permettesse di raggiungere l'Alaska e poi la Cina <sup>[35]</sup>, *l'Altair* e *l'Orion* (1930).

#### Note:

34-35. 2013, Lockheed Martin Corporation, *Innovation with purpose. Lockheed Martin's first 100 years*; [<https://www.lockheedmartin.com/content/dam/lockheed-martin/eo/documents/ebook/Innovation-with-Purpose.pdf>]



Fig. 41: fusoliera in compensato all'interno del magazzino di produzione della Lockheed Martin Corporation (in alto a destra);

Fig. 42: Amelia Earhart di fronte al magazzino della Lockheed, pronta a sorvolare l'Oceano Atlantico, 1932 (a destra).

### 1.4.1.3 De Havilland DH.91 Albatross

Il *de Havilland 91 Albatross* fu un quadrimotore postale inglese con il quale la casa britannica *de Havilland Aircraft Company* fondata nel 1920, introdusse l'utilizzo di una fusoliera in legno compensato e balsa.

Disegnato da **E. A. Hagg**, viene considerato come il predecessore del *de Havilland Mosquito* per la tecnica costruttiva a sandwich utilizzata per la realizzazione della fusoliera.

Verrà sviluppata inoltre una variante per il trasporto di passeggeri con una capienza di 22 persone e 4 membri dell'equipaggio.

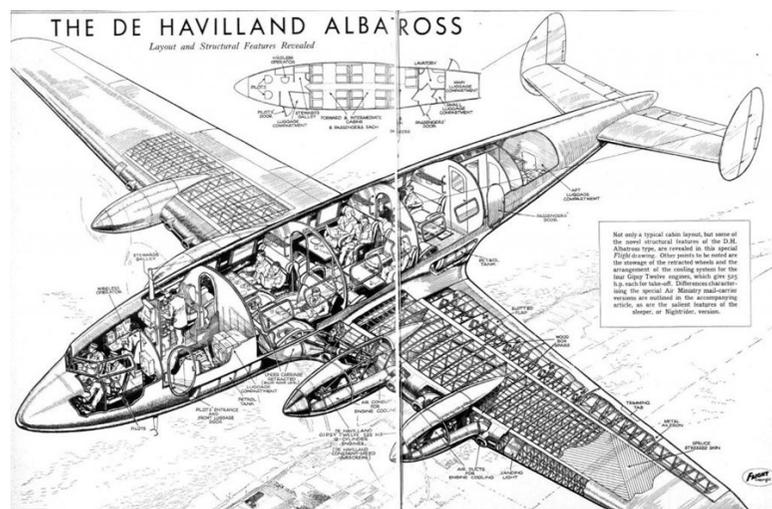


Fig. 43: struttura interna del De Havilland DH. 91 Albatross, 1937.

### 1.4.1.4 “Mossie”, De Havilland Mosquito

Il *De Havilland Mosquito*, anche noto come “*Mossie*” o “*Wooden Wonder*” fu un velivolo multiruolo apprezzato sia per la sua adattabilità a diversi utilizzi quali esploratore, bombardiere, attacco marittimo, ricognizione e combattente, sia per i metodi innovativi con cui questo aereo in compensato di betulla, abete rosso e balsa fu progettato e fabbricato [36]. La storia di questo aereo nasce dalla necessità nel 1936 del Ministero dell'Aeronautica inglese di avere un bombardiere bimotore capace di trasportare 1400 kg a 275 mph fino a 4000 m di altitudine, permettendone la costruzione anche con materiali non strategici.

Nel 1938, *Geoffrey de Havilland* (1882-1965), propose un nuovo velivolo, più veloce e più manovrabile di qualsiasi aereo da caccia nemico, con un equipaggio ridotto a pilota e navigatore. Il primo Mosquito ordinato dal Ministero era alimentato da due motori Merlin e poteva trasportare fino a 450 kg ad una velocità di 327 mph e ad un'altitudine di 9800 m. Nel 1940 ne furono ordinati altri cinquanta esemplari, in una nuova variante da combattimento.

L'innovazione era portata dall'utilizzo di compensato e un sandwich di balsa per la realizzazione della fusoliera che prevedeva fasi di progettazione più corte, una produzione di prototipi più veloce e maggior manodopera disponibile, visto che a chiunque lavorasse già il compensato per altri fini, potevano essere subappaltati i lavori sugli aeromobili. Altro fattore che spinse la re-

#### Note:

36. *Meditations on a Mosquito – A Lesson in Smart Engineering and Assembly*, Modular Design, UK Design, Morfus UK, 2016 (<https://morfusuk.com/blog/meditations-on-a-mosquito-a-lesson-in-smart-engineering-and-assembly/>)

alizzazione di aerei in legno, fu, in termini puramente bellici, la difficoltà da parte del radar nemico di individuare questa tipologia di velivoli.

L'idea alla base del "Mosquito" era quella di progettare una struttura a guscio monoscocca di 12,55 m di lunghezza senza ulteriori telai interni, risultato dell'assemblaggio di due semigusci aventi già al loro interno i meccanismi necessari. Questo metodo costruttivo permetteva a più persone di lavorare contemporaneamente su due semigusci divisi, per poi provvedere unitamente all'assemblaggio, portando a termine così, il velivolo. La prima fase della produzione consisteva nella produzione degli stampi (a freddo e ad alta pres-

sione) di ciascuna metà della fusoliera in compensato (a tre strati) con la possibilità di predisporre sottili paratie e longheroni longitudinali in abete rosso. La fusoliera veniva poi completata attraverso la composizione di un sandwich di spessore complessivo di circa 16 mm, formato da compensato esterno (spessore 3 mm), balsa (spessore 9,5 mm) e compensato interno (3 mm). Prima di procedere all'assemblaggio dei due semigusci i meccanismi raggiungevano una percentuale di completamento vicina al 60%. Anche le ali erano realizzate in compensato di betulla e laminato di abete rosso, irrigidite da costole trasversali in compensato e longheroni in abete rosso con anima in compensato.



Fig. 44: produzione fusoliera in compensato De Havilland Mosquito e fotografie di un magazzino di produzione

### 1.4.1.5 Hughes H-4 Hercules

Commissionato dal governo americano nel 1942, alla *Hughes Aircraft Company*, lo *Hughes H-4 Hercules* è l'idrovolante in legno più grande mai costruito, con un'apertura alare di 97,54 m, una lunghezza di 66,65 m e la capacità di portare oltre 350 persone.

È realizzato quasi interamente in compensato, utilizzando il processo *Duramold*, con diverse specie legnose. Ne è stato prodotto un solo esemplare che fece il suo primo ed unico volo nel Novembre del 1947, prima di essere conservato nell'*Evergreen Aviation Museum* di McMinnville in Oregon <sup>[37]</sup>.

### Hughes H-4 Hercules

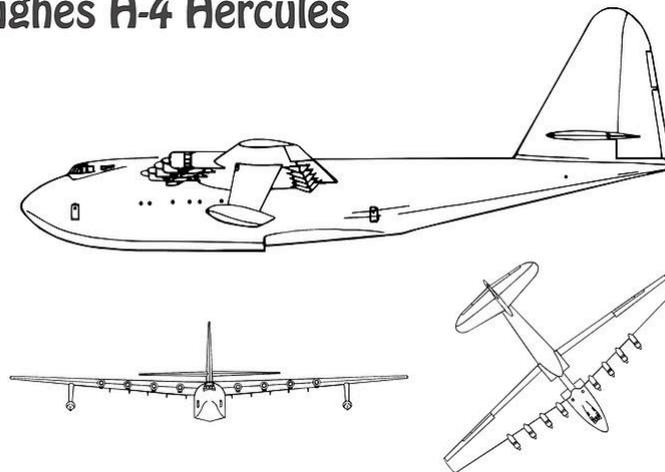


Fig. 45: Hughes H-4 Hercules.



Fig 46: lo Hughes H-4 Hercules all'interno dell'Evergreen Aviation Museum di McMinnville in Oregon.

#### Note:

37. 2013, Lockheed Martin Corporation, *Innovation with purpose. Lockheed Martin's first 100 years*;

[<https://www.lockheedmartin.com/content/dam/lockheed-martin/ea/documents/ebook/Innovation-with-Purpose.pdf>]

## 1.4.2 Applicazioni in campo aeronautico oggi

Nonostante i grandi successi ottenuti in aviazione, soprattutto grazie al de Havilland Mosquito, alla sua rapidità di realizzazione, alla possibilità di produzione senza una manodopera specializzata e grazie alle caratteristiche di leggerezza e velocità, l'industria aeronautica virò sull'utilizzo del metallo, che riportava maggiormente l'idea della modernità in confronto al legno, definito da molti old-fashioned e non adatto all'estetica bellica.

Dal 1945 in avanti vi è stato un abbandono dell'utilizzo di questo materiale nella produzione di aerei; venne sostituito da materiali ritenuti maggiormente affidabili, in genere, di natura metallica.

Oggi troviamo l'utilizzo del compensato nella produzio-

ne di eliche per velivoli da turismo e nella realizzazione di scocche di velivoli ultraleggeri.

Un particolare utilizzo del compensato è stato pensato dalla Marina Americana (USMC, United States Marine Corps) per la realizzazione di un piccolo velivolo, denominato *LG-1K*, simile ad un drone, sviluppato e brevettato nel 2019 dalla Logistic Gilders Inc.

Ideato per un singolo utilizzo, si presta particolarmente

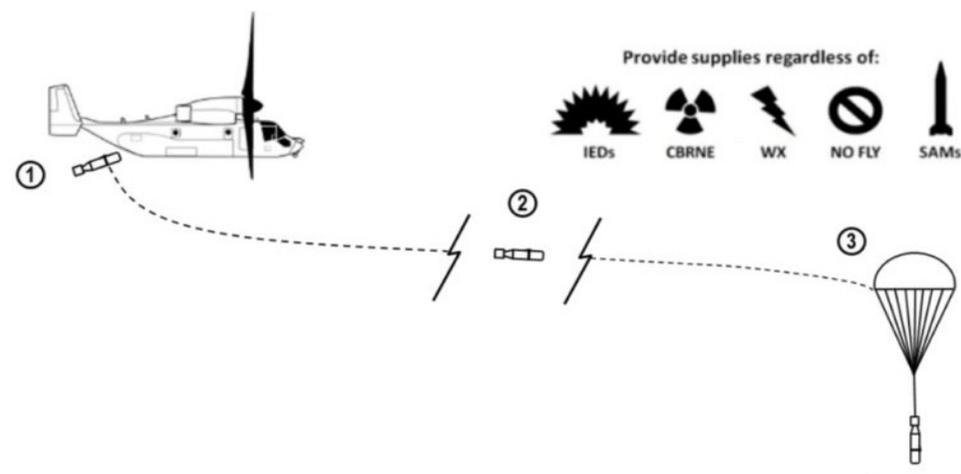


Fig. 47: schema di utilizzo del drone in compensato LG-1K, 2019.

### Note:

38. *US Marines' Plywood Supply Drone in Flight Tests*, 28.03.2019, UAS Vision  
[<https://www.uasvision.com/2019/03/28/us-marines-plywood-supply-drone-in-flight-tests/>]

grazie a peso e costi ridotti, ad essere caricato nella stiva di un aereo o di un elicottero per poi essere rilasciato, una volta raggiunte le coordinate prestabilite, per portare viveri o qualsiasi altro genere di materiale, a terra, in zone pericolose che non permetterebbero in altri modi l'avvicinamento.

Il drone è completamente realizzato in compensato e alluminio, ha una lunghezza complessiva di 3,17 m ed una apertura alare di 7 m. Attraverso un gps integrato, ha la capacità di raggiungere con grande precisione le coordinate prestabilite.

Le ali, durante il trasporto vengono chiuse, per poi riaprirsi automaticamente una volta che il drone viene lanciato. L'atterraggio avviene grazie ad un paracadute che si apre automaticamente una volta raggiunti i 60 metri dal suolo <sup>[38]</sup>.



Fig 48: il drone in compensato LG-1K appena sganciato dal suo aereo di trasporto (in alto).



### 1.4.3 Analisi ambiti di impiego in aeronautica (TimeLine dal 1880 al 2019)

A scopo riassuntivo viene elaborata una linea del tempo dell'utilizzo del compensato nel campo dell'aeronautica.

Elaborazione di:  
Matteo Vittone



1800

1884

Ognjeslav Kostovič Stepanovič

Dirigibile

1912

Armand Deperdussin

Fusoliere monoscocca

1918

1920

1926

1929

1930

Locheed Aircraft Company

Vega  
Model 1

Sirius

Orion, Altair

MILITARY USE

PUBLIC USE

INNOVATION

1900

2000

1932

1937

1938

1942

1964 2000

2019

TODAY

De Havilland Aircraft Company

Eliche e velivoli ultraleggeri

D.H. 91 Albatross

D.H. Mosquito

Hughes Aircraft Company

USMC

Amelia Earhart  
"Lockheed Vega 5C"

Hughes H-4 Hercules

LG-1K

## 1.5 Utilizzo del compensato in campo nautico

### 1.5.1 Il ventesimo secolo

Durante il ventesimo secolo il compensato venne utilizzato, nel campo nautico, nella realizzazione di navi da guerra e dragamine, barche a vela, e piccole imbarcazioni vendute in forma di kit di montaggio per l'autocostruzione delle stesse da parte dell'acquirente. Interessante fu l'utilizzo di questo materiale nelle navi da guerra e non solo, utilizzandolo al fine di realizzare una scocca senza telaio portante, di grande leggerezza e difficilmente individuabile da radar e dai sensori nemici. Più tardi invece, grazie alla facilità di approvvigionamento del materiale e grazie alla facile lavorazione dello stesso, vide una grande applicazione nel mondo del DIY.

#### 1.5.1.1 Haskell Boat Company

La **Haskell Boat Company** di Ludington, nel Michigan, fu attiva sul mercato della produzione navale tra il 1917 e il 1934. In questi anni sviluppò un unico modello di canoa in compensato di circa 5 metri di lunghezza. Inoltre, **Henry L. Haskell** e **J.W. Beiger** svilupparono un processo per l'estrazione di albumina dal sangue derivante dal macello di animali, dalla quale ne ricavarono un adesivo economico e soprattutto impermeabile, dagli stessi denominato "*black albumin glue*". Utilizzando questo nuovo tipo di collante naturale, produssero un compensato a tre strati con i layers esterni di betulla e lo strato centrale di sequoia di spessore pari a 1,5 mm. Gli strati venivano pressati a 200 psi (circa 14 kg/

cm<sup>2</sup>) e riscaldati a 220 gradi Fahrenheit (circa 105 °C), rendendo così il pannello del tutto solidale. La misura standard del pannello realizzato era 1,5x6,0 m.

Famosa era la pubblicità del prodotto di casa Haskell, che riportava la dicitura:

*"Stronger than steel per unit of weight  
— Boil Me, Bake Me, Soak Me, Break Me —  
They make me into Haskell Canoes"*<sup>[39]</sup>

Per la realizzazione di una canoa veniva utilizzato un singolo foglio di compensato tagliato a forma di "*butterfly*". Veniva fatto "*bollire*" in acqua per 3 ore, in seguito, mentre era ancora caldo e umido, veniva posizionato all'interno di uno stampo e tramite alcuni martinetti



Fig. 49: pubblicità della Haskell Canoe, 1917-1934 (a destra);

#### Note:

39. 2017, **A short history of plywood in ten-ish objects** (<https://www.vam.ac.uk/articles/a-history-of-plywood-in-ten-objects>);

**The Strongest Canoe Ever Built**

**3420 POUNDS**

**SAFEST!**  
The amazing test illustrated on the preceding pages, and the one on the page opposite prove beyond shadow of a doubt that the Haskell is unquestionably the strongest, toughest, strongest canoe ever built.

**LIGHTEST!**  
Strength means safety against hidden water hazards that puncture or stove in the usual rib-and-canvas canoe. The Haskell means a complete measure of a life-or-death measure in Ser-O-Ply shell is practically puncture proof, and its unique design eliminates prevents tipping.

**FASTEST!**  
A thoroughly dry canvas canoe weighs much more than a Haskell that has been afloat an entire season. Because the 3/4 inch thick shell of laminated Ser-O-Ply requires no ribs or staves. And Ser-O-Ply does not absorb water like the ordinary canvas. Easy handling, lighter portaging, more responsive handling with the incomparable Haskell!

Seven grown men, a six-foot length of 12x12 inch solid oak timber, a hull full to the gunwale of damp sand—all suspended between two narrow supports at either end of the canoe.

Three thousand, four hundred and twenty-ponds—almost one and three-quarter tons! And the Haskell, taken from stock, sags at the center less than 3/4 of an inch—with not a single crack or warp! This same Haskell has, since the above test, seen several seasons of hard use, and still is in perfect condition!

**and most Beautiful of all Canoes**

idraulici veniva modellato, dandogli la forma voluta.

Le canoe così realizzate, erano incredibilmente leggere, meno di 27 kg, ma allo stesso tempo erano molto robuste e capaci di portare fino a 7 uomini. Presentavano una larghezza al centro di circa 85 cm e una profondità di 35 cm, garantendo così spaziosità e comodità.

Inclusi nell'acquisto vi erano sedili in compensato di betulla, un portapacchi e un remo in legno laminato definito "Redskin paddle".

La società dopo il 1934 utilizzò la sua esperienza nel campo del compensato e dei collantiresistenti all'acqua nella produzione di velivoli e veicoli in compensato [40].

### 1.5.1.2 Fairmile Patrol boat

La britannica **Fairmile Patrol boat**, realizzata dalla **Fairmile Company** intorno al 1940, fu l'imbarcazione che ottenne maggior successo durante il periodo di guerra; i telai perpendicolari rispetto all'asse di questa imbarcazione erano realizzati con del compensato basato sull'utilizzo di bakelite.

La Fairmile Patrol boat seguiva un processo di prefabbricazione e per velocizzare la produzione venne ideato un processo di decentralizzazione della produzio-

ne presso aziende anche non specializzate nel settore nautico [41].

Fu così che le Fairmile boats vennero costruite in India, Egitto, Hong Kong, Australia, Nuova Zelanda e Sud Africa. Grazie a questo processo fu inoltre possibile abbattere i costi di produzione, visto che, per la realizzazione dei componenti delle imbarcazioni, non era necessaria alcun tipo di manodopera qualificata.

La *Fairmile patrol Boat* raggiungeva una lunghezza di 112 piedi, pari a 34 metri, e un raggio dello scafo pari a 5 metri [42], questi dati ci fanno capire come il processo dovesse essere particolarmente organizzato al fine di portare a termine senza alcuni problemi né errori la composizione di queste imbarcazioni, che non erano proprio di modeste dimensioni.

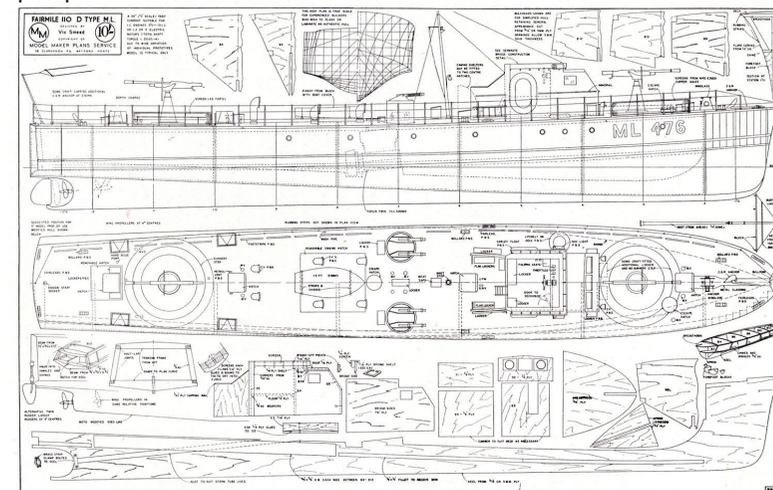


Fig. 50: planimetria e componenti della Fairmile Patrol Boat.

#### Note:

40. Tom McCloud, **A Haskell Goes Home: The Restoration of a Haskell Molded Plywood Canoe**. Wooden Canoe Issue 179, October 2013 (<https://www.wcha.org/content/haskell-boat-company>);;

41. **Fairmile motor launch - Radio fit** (<http://jproc.ca/rrp/fairmile.html>);;

42. Christopher WILK, Elizabeth BISLEY, **Plywood: a material story**, p. 166, United Kingdom, Thames and Hudson, 2017;

### 1.5.1.3 PT - Patrol Torpedo Boat

L'utilizzo del compensato nel campo della realizzazione di navi da guerra raggiunse il suo apice durante la seconda guerra mondiale con la produzione della **PT Patrol Torpedo Boat**, iniziata nel 1942.

Se infatti l'impiego del compensato nella realizzazione di queste imbarcazioni si limitasse in realtà solo ai pontili, agli accessori interni e al rivestimento interno ed esterno delle paratie, le barche furono descritte come una "flotta di compensato" [43].

Spesso si trova in bibliografia l'informazione, che avessero una struttura in legno compensato; in realtà invece, erano costituite da due assi diagonali in mogano di spessore pari a 25 mm e uno strato di tela impregnata di colla nel mezzo. A tenere insieme tutto questo c'erano migliaia di viti di bronzo e rivetti di rame. Questa tipologia di costruzione permetteva una rapida riparazione degli scafi delle barche, anche in prima linea, da parte del personale della forza di base.

Cinque barche Elco sperimentali inoltre furono prodotte in forma di kit di montaggio e inviate alla Long Beach Boatworks per testare l'assemblaggio a distanza.

In seguito alla vittoria della guerra e allo sbarco in Normandia del 6 Giugno 1944, la stampa popolare americana parlava di "miracolo", determinato dalle tempistiche record nella produzione di queste navi in compensato,

669 navi ogni mese<sup>[44]</sup>. Tali articoli sponsorizzarono l'uso del compensato nel campo nautico, nominandolo di fatto, il materiale del futuro.

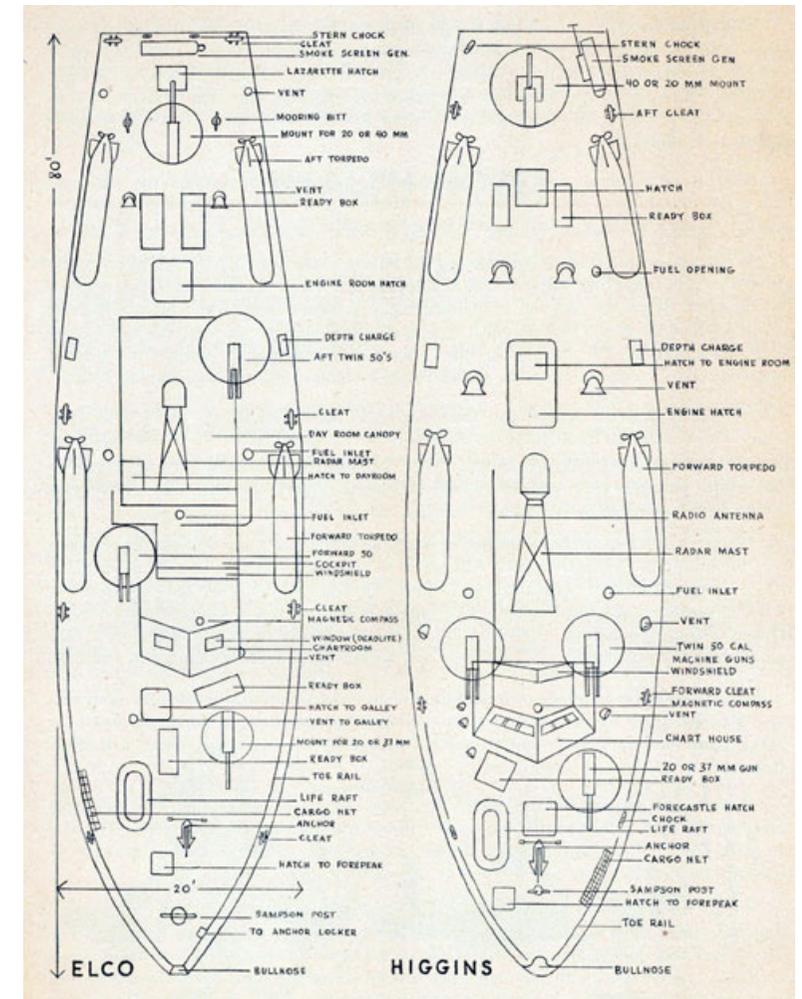


Fig. 51: composizione della Patrol Torpedo Boat, Elco - Higgins a confronto (a destra).

#### Note:

43. <https://www.warhistoryonline.com/instant-articles/though-steel-ruled-waves-wooden-boats-still-found-place-ww2-m.html>;

44. [https://www.militaryfactory.com/ships/detail.asp?ship\\_id=Higgins-PT-Boat](https://www.militaryfactory.com/ships/detail.asp?ship_id=Higgins-PT-Boat);

45. Gabe Christy, *Although Steel Ruled The Waves, Wooden Boats Still Found A Place In WWII*, 2017 (<https://www.warhistoryonline.com/instant-articles/though-steel-ruled-waves-wooden-boats-still-found-place-ww2-m.html>);

#### 1.5.1.4 Minesweeper - YMS

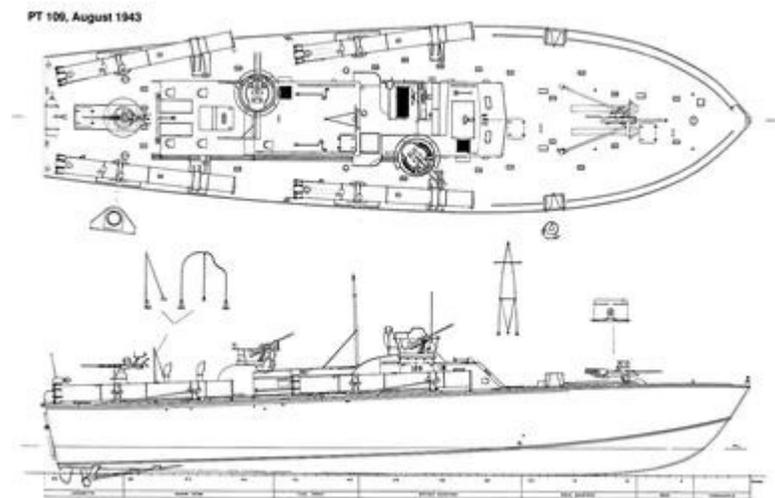


Fig. 52: PT Boat 109, 1943 (in alto);

Fig. 53: una Minesweeper in azione (a destra).



### 1.5.1.5 High-Speed Launch (HSL)

Le **High-Speed Launch**, avevano il compito di recuperare gli aviatori caduti in mare durante la battaglia d'Inghilterra; furono sviluppate inizialmente da ingegneri tedeschi, per poi essere riprese e perfezionate dagli inglesi. Nel 1940, durante la stessa battaglia d'Inghilterra, combattuta soprattutto tra i cieli britannici, gli inglesi si accorsero della necessità di sviluppare una flotta di navi destinate a questa attività di recupero piloti caduti in mare.

Fu così che venne istituita la **Air Sea Rescue Service**, flotta formata da imbarcazioni con scafo in mogano a doppia tavola, armate di mitragliatrici e lunghe circa 19 metri <sup>[46]</sup>.



Fig. 54: la High-Speed Launch durante un'operazione.

### 1.5.1.6 LCVP Boats

Le LCVP Boats, definite come le imbarcazioni che hanno fatto vincere la seconda guerra mondiale agli alleati, sono state sviluppate attraverso diversi step successivi <sup>[47]</sup>:

1. Ideazione da parte di **Andrew Higgins** durante gli anni '30 del '900 della **Eureka Boat**, una nave a basso pescaggio progettata per le paludi a largo della costa del golfo;
2. La Marina Americana acquisisce l'imbarcazione di Higgins e sviluppa la **Landing Craft Personnel (Large)**, per azioni di sbarco di uomini, mezzi, ecc.;
3. Sviluppo della **Daihatsu Boat** da parte della marina giapponese durante l'attacco alla Manciuria e alla Cina nella seconda Guerra Mondiale;
4. Sviluppo della **LCVP** (Landing Craft Vehicle Personnel) da parte di **Higgins**, imbarcazione per lo sbarco di truppe d'assalto, mezzi, jeep, veicoli di ingegneria e assalto, quasi completamente realizzata in compensato, lunga più di 10 metri.

#### Note:

46-47. Gabe Christy, **Although Steel Ruled The Waves, Wooden Boats Still Found A Place In WWII**, 2017 (<https://www.warhistoryonline.com/instant-articles/though-steel-ruled-waves-wooden-boats-still-found-place-ww2-m.html>);

Fig. 55: la LCVP Boat pronta allo sbarco della truppa d'assalto (a lato);

Fig. 56: Wolverine Boats, Grand Rapids, Michigan, 1947 (a destra).



### 1.5.1.7 Wolverine Molded Plywood Boats

Dal 1947 in avanti la **Michigan Wagemaker Company** commercializzò una tipologia di barche a vela in compensato composto da 4 o 7 strati, incollati tra loro tramite resina fenolica e pressati a caldo. Lo scafo così prodotto garantiva durabilità, resistenza e leggerezza; inoltre grazie al compensato modellato si poteva ottenere un design migliorato, il che voleva dire migliori prestazioni in acqua dal punto di vista della velocità e della manovrabilità<sup>[48]</sup>.

**Note:**

48. [https://www.wagemakerwolverineboats.com/wolverine\\_wooden\\_boats.html](https://www.wagemakerwolverineboats.com/wolverine_wooden_boats.html);

**Wolverine BOATS**

**1947 WOLVERINE LINE IS THE MOST COMPLETE IN OUR HISTORY**

Nearly 60 different models are available in Wolverine Boats . . . Everyone a winner in quality, craftsmanship, and beauty . . . They're built for top performance. Featuring 12' - 14' - 16' molded plywood models, including the famous Wolverine De Luxe runabouts, Auto Top Dinghys, Weldwoods, and many others. Wolverine Boats by Wagemaker have made a name for themselves everywhere. Write for our complete catalog.

**WAGEMAKER CO., GRAND RAPIDS, MICHIGAN**  
BOAT DIVISION

**Wagemaker**  
GRAND RAPIDS, MICH.  
**WOLVERINE BOATS**

### 1.5.1.8 Riva company

La **Riva company**, stabilita sulle rive del Lago d'Iseo dal 1842, dimostrò che l'utilizzo del compensato nel campo nautico non era limitato a piccole imbarcazioni ma che si potevano realizzare scafi anche di dimensioni più grandi.

Nel 1950, Carlo Riva (1922-1917), rilevò il cantiere navale di suo padre a Sarnico e iniziò a sperimentare l'utilizzo del compensato come rivestimento degli scafi delle barche così da accelerare e standardizzare gli esistenti metodi di costruzione.

Importantissima fu la collaborazione con Remo Lodi e la partnership con la Marine Plywood SNC che portò alla realizzazione di compensato a tre strati in mogano incollati con resina fenolica per la realizzazione degli scafi.

L'imbarcazione più famosa dell'azienda Riva fu **Acquarama**; successiva al modello **Tritone**, la sua popolarità fu dettata anche dalle molte immagini ritraenti star del cinema a bordo dello scafo, tra cui *Sophia Loren*.

Lo scafo di questa imbarcazione era realizzato in mogano, come precedentemente descritto, presenta una lunghezza di circa 8 metri e una larghezza massima di 2.80 metri, per una portata massima di 8 persone.

Nel 1995 verrà realizzato l'ultimo di 784 modelli, che segnerà anche la fine della sua produzione<sup>[49]</sup>.



Oggi, il successore di *Acquarama* è il motoscafo **Acquariva** che vede l'utilizzo, in sostituzione del compensato, di vetroresina (GRP), un tipo di plastica rinforzata con fibre di vetro.



Fig. 57: imbarcazione Acquarama, Riva (in alto a destra);

Fig. 58: imbarcazione Acquariva, Riva (in basso a destra).

#### Note:

49. <https://www.lycam.com/schede-vendita-barche/riva-aquarama-3/>

### 1.5.1.9 Mirror Dinghy

Il **Mirror dinghy**, realizzato principalmente in compensato marino, era e rimane una delle barche più famose del XX e XXI secolo. Venduto come kit di componenti per l'auto-assemblaggio, doveva essere economicamente accessibile e mirava ad un ampio mercato di velisti principianti.

Il kit costava 6311 sterline, Dinghy utilizzava un metodo di costruzione pubblicizzato come "*Stitch and Glue*" in cui i pannelli di compensato venivano forati lungo i bordi e successivamente uniti da anelli di filo di rame; nelle giunture veniva quindi inserita della resina e un nastro di fibra di vetro, così che una volta asciugata la resina, le fascette in rame potessero essere tolte<sup>[50]</sup>.

Ciò ha permesso una costruzione molto semplice da parte di dilettanti senza esperienza nella lavorazione del legno.

Questo progetto rientrava in quelle che venivano definite le pratiche del "Do it yourself" (DIY), settore nel quale dal dopoguerra in avanti, il compensato venne ampiamente utilizzato, perché materiale accessibile, poco costoso e facilmente lavorabile.

Ancora oggi vi è la possibilità di acquistare il kit per la realizzazione, con differenti accessori e un costo che si aggira sulle 5000 sterline<sup>[51]</sup>.



Fig. 59: componenti del Mirror Dinghy, imbarcazione per il DIY (a destra).

**Note:**

50. Martin Egan, **Building a Mirror dinghy from a kit** ([http://www.ukmirrorsailing.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=561&Itemid=325](http://www.ukmirrorsailing.com/index.php?option=com_content&view=article&id=561&Itemid=325))

51. <https://www.tridentuk.com/gb/product-mirror-wooden-hull-kit-tbkt.html>

### **1.5.2 Applicazioni in campo nautico oggi**

Oggi, l'utilizzo del compensato in questo campo si è sicuramente ridotto, come visto già nella produzione dell'azienda Riva, che negli ultimi modelli sviluppati, ha preferito l'utilizzo di materiali innovativi quali la vetroresina. Di certo però il compensato marino gioca ancora un ruolo molto importante nella realizzazione e autocostruzione di imbarcazioni, grazie alle sue riconosciute doti di materiale impermeabile, leggero e facilmente lavorabile.

Si riportano di seguito alcuni casi di autocostruzione ritenuti significativi in Italia oggi, visto il panorama molto ampio nel campo dell'autocostruzione di imbarcazioni DIY. Il fai da te in questo campo è molto attivo e vanno pubblicizzati diversi blog appositamente studiati per chi vuole autocostruirsi la propria imbarcazione.

Una riflessione sul compensato marino è d'obbligo, visto il suo crescente utilizzo nel settore dell'edilizia<sup>[52]</sup>.

Questo materiale, ampiamente utilizzato nel settore navale, è un compensato derivante da mogani africani che vengono incollati con colle speciali (a base fenolica), le quali gli conferiscono, resistenza all'umidità e agli agenti biodegradanti. Grazie a queste caratteristiche di resistenza, unite alla qualità estetica del prodotto finito, è stato introdotto nel campo dell'edilizia per la realizzazione di infissi, coperture, rivestimenti e arredi per il bagno, incluse vasche e cabine doccia. È un materiale che si adatta molto bene ad ambienti aggressivi e con alti tassi di umidità, esterni, quali ambienti marini o lacustri, e interni, quali saune e spa.

La sua possibilità di impiego è legata al suo prezzo, che oscilla, per un compensato marino in Okoumé, tra i 9 e i 27 euro a metro quadro, variabile in relazione allo spessore (dai 10 ai 30 mm)<sup>[53]</sup>.

### 1.5.2.1 BCA-Demco Kit

La **BCA-Demco Kit** è una società fondata nel 1990 che rappresenta, nel panorama italiano, un punto di riferimento per l'autocostruzione di barche in legno, sfruttando in particolare il compensato marino. L'azienda fornisce, a pagamento, kit per la realizzazione di barche dai 2,20 agli 11 metri di lunghezza sfruttando le proprietà del compensato marino. La personalizzazione delle imbarcazioni è ammessa, ma può essere realizzata solamente attraverso il contatto tra cliente e azienda, e ovviamente tramite pagamento per la consulenza e relative modifiche.

Per facilitare l'autocostruzione delle barche sviluppate e delle quali commercializza il progetto, la BCA-Demco Kit, propone corsi di formazione per la costruzione e riporta una sintesi delle tecniche costruttive da utilizzare:

**1. Tecnica cuci e incolla:** tecnica avente una storia radicata (vedi punto 2.5.1.9 *Mirror Dinghy*) nella realizzazione di imbarcazioni in compensato, basata sulla sem-

plicità e la rapidità di esecuzione, oggi facilitata dalla possibilità di realizzare paratie e fasciame con taglio a controllo numerico (CNC); le fasi principali di questa tecnica sono:

1. Cucitura;
2. Laminazione interna;
3. Rimozione cucitura;
4. Laminazione esterna;

**2. Strip Planking:** tecnica basata sulla preparazione di uno scalpo di costruzione formato da diverse costole per la formazione dello scafo attraverso la realizzazione della struttura interna, seguita dalla posa del fasciame e la conseguente laminazione esterna dello stesso.

I progetti riportati dal sito, realizzati da diversi autori, comprendono progetti di Canoe e Kayak, Derive e Diecipedì, Cabinati a vela, Multiscafi e barche a motore<sup>[54]</sup>.

#### Note:

52. 2015, G.M. (NEXTA), **Compensato Marino, dalle barche alle case. Un legno multistrato che proviene dal mondo nautico, utilizzato anche in edilizia.** La Stampa, 24.04.2015 (<https://www.lastampa.it/casa-design/2015/04/24/news/compensato-marino-dalle-barche-alle-case-br-1.35276194>);

53. <https://guidefaidate.com/compensato-marino-caratteristiche-utilizzo-prezzi>;

54. <http://www.bcademco.it/tecniche.html>;

### 1.5.2.2 Buonvento e Granvento

Entrambe barche a vela progettate dall'architetto **Rodolfo Foschi**, molto attivo nel campo della progettazione di imbarcazioni adatte all'autocostruzione.

La **Buonvento**, progettata nel 2002 e realizzata per la prima volta nel 2004, ha una lunghezza di 5,5 m, la **Granvento**, progettata nel 2007, arriva a 6,80 m<sup>[55]</sup>; entrambe sono state raccontate dallo stesso progettista in un libro di 60 pagine in cui riporta le fasi e le modalità

di autocostruzione con la tecnica "*cuci e incolla*", con l'utilizzo di compensato marino.

Ancora una volta quindi, vi è l'applicazione di un sistema costruttivo storico per la realizzazione di imbarcazioni altamente moderne, al fine di fabbricare imbarcazioni di alta qualità con la semplicità di una tecnica costruttiva tradizionale e riconosciuta.

Fig. 56: la Buonvento (2002) e la Granvento (2007), progettate dall'architetto Rodolfo Foschi.



**Note:**

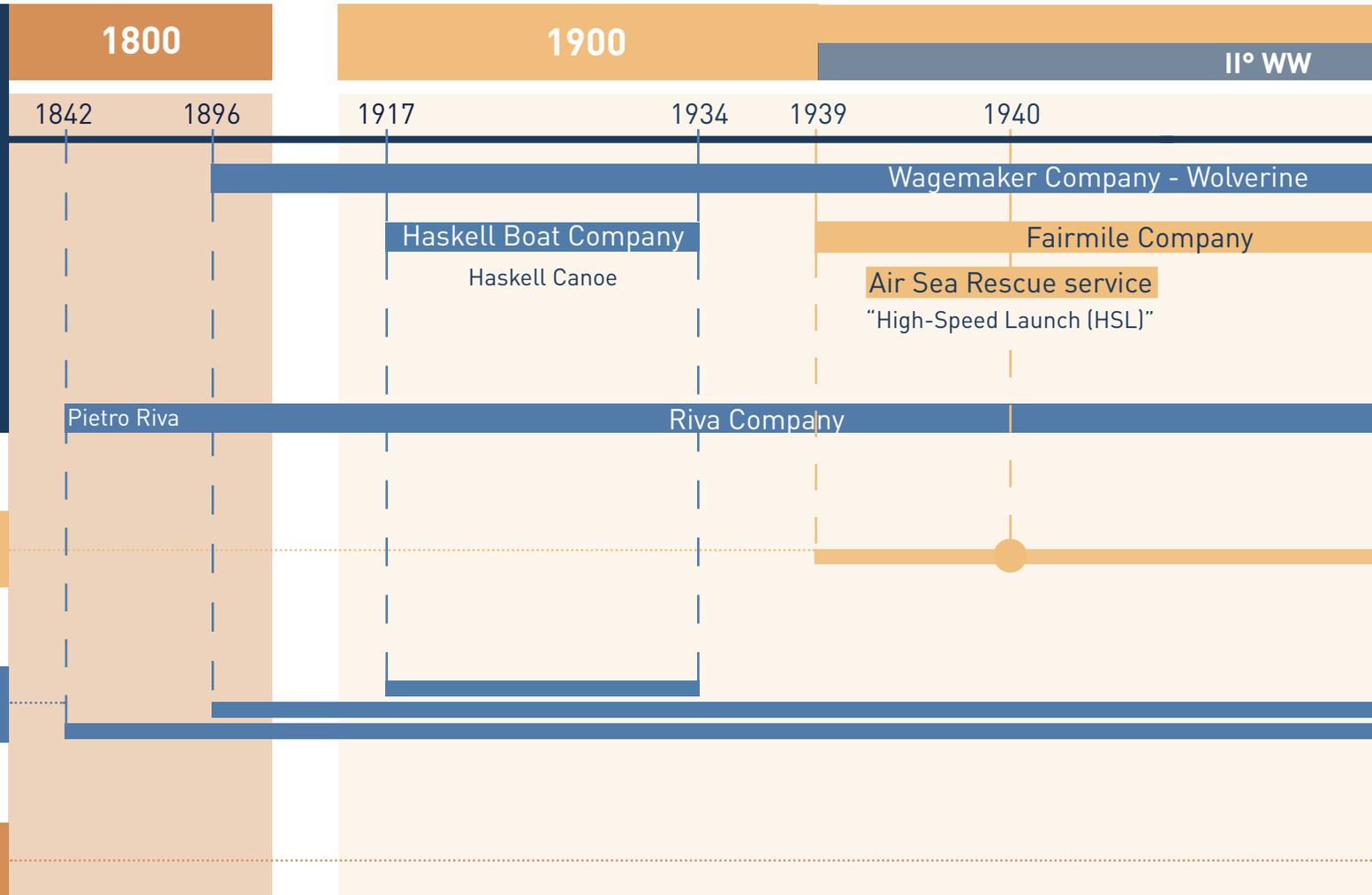
55. <http://buonvento-boat.com/il-granvento/>

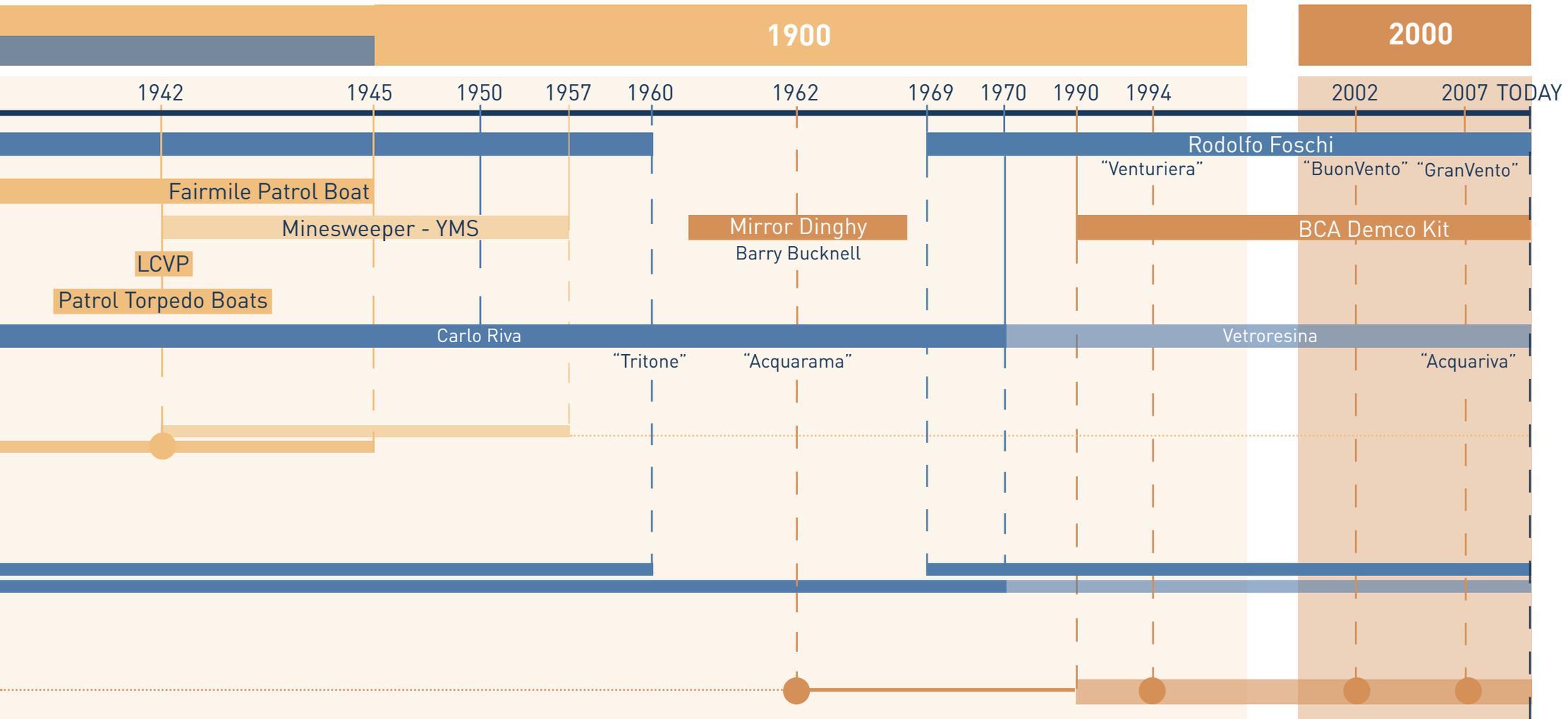


## 1.5.3 Analisi ambiti di impiego in campo nautico (TimeLine dal 1840 al 2019)

A scopo riassuntivo viene elaborata una linea del tempo riguardante sperimentazioni e utilizzo del compensato in campo nautico.

Elaborazione di:  
Matteo Vittone





TimeLine

## 1.6 Utilizzo del compensato nel settore dell'automotive

### 1.6.1 Applicazioni nell'automotive tra 1800-1900

Durante XIV° e XX° secolo, designer, architetti e ingegneri sperimentarono l'utilizzo del compensato come materiale per la realizzazione di veicoli.

Spesso considerato più forte, più leggero e più elastico del metallo, il compensato è stato usato in forma di pannello piano o anche modellato al fine di realizzare corpi di automobili, sidecar e furgoni.

L'uso di compensato nelle auto fu spesso legato ad aziende che in precedenza avevano già lavorato con questo materiale nel campo dell'aeronautica; l'imprenditore francese Georges Lévy, ad esempio, impiegò il compensato sia nella realizzazione di sidecar che di idrovolanti, con elementi simili utilizzati però in due contesti differenti.



### 1.6.1.1 Beach Pneumatic Transit

**“The Tube”**, così veniva soprannominato in America, già trattato al capitolo 2.2 sotto il punto di vista di brevetto segreto reso pubblico solo dopo anni di lavoro, si basava sul concetto di trasmissione pneumatica di oggetti attraverso tubazioni, proprio come veniva fatto per la posta.

Viene riportato che, nel 1912, anno in cui si iniziarono i lavori a Broadway per la realizzazione della nuova metropolitana di New York, vi fu il ritrovamento di resti del **“Beach Pneumatic Transit”**, che secondo la storia, fu realizzato in forma dimostrativa da Alfred Beach, al posto della realizzazione di alcuni piccoli canali per la spedizione di posta pneumatica.

La realizzazione di **Alfred Beach**, rimase segreta al momento della sua costruzione, per essere mostrata e aperta al pubblico solo nel momento in cui fu terminata, durante l'*American Institute Exhibition* del 1867.

Con un breve tratto di percorrenza, Beach tentò di convincere gli americani della fattibilità di un trasporto sotterraneo di persone fondato sul concetto alla base della posta pneumatica; ma la strada per lui fu molto tortuosa e morì senza compiere il suo obiettivo.

Nel 1960 l'utilizzo della trasmissione pneumatica venne rivista da Lockheed e MIT, con l'aiuto del dipartimento

del commercio americano, ma anche se questa modalità di trasporto presentava grandi pregi e si presentasse come una strada all'avanguardia per il periodo storico, il sistema non fu mai realizzato e tutt'ora, dopo circa 100 anni, non vi è stato alcuno sviluppo.

Le ricerche in questo campo però, continuano e chissà se un giorno *Alfred Beach*, potrà vedere il suo "*Pneumatic Transit*" in compensato, scorrere sotto le strade di qualche città<sup>[56]</sup>.

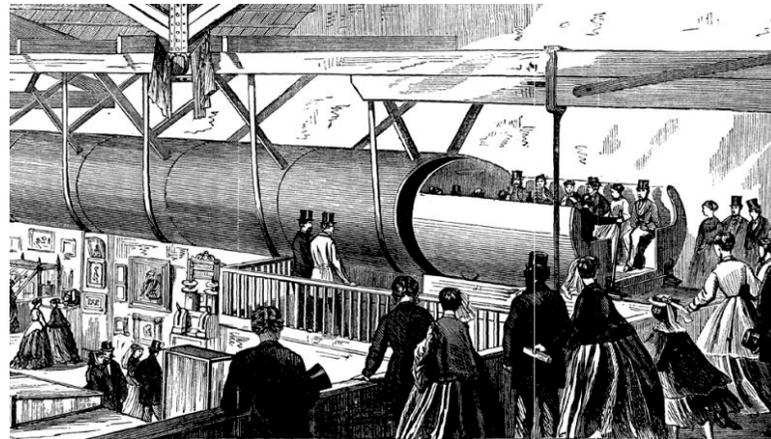


Fig. 61: Beach Pneumatic Transit, Alfred Beach, 1867 (a lato);

**Note:**

56. Alan Bellows, *The Remarkable Pneumatic People-Mover*, 2008 (<https://www.damninteresting.com/the-remarkable-pneumatic-people-mover/>)

### 1.6.1.2 DKW (“Drampf Kraft Wagen”)

L'azienda **DKW**, fu fondata nel 1915 da **Jorge Skaffe Rasmussen** a Zschopau (città tedesca vicina a Dresda), con l'obiettivo di progettare e produrre macchine a vapore, da cui ne trarrà il nome (“*Drampf Kraft Wagen*”, che letteralmente significa “*società di auto a vapore*”).

La realizzazione di questa tipologia di veicolo non ebbe però esiti felici, e la produzione, si spostò dopo la guerra verso la progettazione di motociclette.

La prima vera e propria realizzazione della DKW fu la **P-15**, un'auto a trazione posteriore, a due porte, con una carrozzeria autoportante in compensato che non necessitava di un telaio sottostante di supporto, garantendo una maggior leggerezza, velocità e abbattendo i consumi.

Alla P-15 seguì la **DKW 4=8**, anch'essa realizzata con carrozzeria autoportante in compensato multistrato, rivestito con uno strato di protezione agli agenti atmosferici in similpelle.

Dal 1928 in avanti, prima con il modello P-15 e poi con il 4=8, la società tedesca DKW utilizzò il compensato modellato e piano per realizzare carrozzerie di auto familiari a prezzi accessibili [57]; combattendo inoltre i pregiudizi sulla scarsa affidabilità del compensato sottolineandone le proprietà uniche quali, robustezza, resistenza, facilità di riparazione e silenziosità alla guida.

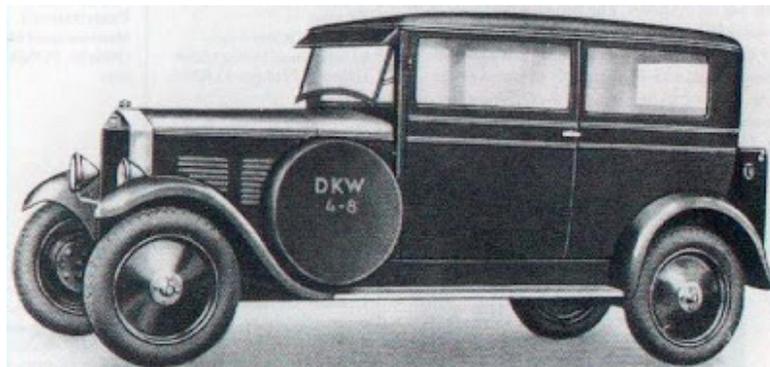


Fig. 62: immagine della DKW 4=8 (sopra);

Fig. 63: pagina di articolo britannico del modello DKW 4 = 8, viene mostrata sia l'auto completa che i meccanismi interni. Gli assi anteriore e posteriore erano collegati solo all'albero motore. (a lato).

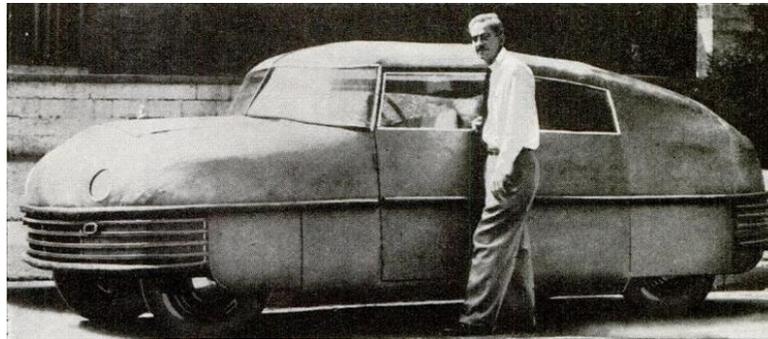
**Note:**

57. Paul MArkham, **DKW - Germany's Wonder Car**, 2011 (<http://heinkelscooter.blogspot.com/2011/02/dkw-germanys-wonder-car.html>).



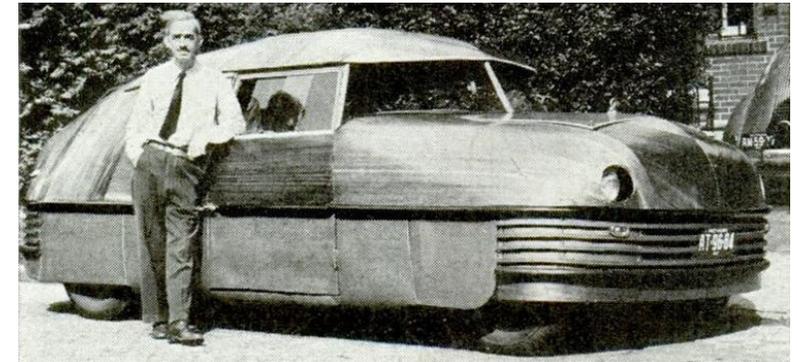
### 1.6.1.3 Alfred Raymond “Ray” Russel’s cars

“Ray” Russel, designer originario di Wilmington, Delaware (Stati Uniti), nel 1941 realizzò la prima auto con carrozzeria in plastica la cui scocca era posizionata su di una rete metallica che a sua volta veniva legata ad un telaio realizzato in tubi d’acciaio.



Questa novità nel campo automobilistico gli valse una menzione nel Megazine “*Popular Mechanics*”, ma probabilmente a causa della scarsa reperibilità di materiale, l’anno dopo passò alla realizzazione della stessa auto, ma con carrozzeria in compensato.

L’utilizzo del compensato gli permise di eliminare la rete metallica che precedentemente serviva per la posa della scocca in plastica, applicando la scocca direttamente sulla struttura tubolare in acciaio, incollandola con della resina impermeabile.



Russel affermò che entrambe le auto pesavano molto meno di un’automobile tipica realizzata in acciaio e materiali metallici, senza perdere nulla, ne in termini di estetica ne in termini di resistenza, e anzi guadagnando in termini di consumo e velocità.

Gli esperimenti di Russel si concentrarono in seguito sull’alluminio, con il quale realizzò la “Gadabout”<sup>[58]</sup>.



Fig. 64: Plastic Car, Ray Russel, 1941 (a lato);

Fig. 65: Plywood Car, Ray Russel (in alto a destra);

Fig. 66: Gadabout, Ray Russel (in basso a destra).

#### Note:

58. Daniel Strohl, *Plywood cars and hydraulic drive – the wartime cars of Ray Russel*, 2010 (<https://www.hemmings.com/blog/2010/04/20/plywood-cars-and-hydraulic-drive-the-wartime-cars-of-ray-russel/>)

### 1.6.1.3 Unicel freight car

Bertrand Goldberg (1913-1997), fu un architetto e designer americano, dopo uno sviluppo di sistemi per la prefabbricazione di abitazioni in compensato, dal 1945 iniziò a lavorare ad un nuovo progetto, la realizzazione di vagoni merci, realizzati utilizzando lo stesso materiale.

La scelta del compensato quale materia prima era ancora una volta dettata dalla carenza di acciaio nel dopoguerra. L'aspetto più importante era il suo impiego per la realizzazione di un'unica carrozzeria autoportante.

Il brevetto Unicel uscì nel 1953; tuttavia questo prodotto non raggiunse mai una produzione di massa a causa della spietata concorrenza delle aziende che utilizzavano leghe metalliche.

Questo progetto portò innovazione nel campo dell'architettura, grazie allo sviluppo di alcuni moduli abitativi, denominati *Unishelter Houses*, prodotti proprio come il vagone Unicel, interamente realizzati in fabbrica e poi facilmente trasportati nel sito di installazione <sup>[58]</sup>.

**Note:**

58. <http://bertrandgoldberg.org/projects/unicel-prefab-freight-cars/>;



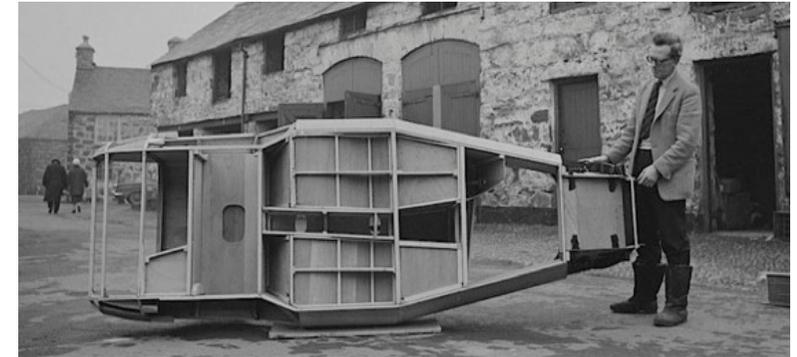
Fig. 67: Unicel freight car, Bertrand Goldberg, 1953.

### 1.6.1.4 “Frank” Costin’s Cars

Francis Albert Costin, questo il suo nome per esteso, fu ingegnere De Havilland durante la guerra, e proprio grazie a questa sua esperienza nel campo dell’aeronautica, una volta terminata la guerra, iniziò la realizzazione di macchine sportive dotate di una grande aerodinamicità, sfruttando il materiale nel quale credeva di più, il compensato.



Nel 1959, con il suo socio in affari, Jem Marsh, fondò la Marcos Engineering (*per metà Marsh e metà Costin*), e iniziarono la produzione di auto con telaio in compensato. La prima auto fu la Gullwing, seguita da una serie di Gran Turismo (Lotus Elite, Ultra Low Drag Vehicle, Lotus Elan, ecc...) <sup>[59]</sup>.



Il telaio era costituito da pannelli di compensato marino piani e curvi, impermeabili, uniti tramite l’uso di piccoli listelli d’abete e collanti sintetici utilizzati in precedenza nel campo aeronautico.

La carrozzeria, realizzata in plastica rinforzata con fibra di vetro, veniva incollata al telaio in ogni punto possibile di contatto <sup>[60]</sup>.



Fig. 68: realizzazione del telaio in Plywood alla Marcos Engineering (a lato);

Fig. 69: prototipo di telaio in Plywood realizzato da Frank Costin (in alto a destra);

Fig. 70: Frank Costin all’interno del suo prototipo di telaio realizzato in Plywood (in basso a destra).

#### Note:

59. Motor Sport Magazine, **The Cars of Frank Costin**, p.35, 1984 (<https://www.motorsportmagazine.com/archive/article/september-1984/35/cars-frank-costin>);

60. Motor Sport Magazine, **Frank Costin and his Amigo**, p. 40, 1972 (<https://www.motorsportmagazine.com/archive/article/january-1972/40/frank-costin-and-his-amigo>);

## 1.6.2 Applicazioni nell'Automotive oggi

Oggi, diversi produttori di compensato, tra i quali si riportano Vigolungo <sup>[61]</sup> e Panguaneta <sup>[62]</sup>, sono passati a produrre componenti per l'automotive, in particolare per caravan, furgonati, camion, camper e anche automobili. In particolare, il compensato è adibito al design degli interni, rispondendo molto bene alle richieste di estetica, facilità di lavorazione e resistenza all'umidità. I prodotti sono principalmente utilizzati per la realizzazione di pianali, pareti attrezzate, elementi della carrozzeria, fino alla conferma di veri e propri spazi abitativi all'interno di camper e caravan.

Le caratteristiche maggiormente apprezzate in questo tipo di impiego sono la leggerezza, la flessibilità e la resistenza del compensato, se confrontato con altri materiali.

Oltre a questo impiego, che potremmo definire maggiormente industriale, vi sono anche nel campo dell'automotive esperienze di DIY e prototipizzazione.

Per quanto riguarda il campo dell'autocostruzione si riporta la realizzazione di una Lamborghini interamente in compensato, da parte di William Covasso. La lavorazione e realizzazione è durata 5 anni, iniziata nel 2012 e terminata nel 2017, portando ad un ammirabile risultato, una Lamborghini Aventador LP700-4 in compensato di pioppo, con lunotto e finestrini in plexiglass <sup>[63]</sup>.



Fig. 71: Lamborghini Aventador LP700-4 realizzata interamente in compensato.

Sostenibilità, ricerca, sviluppo e collaborazione sono alla base della prototipizzazione in ogni campo, ne è una dimostrazione la *Shell Eco Marathon*, un programma che invita migliaia di studenti a lavorare e competere per la realizzazione dei migliori prototipi nel mondo dell'automotive, utilizzando tecnologie avveniristiche, ragionamento e idee innovative.

Nel 2012 la Aston University entra in competizione con un'automobile alimentata a idrogeno e interamente realizzata con un materiale composito, compensato-cartone. Inoltre, i pannelli che costituiscono il corpo dell'auto sono stati progettati per essere spediti all'interno di pacchi piani, consentendone una più semplice commercializzazione. Diversi gli aspetti innovativi di questo prototipo che lo portarono quell'anno, a vincere la manifestazione <sup>[64]</sup>.

Facilità di assemblaggio, di riparazione, di scomposizione in parti relativamente piccole, possibilità di auto-costruzione, resistenza e caratteristiche specifiche del materiale, quali la leggerezza e la resistenza all'umidità del compensato marino, rendono questo materiale utilizzabile in qualsiasi campo, come dimostrato nelle ricerche precedenti; certo riporre fiducia in questo materiale per la costruzione delle nostre abitazioni non è cosa semplice.



Fig. 72: prototipo in compensato realizzato dalla Aston University in occasione della Shell Eco Marathon 2012 (a sinistra);



Fig. 73: prototipo in compensato e team di realizzazione della Aston University in occasione della Shell Eco Marathon 2012 (a destra).

**Note:**

61. <https://www.vigolungo.com/it/settori/compensato-per-automotive/>;

62. <https://www.panguanetaplywood.com/applications/automotive/tutto-pioppo>;

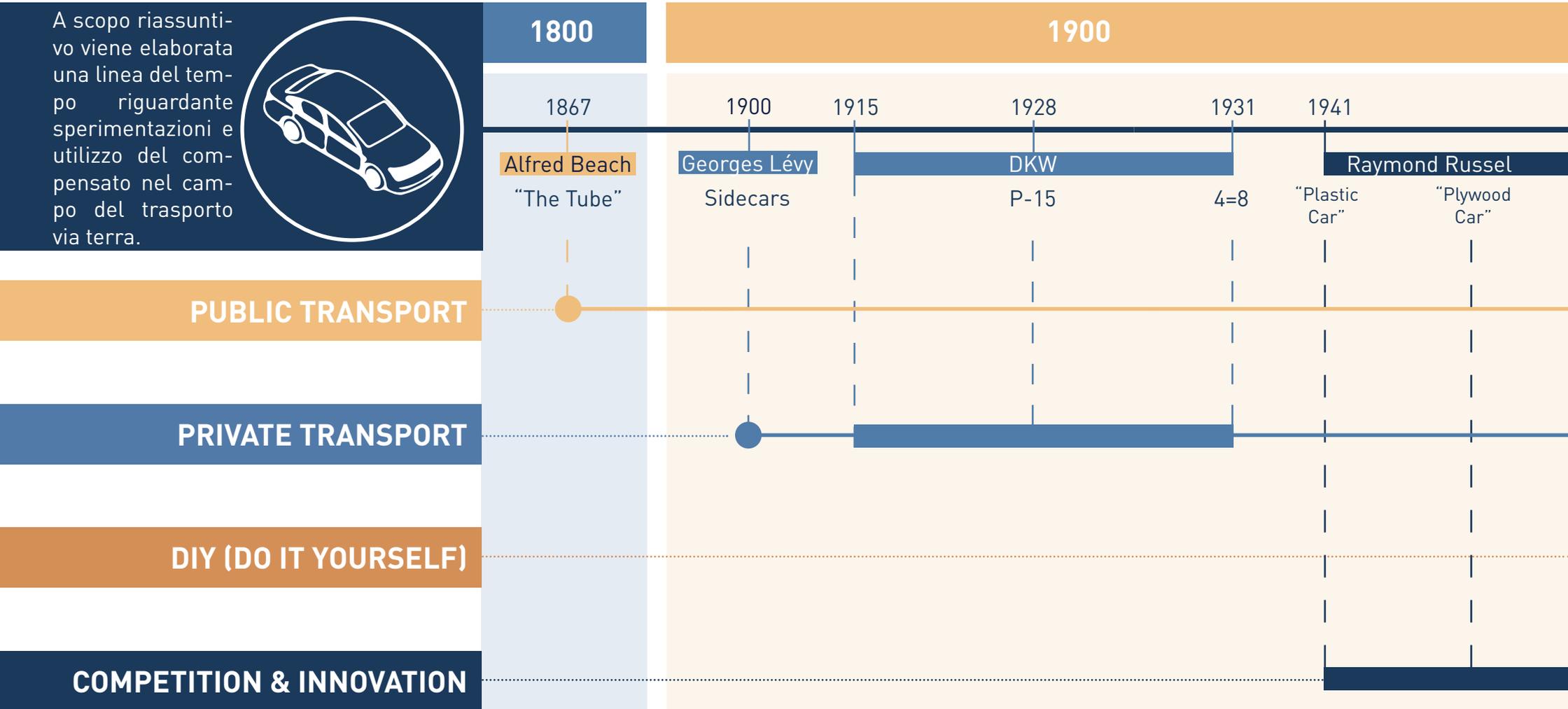
63. <https://motori.virgilio.it/auto/non-puo-comprarsi-lamborghini-la-costruisce-in-compensato/95081/>;

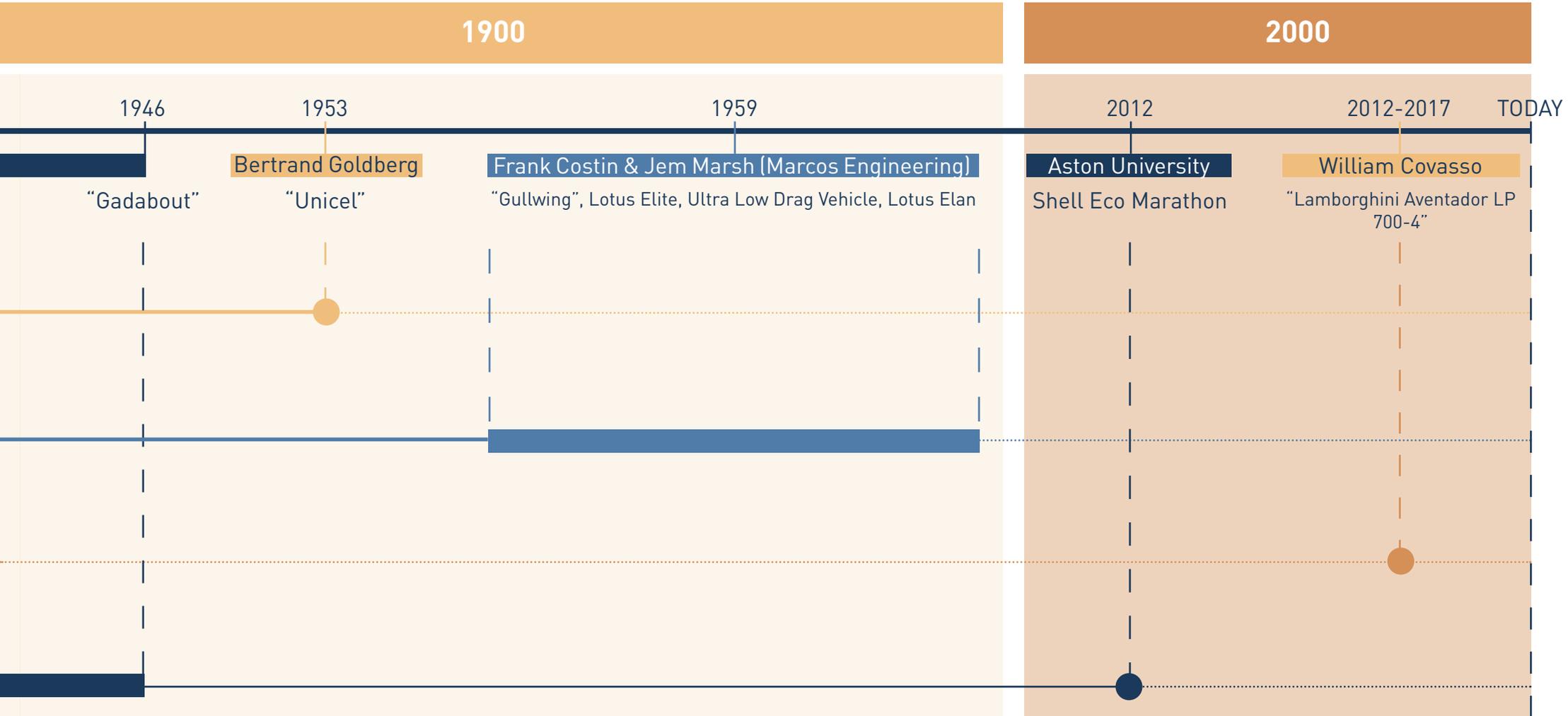
64. James Holloway, **Flat-pack cardboard and plywood car scoops Eco-Design award at Shell Eco-Marathon, 2012** (<https://newatlas.com/flat-pack-cardboard-plywood-car/23328/>);

Il prossimo capitolo tratterà proprio l'utilizzo di questo materiale nella realizzazione di padiglioni, abitazioni, interventi sul costruito, moduli abitativi, passando dalle sperimentazioni alle nuove prospettive per un vero e proprio sistema costruttivo in legno compensato.

## 1.6.3 Analisi ambiti di impiego nel settore automotive (TimeLine dal 1860 al 2019)

A scopo riassuntivo viene elaborata una linea del tempo riguardante sperimentazioni e utilizzo del compensato nel campo del trasporto via terra.





TimeLine



## **CAPITOLO 2**

Plywood:

proprietà, caratteristiche, classificazioni e normativa



## 2.1 Il legno compensato: generalità

Il legno compensato, in inglese “plywood” o “multiplywood”, è un particolare tipo di legno ingegnerizzato che presuppone l’incollaggio di sottili “fogli”, “layers”, “plies” o “veneers”, in numero maggiore o uguale a 3, sovrapposti uno perpendicolare all’altro, al fine di realizzare pannelli resistenti in entrambe le direzioni delle fibre, “compensandone” le variazioni dimensionali dovute all’umidità e limitandone il comportamento anisotropo.

Le sue qualità e caratteristiche sono state apprezzate sin dall’antichità, sia per la sua leggerezza e resistenza che per la sua facilità di impiego e lavorazione. Al contrario del legno massello infatti, il prodotto finale può avere dimensioni notevoli, spessori variabili, presentare imperfezioni trascurabili, garantendo resistenza e leggerezza. Entra nella classificazione di legno ingegnerizzato, perché è composto, perfezionato, dall’albero, sino al prodotto finale, utilizzato dagli utenti per diversi scopi, dalla realizzazione di componenti d’arredo fino alla realizzazione di componenti strutturali e componenti di veicoli per il trasporto.

I fogli di cui è composto provengono dalla sfogliatura e tranciatura di un tronco selezionato, distinti in seguito in relazione alla qualità e alle caratteristiche intrinseche come la presenza di nodi e imperfezioni.

Di norma, i pannelli di compensato sono formati da un numero dispari di fogli sovrapposti, maggiori o uguali a 3, con fibratura incrociata e disposizione simmetrica rispetto allo strato centrale, anche chiamato “anima”.

Per rendere il pannello solidale, tra i vari “layers” viene spalmata una miscela collante che può avere composizione e caratteristiche diverse. Il risultato finale, dopo una serie di lavorazioni quali pressatura, stuccatura, squadratura, calibratura e levigatura, è un pannello di spessore voluto, controllato e con delle caratteristiche specifiche di composizione, resistenza, durabilità, pre-stabilite al principio del processo.

Il suo utilizzo, varia in molteplici campi, nella storia si trovano applicazioni e sperimentazioni nel campo dell’architettura, del design di interni, fino alla realizzazione di scafi per imbarcazioni e di telai per areoplani, auto e moto. Questo rende evidente la volubilità del materiale, che possiede la capacità di poter essere utilizzato per diversi scopi con gli stessi e ottimi risultati, in ambienti differenti, più o meno ostili, e quanto, con le moderne tecniche di lavorazione, possa essere “personalizzabile” e adattabile ad ogni esigenza.

Certamente, è stato un materiale che durante il ventesimo secolo ha visto un mutare della considerazione da parte degli uomini, un materiale che ha visto sfumare il suo “potere”, il suo valore, in certi periodi e un aumentare dello stesso in altri. Molta importanza ha avuto il pensiero corrente tra la gente, troppo spesso infatti era visto solamente come un materiale di finitura, di scarsa qualità e adatto solamente ad usi temporanei. Altre volte sono stati sviluppati dei prototipi molto all’avanguardia arrivando a risultati ottimi sotto diversi punti di vista grazie ad alcune qualità importanti del materiale, tra cui il rapporto peso-resistenza e costi-benefici, che hanno visto l’utilizzo del compensato piuttosto che altri materiali, anche se considerati più “nobili”.

## 2.2 Evoluzione della definizione di 'Plywood'

*"Plywood is made from a stack of thin sheets (plies) of wood called veneers, invariably odd in number, and glued together with the grain of each layer running perpendicular to the next. This cross graining creates maximum strength and stability in the material" <sup>[1]</sup>*

Molto interessante, per capire l'evoluzione del materiale e del suo utilizzo, è sicuramente aprire una riflessione sulle definizioni che con il passare del tempo vengono date a questo materiale concentrandosi sul variare della concezione propria del materiale.

La parola "plywood" o "ply-wood" è stata registrata per la prima volta intorno al 1906<sup>[2]</sup>, in sostituzione di "venereing", termine che portava con sé il significato negativo di "rivestimento esteriore usato per nobilitare un legno di scarso valore"<sup>[3]</sup>, e venne utilizzata per indicare invece "a structural material consisting of sheets of wood glued or cemented together with the grains of adjacent layers arranged at right angles or at a wide angle" <sup>[4]</sup>.

Da quel momento il compensato è stato usato principalmente in forma di pannelli e forme modellate, per componenti strutturali e non. Nel 1940 la definizione era molto differente e faceva immaginare un utilizzo molto diverso del materiale, a scopi puramente di supporto e senza alcun aspetto strutturale:

*"Panels or other assemblies that are usually made up of layers of wood veneer bound together by an adhesive. Plywood is used in construction principally for sheathing, subflooring, wall paneling and partitions, doors, and cabinets, in the construction of concrete forms, and for siding" <sup>[5]</sup>.*

In seguito, nel 1963, J.G. Shea in "Plywood working for everybody"<sup>[6]</sup>, differenzia il materiale in "softwood" e "hardwood", dove la differenza tra le due tipologie è proprio quella strutturale, di composizione del pannello e del suo relativo utilizzo. In particolare, il primo non prevede l'utilizzo strutturale, mentre il secondo viene definito come un materiale da costruzione ideale, costituito da specie legnose più dure, un'anima centrale di spessore più alto e due strati di rivestimento più sottili.

Plywood appunto, da "plies", strati, e "wood", legno, lamelle o "veneers" sovrapposte ed incollate con fibre perpendicolari tra loro, così da garantire leggerezza, resistenza, variabilità di impiego e per la compensazione delle variazioni dimensionali dovute all'umidità, limitando il comportamento anisotropo del legno.

Il compensato cambia, cambiano i campi di impiego, acquisisce considerazione, perde affidabilità o torna

### Note:

1. Christopher WILK, Elizabeth BISLEY, **Plywood: a material story, United Kingdom**, Thames and Hudson, 2017, traduzione: ["Il compensato è prodotto da strati sottili di legno chiamati piallacci, invariabilmente in numero dispari, incollati insieme con strati adiacenti aventi venatura ruotata fino a 90 gradi l'uno rispetto all'altro. Questa grana trasversale crea la massima resistenza e stabilità nel materiale"];]

di “moda”. Il materiale, soprattutto dopo la metà del 1900 ha visto un crescere della diffidenza nei suoi confronti con una diminuzione del suo utilizzo, limitato a elementi di relativa importanza quali costruzioni temporanee, tamponamenti o arredi definiti di poco pregio, economici.

Negli ultimi anni, si è tornati all'utilizzo di questo materiale grazie ad un avanzamento tecnologico nel sistema produttivo (utilizzo di macchine a controllo numerico, perfezionamento del processo, modifiche nella composizione del materiale, studio di diversi collanti utilizzabili, trattamenti che ne possono conferire caratteristiche utili a diversi impieghi) e grazie alla rivalutazione del materiale sotto aspetti di durabilità, resistenza, leggerezza e facilità di lavorazione.

Nelle definizioni più recenti, come quella del 2014 dello United States Department of Agriculture nel NAL Thesaurus, quella dell'APA – The Engineered Wood Association e quella riportata da Christopher Wilk in “*Plywood, A Material Story*” del 2017, viene ripreso il concetto di pannello strutturale e l'utilizzo strutturale del compensato in architettura, per la realizzazione di padiglioni e strutture abitative più o meno complesse. Troviamo diverse sperimentazioni in campo architettonico più o meno recenti, che verranno descritte nel capitolo 2 relativo alle sperimentazioni nel campo del compensato.

**Note:**

2. Christopher WILK, Elizabeth BISLEY, *Plywood: a material story*, p. 17, United Kingdom, Thames and Hudson, 2017;

3. Gabriele NERI, *Volare sul compensato*, 2017, [https://www.ilsole24ore.com/art/cultura/2017-07-29/volare-compensato-133750.shtml?uuid=AEhgx4rB&refresh\\_ce=1](https://www.ilsole24ore.com/art/cultura/2017-07-29/volare-compensato-133750.shtml?uuid=AEhgx4rB&refresh_ce=1);

4. [www.merriam-webster.com/dictionary/plywood](http://www.merriam-webster.com/dictionary/plywood), traduzione: [“materiale strutturale composto da fogli di legno incollati o cementati insieme con fibre degli strati adiacenti disposte perpendicolarmente o ad angolo ampio una rispetto all'altra”];

5. *New Housing and Its Materials*, 1940-56 by Federal Reserve Archival System for Economic Research U.S. Bureau of Labor Statistics, U.S. Department of Labor, [http://www.michaelcarliner.com/files/Data/BLS58\\_Housing-Materials1940-56.pdf](http://www.michaelcarliner.com/files/Data/BLS58_Housing-Materials1940-56.pdf) , traduzione: [“Pannelli o altri prodotti composti da fogli di legno uniti tra loro con un adesivo. Il compensato viene utilizzato principalmente per la costruzione di guaine, sottofondi, rivestimenti e pareti divisorie, porte e armadi, nella costruzione di forme in calcestruzzo e per rivestimenti”];

6. John Gerald SHEA, *Plywood working for everybody*, Princeton, Van Nostrand, 1963;

## 2.3 Evoluzione del materiale

La produzione di compensato non è nata autonomamente, infatti la produzione di fogli di legno sottili è iniziata per una funzione diversa, quella di nobilitare legni di poco pregio con il rivestimento.

I primi tentativi di fabbricazione di compensato, o meglio di sfogliati per la produzione di compensato, sono stati fatti in Francia nel 1860 dove Garand inventò una macchina in grado di produrre sfogliati, senza la possibilità di regolarne però lo spessore. Lo stesso Garand sviluppa una nuova macchina negli anni '70 dell'ottocento per la produzione di sfogliati per il rivestimento [SHEA, 1963].

La fabbricazione però di pannelli di compensato, come li intendiamo oggi, ebbe inizio con il brevetto per piani da sedia del tedesco K. Witkowsky, nel 1884, seguito nel 1885 da Harras, primo ad adottare un procedimento basato sull'incollaggio a caldo con pressa idraulica di tranciati. Negli ultimi anni del 1800 L. Lourière fabbricò cassettae da imballaggi con la sovrapposizione di tre strati di sfogliato disposti con fibratura incrociata, e nel 1903 fondò la prima fabbrica per la produzione di compensati in Austria. Quasi contemporaneamente a questo sorsero altre fabbriche in Germania; tutte avevano in comune l'utilizzo di colla alla caseina. Oltre Oceano, in America, il primo brevetto per la fabbricazione di pannelli multistrato fu del 1868 ma non vide applicazione fino al 1905, a Portland in Oregon alla "Lewis and Clark Exposition" [SHEA, 1963].

La lavorazione inizialmente era molto grezza, iniziava con una essiccazione all'aria aperta dei fogli, a cui seguiva una spalmatura manuale di colle animali e infine

un serraggio con presse a chiusura manuale. Bisognerà infatti attendere fino al 1906 per iniziare a vedere incollaggi meccanici e solo nel 1912 entrarono in funzione i primi essiccatoi artificiali. Presto in America si arrivò a produrre porte, tavoli da disegno, e addirittura a vedere applicazioni in campo aeronautico, mentre in Europa si era data maggior attenzione alla produzione di sedie, mobili e recipienti, pezzi finiti, d'arredo. Nel 1927 iniziò la graduale sostituzione delle colle di origine animale con quelle a base di soia [GIORDANO, 1983].

In Italia, bisognerà attendere fino al 1918 per trovare i primi tre impianti di produzione di compensato, per poi giungere al 1972 ad avere più di 240 stabilimenti, questo per l'apprezzamento da parte dei consumatori del prodotto finito ma anche in risposta alle sanzioni conseguenti alla campagna d'Etiopia del 1935-36, quando gli approvvigionamenti di Okoumé furono interrotti e si pensò di sfogliare il Pioppo della Pianura Padana, ottenendo ottimi risultati. Questo successo però ebbe un declino intorno alla fine degli anni '60 determinato da alcune malattie che colpirono le piantagioni di pioppo e da un diverso indirizzamento delle coltivazioni che puntarono ad avere legname di più scarso valore per la produzione di carta o pannelli di fibre o particelle [GIORDANO, 1983].

Nel 1982 le industrie produttrici di compensato si erano ridotte a 102, lasciando il posto all'utilizzo di compensati di importazione dai Paesi del Terzo Mondo [GIORDANO, 1983], fino ad arrivare a 20, nel 2017, con una capacità produttiva nazionale intorno ai 2800 m<sup>3</sup> al giorno<sup>[7]</sup>.

## 2.4 Materie prime e tecnologia di fabbricazione

Per la realizzazione di pannelli di compensato si possono utilizzare tutte le specie legnose che permettano la sfogliatura, le più comuni sono Betulla, Faggio, Pino e Pioppo, a cui si aggiungono specie esotiche come l'Okoumè, il Teak e il Mogano.

La produzione dei pannelli inizia con la verifica sul campo delle condizioni del fusto arboreo dal quale si vogliono ricavare gli sfogliati. Questa verifica viene effettuata per constatare la presenza o meno di difetti e la loro dimensione, tuttavia oggi questa operazione, prendendo come esempio le colture di pioppo della Pianura Padana, si è ridotta, grazie all'introduzione di *'cloni'* che riducono sensibilmente i difetti e presentano caratteristiche ottimali per quanto riguarda la resistenza alle avversità climatiche del territorio in cui vengono impiantati, prestandosi in modo ottimale alle lavorazioni ai quali devono essere sottoposti.

Questa operazione iniziale permette all'azienda di avere un controllo sulla materia prima sin dall'albero, sin dal suo innesto, conoscendo così a priori il materiale di lavorazione e il risultato ottenibile. Questo valore aggiunto aumenta il livello di ingegnerizzazione del materiale finale che vede un controllo sull'intero ciclo di crescita e produzione.

Si riporta di seguito un diagramma che riassume e descrive le fasi di produzione di un pannello di compensato [ADELIZZI, 1999, p. 220].

### \_Prima fase

- Deposito e selezione dei tronchi in relazione a lunghezza e qualità
- Collaudo
- Scortecciatura

### \_Seconda fase

- Sfogliatura
- Taglierinatura
- Essiccazione
- Selezione sfogliati per qualità
- Incollaggio sfogliati
- Composizione del pannello
- Pressatura
- Stuccatura
- Calibratura

### \_Terza fase

- Collaudo finale
- Imballaggio e spedizione

Per quanto riguarda il processo di produzione di un compensato curvato, è del tutto simile a quello descritto per la produzione di pannelli piani, l'unica differenza nel processo è l'introduzione di una "formatura", che può avvenire in diversi modi.

Una prima modalità è la predisposizione dei fogli su sagoma e controsagoma per essere pressati a caldo, ottenendo curvatura e adesione tra gli strati; una seconda modalità è l'utilizzo di un guscio d'acciaio abbinato ad un tubo con un fluido in pressione o, pratica più comune oggi, attraverso presse ad alta frequenza basate sul riscaldamento per perdite dielettriche, che consente di ottenere una sagomatura in tempi ridotti [ADELIZZI, 1999].

## 2.5 Tipologie di compensato

Come già accennato, il compensato non è un materiale univoco e anzi si presta molto bene alla variabilità della sua composizione in relazione alla destinazione d'uso; può essere realizzato attraverso l'incollaggio di sfogliati di diverse specie legnose, aventi spessori diversi e in numero variabile (comunque dispari e maggiore o uguale a 3) così da conferire al materiale caratteristiche e qualità differenti, personalizzate e ottimali.

In questo ambito viene definito impropriamente pannello di compensato anche un pannello con un numero di sfogliati maggiore di tre, che comunemente viene definito come pannello multistrato. Multistrati e compensati vengono spesso confusi perché le modalità di realizzazione sono le medesime e l'unica differenza è proprio il numero di strati di cui sono composti<sup>[8]</sup>.

Tuttavia nella bibliografia consultata, spesso multistrati e compensati vengono trattati allo stesso modo, dando definizioni e classificazioni univoche. Adelizzi ne il "Manuale dei semilavorati: semilavorati di legno naturale e pannelli a base legno" parla allo stesso modo di "plywood" e "multiplywood" e accosta ai pannelli di compensato classici, dei pannelli speciali, definiti come "pannelli compensati multistrati per diversi impieghi" classificandoli in:

- **Compensato a fibratura longitudinale:** avente fibratura parallela alla dimensione maggiore del pannello;
- **Compensato a fibratura trasversale:** avente fibratura delle facce parallela alla dimensione inferiore dello stesso;
- **Compensato bilanciato:** avente strati simmetrici ri-

spetto allo strato centrale sia per quanto riguarda lo spessore che la specie legnosa;

- **Compensato blindato:** con inserto di fogli in metallo;
- **Compensato composito:** avente l'anima costituita da materiali diversi dal legno;
- **Compensato di piallacci;**
- **Compensato marino:** adatto per applicazioni nel settore nautico, realizzato con requisiti di incollaggio per l'uso esterno con l'utilizzo di fogli di specie legnose durabili;
- **Compensato resinato:** rivestito con resina o foglio a base di fibre cellulosiche impregnate di resina.

Questa classificazione si basa sulla composizione stratigrafica del materiale, in relazione alla disposizione delle fibre e in relazione al materiale di cui sono realizzati i diversi "layers" che lo compongono.

Le composizioni possibili sono probabilmente infinite e questa è solo una classificazione di massima.

Le classificazioni del materiale in base alle sue caratteristiche e alle caratteristiche di incollaggio, vengono stilate da norme UNI EN, illustrate ai punti 1.6 e 1.7.

### Note:

8. Scuola Garibaldi, *altermvista.org*, **I pannelli di legno**, <http://scuolagaribaldi.altermvista.org/PANNELLI.pdf>;

Maria LEONE, **Tutto sul legno multistrato**, *lavorincasa.it*, 2015, <https://www.lavorincasa.it/legno-multistrato/>;

## 2.6 Caratteristiche e classificazioni del compensato

L'utilizzo del compensato varia al variare delle sue caratteristiche, al variare della specie legnosa utilizzata nella sua composizione, alla capacità di resistere in ambienti più o meno umidi, alla tenuta dei collanti tra gli strati, alla qualità delle facce. Ognuna di queste singole caratteristiche ne potrà determinare il campo di impiego e il risultato ottenibile.

Una prima classificazione ci viene fornita dalla UNI EN 313-1 del 1997 "Pannelli di legno compensato. Classificazione e terminologia", la quale distingue i compensati e multistrati in base a tre elementi:

- **Aspetto generale**, suddiviso a sua volta in base a:
  1. *Costituzione*: pannelli costituiti da piallacci o sfogliati, pannelli con anima e pannelli compositi;
  2. *Forma*: pannelli piani e curvi.
- **Caratteristiche generali**, suddiviso in base a:
  1. *Durabilità*: impiego in ambiente secco, umido o esterno;
  2. *Caratteristiche meccaniche* (UNI EN 12369);
  3. *Aspetto delle facce* (UNI EN 635);
  4. *Finitura superficiale*: pannelli grezzi, levigati, prefiniti, nobilitati, placcati;
- **Requisiti dell'utilizzatore finale**.

In relazione alla norma UNI EN 314 "Pannelli di legno compensato - Qualità dell'incollaggio - Parte 1 e Parte 2" è stata definita una classificazione in base all'incollaggio, fattore che ne determina l'ambiente di utilizzo, regolato a sua volta dalla UNI EN 335 "Durabilità del legno e dei

prodotti a base di legno - Classi di utilizzo: definizioni, applicazione al legno massiccio e prodotti a base di legno", che definisce in relazione a questo le classi di utilizzo.

### 2.6.1 Le classi di qualità

La classificazione qualitativa del compensato si basa puramente sull'aspetto estetico dei pannelli, facendo riferimento alle norme UNI EN 635-1, "Pannelli di legno compensato - Classificazione in base all'aspetto delle facce - Generalità" e UNI EN 635-2 "Pannelli di legno compensato - Classificazione in base all'aspetto delle facce - Latifoglie", che definiscono 5 classi principali:

- Classe E (ex classe A della UNI 6471);
- Classe I (ex classe AB della UNI 6471);
- Classe II (ex classe B della UNI 6471);
- Classe III (ex classe BB della UNI 6471);
- Classe IV (ex classe C della UNI 6471).

La classe E non ammette difetti sulle facce presupponendo un utilizzo faccia a vista del foglio di compensato; la classe I definisce facce che possono rimanere a vista, con piccole imperfezioni, come nodi e colorazioni leggere; la classe II, una faccia "naturale" con variazioni cromatiche classiche del materiale e nodi ridotti e sani, idonea per rivestimenti; la classe III definisce una faccia "aperta", idonea per impieghi nei quali la faccia rimane coperta e non visibile, e la classe IV una faccia di compensato destinato all'imballaggio e per questo

ammette tutte le caratteristiche naturali del legno<sup>[9]</sup>.

Solitamente, i fogli di qualità maggiore sono utilizzati per gli strati esterni, mentre internamente vengono utilizzati i fogli di classe minore, con un numero di difetti estetici maggiori. Allo stesso tempo è previsto l'utilizzo di sfogliati di specie legnose diverse per ottenere prodotti finiti con caratteristiche precise e derivanti dalle caratteristiche intrinseche delle speci legnose, denominati "combi"<sup>[10]</sup>. Viste le diverse combinazioni che si possono ottenere, ogni pannello vede la valutazione qualitativa di entrambe le facce, che evidentemente possono essere diverse.

I pannelli hanno una massa volumica che varia tra i 400 e gli 800 kg/m<sup>3</sup> in relazione alla loro composizione e conformazione. Un compensato di pioppo ad esempio si aggira sui 350 kg/m<sup>3</sup>, uno di Okoumè sui 500 kg/m<sup>3</sup> e uno di faggio sui 750 kg/m<sup>3</sup><sup>[10]</sup>.

Sono presenti sul mercato tipologie di compensato marino, nato per il settore nautico e realizzato con legni esotici quali l'okoumé e il teak, con buone caratteristiche di durabilità in ambienti dove la percentuale di umidità è molto alta.

I pannelli sono realizzati solitamente attraverso l'incollaggio di fogli (in numero dispari), di spessore fino ai 7 mm, raggiungendo uno spessore complessivo che varia tra i 15 e i 50 mm. Queste dimensioni standard, variano a seconda del produttore, tanto quanto le dimensioni dei pannelli che solitamente si aggirano tra i 1000-2500 mm di larghezza e i 1220-3100 mm di lunghezza. Queste dimensioni sono dettate dai macchinari di lavora-

zione ed è per questo motivo che ogni produttore, in relazione agli usi e al mercato di riferimento avrà degli standard dimensionali differenti dagli altri.

## 2.6.2 Le classi di utilizzo

Per definire l'idoneità di un pannello ad essere impiegato in un certo tipo di ambiente bisogna prendere in considerazione le condizioni di umidità e rischio di attacco di agenti biologici degradanti. La UNI EN 335 "Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno - Classi di utilizzo: definizioni, applicazione al legno massiccio e prodotti a base di legno" definisce classi di utilizzo in relazione alle condizioni ambientali e in particolare all'umidità dell'ambiente:

**Classe 1.** Ambiente interno, coperto, asciutto con umidità <20% con una protezione del legno preventiva contro l'attacco di insetti xilofagi;

**Classe 2.** Ambiente interno al coperto, occasionalmente bagnato con umidità >20% con protezioni preventive contro funghi e insetti xilofagi;

**Classe 3.** Ambiente esterno, sopra il terreno, protetto o meno, con umidità >20%, con protezione del legno resistente all'attacco climatico, idoneo per uso esterno, e all'attacco di funghi e insetti xilofagi;

**Classe 4.** Ambiente esterno, a contatto con il terreno e/o l'acqua dolce, in ambiente bagnato, con protezioni contro funghi, insetti xilofagi e adatto per l'utilizzo a contatto diretto con il terreno e/o l'acqua dolce;

### Note:

9. lbs.it, **Classi di qualità**, <http://www.ibl.it/it/aspetti-tecnici/classi-di-qualita/>;

10. 2003, Roberto ZANUTTINI, **I moderni pannelli a base di legno**;

**Classe 5.** Ambiente bagnato con acqua salata.

In relazione all'ambiente in cui il pannello di compensato dovrà essere posto in opera, verranno studiate diverse composizioni del materiale e soprattutto verranno utilizzate delle colle differenti; la capacità di resistenza di un pannello in un certo tipo di ambiente, infatti, dipende in primo luogo dalla classe di incollaggio (norma UNI EN 314 parti 1 e 2).

### **2.6.3 Le classi di incollaggio**

La norma UNI EN 314 "Pannelli di legno compensato - Qualità dell'incollaggio - Parte 1 e Parte 2", definisce le classi di incollaggio, previo trattamento in funzione della resistenza all'umidità:

- **Classe 1:** incollaggio ureico che soddisfa i requisiti previsti dalla classe 1 per l'uso del pannello in ambiente secco (UNI EN 636-1)

- **Classe 2:** incollaggio melaminico che soddisfa i requisiti previsti dalla classe 2 per l'uso del pannello in ambiente umido (UNI EN 636-2)

- **Classe 3:** incollaggio melaminico che soddisfa i requisiti previsti dalla classe 3 per l'uso del pannello in ambiente esterno (UNI EN 636-3)

I pannelli, inoltre, devono essere classificati in base alle loro emissioni di formaldeide seguendo precise norme (UNI EN 13986, appendice B). In Italia in particolare, è

vietato immettere pannelli, semilavorati e prodotti finiti con emissioni di formaldeide superiori a quelle stabilite per la classe E1. I prodotti devono essere sempre accompagnati da una dichiarazione di conformità del produttore che ne certifica il rispetto della norma e quindi, una concentrazione di equilibrio di formaldeide che essi provocano nell'aria dell'ambiente di prova, minore di 0,1 ppm (0,124 mg/m<sup>3</sup>), limite stabilito dall'Organizzazione Mondiale della Sanità per gli ambienti di vita e soggiorno<sup>[11]</sup>.

La norma Europea 13986 del 2008 definisce due classi di emissione di formaldeide per i prodotti a base legno, E1 ed E2; questo sistema, stabilito inizialmente dalla legislazione nazionale tedesca, è diventato riferimento per l'intera UE. In vari paesi Europei sono vietati la commercializzazione e l'uso di pannelli di classe E2 (Italia tra questi). La classificazione si basa su test pre-impiego effettuati con metodo di riferimento EN 7171-1 (camera) e su test successivi effettuati periodicamente per mantenere sotto controllo la produzione [FEDER-LEGNO e COSMIT, 2008].

I collanti o adesivi formaldeidici, sono uno dei temi di dibattito sull'utilizzo del compensato, infatti è stato appurato il rilascio in ambiente nel momento della messa in opera e soprattutto in presenza di umidità e calore, di formaldeide, classificata come VOC (Volatile Organic Compounds) e ritenuta dannosa per la salute dell'uomo. Tuttavia, i principali produttori di pannelli di compensato, Italiani ed esteri, stanno producendo, con risultati di tenuta e resistenza che riescono a competere con le resine a base fenolica, collanti NAF (No added Formaldehyde)<sup>[12]</sup>.

#### **Note:**

11. Decreto Ministeriale 10 Ottobre 2008, Ministero del lavoro, della salute e delle politiche sociali, pubblicato sulla gazzetta ufficiale della Repubblica Italiana;

## 2.6.4 Gli impieghi strutturali

In Italia, il compensato raramente viene sfruttato come elemento strutturale, sia perché vi sono pannelli più convenienti dal punto di vista economico, quali gli OSB, sia per la ridotta visibilità del prodotto sul mercato.

I compensati per uso strutturale sono definiti nel prospetto A2 della UNI EN 13986:2015 “*Pannelli a base di legno per l'utilizzo nelle costruzioni – Caratteristiche, valutazione di conformità e marcatura*”, norma che definisce le caratteristiche specifiche che deve possedere il materiale e i metodi di prova appropriati per definirle. Per i pannelli di compensato ad uso strutturale si fa riferimento alla norma Europea EN 12369-2 (di giugno 2011) in conformità alla UNI EN 1995-1-1 del 2014.

I valori caratteristici del singolo pannello vengono stabiliti dal produttore attraverso verifiche su provini come da normativa.

Si riporta un esempio delle caratteristiche tecniche per pannelli di compensato di pioppo ottenuti dall'associazione Assopannelli con Federlegno-arredo. Vengono riportati in tabella 1 i valori caratteristici di resistenza a flessione, trazione, compressione e i valori medi dei moduli di elasticità in posizione longitudinale (L) o trasversale (T) alle fibre in tabella 2 [ADELIZZI, 1999, p. 224].

Spessore nominale s	Numero strati [n°]	Valori caratteristici di resistenza					
		Flessione		Trazione		Compressione	
		L [N/mm <sup>2</sup> ]	T [N/mm <sup>2</sup> ]	L [N/mm <sup>2</sup> ]	T [N/mm <sup>2</sup> ]	L [N/mm <sup>2</sup> ]	T [N/mm <sup>2</sup> ]
[mm]							
12	7	20,5	21,3	11,4	11	14,9	16
18	9	18,9	14,6	10,2	7,8	16,2	14,4
24	11	14,7	16,1	8,5	10,9	14,7	18

Tabella 1. Valori caratteristici di resistenza a flessione, trazione, compressione, in posizione longitudinale (L) e trasversale (T) rispetto alle fibre, per pannelli in compensato in relazione allo spessore (s) degli strati e il numero (n) degli stessi;

Spessore nominale  s [mm]	Numero strati  [n°]	Valori caratteristici di resistenza					
		Flessione		Trazione		Compressione	
		L [N/mm <sup>2</sup> ]	T [N/mm <sup>2</sup> ]	L [N/mm <sup>2</sup> ]	T [N/mm <sup>2</sup> ]	L [N/mm <sup>2</sup> ]	T [N/mm <sup>2</sup> ]
12	7	4100	4200	3700	4300	3700	4200
18	9	4400	2800	4100	3400	3700	3300
24	11	3800	3900	3500	4400	3300	4000

Tabella 2. Valori medi dei moduli di elasticità a flessione, trazione e compressione, in posizione longitudinale (L) e trasversale (T) rispetto alle fibre, per pannelli in compensato in relazione allo spessore (s) degli strati e il numero (n) degli stessi;

### 2.6.5 Conducibilità termica

La conducibilità o conduttività termica (indicata con  $\lambda$  o  $k$ ), cioè l'attitudine di un materiale a trasmettere il calore per conduzione, del compensato è pari a circa 0,12 W/mK, in linea con i valori del legno massiccio in condizione asciutta, 0,10-0,18 W/mK.

### 2.6.6 Reazione al fuoco

La caratteristica del legno compensato, di essere composto da sfogliati incollati con fibratura perpendicolare

uno rispetto all'altro, fa sì che anche in caso di incendio questo materiale abbia un'ottima tenuta al fuoco. Il compensato rientra tra i prodotti e/o materiali da costruzione ai quali è attribuita senza dover essere sottoposti a prove, la classe di "reazione al fuoco", in relazione alle caratteristiche tecniche specificate<sup>[13]</sup>.

Si riporta in tabella 3, uno stralcio di tabella "Pannelli a base di legno - Classi di reazione al fuoco" del D.M. 10.03.2005 "Classi di reazione al fuoco per i prodotti da costruzione da impiegarsi nelle opere per le quali è prescritto il requisito della sicurezza in caso d'incendio".

Pannelli a base legno	Riferimento al grado del prodotto nella norma europea (EN)	Densità minima [kg/m <sup>3</sup> ]	Spessore minimo [mm]	Classe (ad eccezione dei pavimenti)	Classe per i pavimenti
Compensato	EN 636	400	9	D-s2, d0	D <sub>FL</sub> -s1
OSB	EN 300	600	9	D-s2, d1	D <sub>FL</sub> -s2
Pannelli di legno massiccio	EN 13353	400	12	D-s2, d2	D <sub>FL</sub> -s3

Tabella 3. Stralcio di tabella "Pannelli a base di legno - Classi di reazione al fuoco" contenuta nel D.M. del 10 Ottobre 2005.

**Note:**

12. 2015, *La tecnologia Panguaneta al servizio di incollaggi rispettosi dell'ambiente*, DPM Studio, <https://www.panguanetaplywood.com/it/caratteristiche-tecniche/compensato-panguaneta/content/caratteristiche-tecniche>

13. D.M. 15.03.2015, tabella "Pannelli a base di legno - Reazione al fuoco";

Le euroclassi date dalla norma EN 13501-1, utilizzate nella classificazione dei materiali dal D.M. 10.03.2005 indicano una classificazione principale in relazione alla reazione al fuoco (tabella 4, in basso) e una accessoria in relazione al comportamento del materiale durante la combustione (tabella 5, a lato).

Classificazione principale		
A1	+++++	Classi dei materiali incombustibili (vetro, fibra di vetro, metalli, porcellana, ecc...)
A2		
B	++++	Materiali combustibili non infiammabili
C	+++	Materiali combustibili non facilmente infiammabili
D	++	
E	+	
F	-	Materiali facilmente infiammabili

Tabella 4. Classificazione principale dei materiali da costruzione definita dalla norma Europea EN 13501-1.

Come indicato in tabella 1. il legno compensato è classificato con la sigla "D-s2, d0" (ex classe 3<sup>[14]</sup>), cioè come "materiale combustibile non facilmente infiammabile" con media produzione di fumo e uno scarso "dripping" durante la combustione per l'utilizzo in parete, e con la sigla "DFL-s1" (ex classe 3<sup>[15]</sup>), "materiale combustibile non facilmente infiammabile" con una bassa produzione di fumo durante la combustione per l'uso nelle pavimentazioni.

Classificazione accessoria			
s	1	++	s= smoke: produzione di fumo durante la combustione
	2	+	
	3	-	
d	0	++	d=dripping: gocciolamento durante la combustione
	1	+	
	2	-	

Tabella 5. Classificazione accessoria dei materiali da costruzione definita dalla norma Europea EN 13501-1.

**Note:**

14. D.M. 15.03.2015, tabella 2;

15. D.M. 15.03.2015, tabella 3;

## 2.7 Il compensato in Italia: il pioppo

L'industria del compensato in Italia, anche se ha vissuto tempi maggiormente prolifici durante il ventesimo secolo, oggi, soprattutto al Nord, grazie alla presenza di colture di pioppeti della Pianura Padana, apprezzati anche all'estero, vede una nuova crescita focalizzata sulla produzione di oggetti d'arredo ma anche indirizzata verso utilizzi sperimentali in campi differenti, quali l'architettura.

Nella produzione di compensato in Italia, è proprio il Pioppo (*Populus*) ad essere la materia prima per eccellenza, possiede infatti importanti caratteristiche che lo rendono adatto a questo tipo di utilizzo. In primis è facilmente sfogliabile, facilmente lavorabile, di colore chiaro, caratterizzato da una buona omogeneità e presenta una venatura poco pronunciata <sup>[16]</sup>.

Esistono tuttavia più di trenta specie differenti di pioppo aventi come caratteristiche comuni il fusto alto dai 15 ai 30 metri e una corteccia che varia di tonalità dal bianco al grigio scuro.

Negli ultimi cinquant'anni, per ottimizzare la produzione e difendere da attacchi batterici e dalle molteplici malattie le colture di pioppo, sono stati introdotti diverse tipologie di "cloni".

### 2.7.1 I cloni di pioppo

I principali cloni di Pioppo impiantati in Italia e utilizzati al fine di produrre sfogliati per la realizzazione di pannelli di legno compensato, sono:

- **Clone *Populus x Euramericana* "I-214"**: il clone maggiormente utilizzato, presenta fusto cilindrico ottimale per la lavorazione di sfogliatura, si adatta facilmente a diversi tipi di terreni, presenta un accrescimento rapido e costante e soprattutto resiste bene agli attacchi di virus (PMV, malattia delle macchie brune), marciumi radicali e defogliazione primaverile <sup>[17]</sup>;
- **Clone *Populus x Euramericana* "Soligo"**: presenta anch'esso un accrescimento rapido, facile adattamento a diversi tipi di terreno (evitando zone molto umide) e produce legname chiaro, abbastanza pesante (0,35 g/cm<sup>3</sup>) <sup>[18]</sup>;
- **Clone *Populus x Canadensis* "AF2"** <sup>[19]</sup>;
- **Clone *Populus x Generosa* "AF8"** <sup>[20]</sup>.

Allo stesso tempo però, bisogna far notare come al 1996 vi erano 27 cloni, al 2006 erano 42, al 2008 erano 55 <sup>[21]</sup> e che gli ultimi dati riportati dal Registro Nazionale dei Materiali di Base (R.N.M.B.) al 2015 contava, nella categoria "controllati", 72 tipi di cloni di pioppo (tabella 6).

#### Note:

16. 2012, WOODLAB, Politecnico di Torino, *Il compensato di pioppo*;

17-18. 2006, Istituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura, *Pioppicoltura. Produzioni di qualità nel rispetto dell'ambiente, Piano di Sviluppo Rurale 2000-2006*, Regione Lombardia;

19-20. [http://www.cascinabosco.com/pagine/ita/l-214\\_pianificazione\\_coltivazione\\_pioppo.lasso](http://www.cascinabosco.com/pagine/ita/l-214_pianificazione_coltivazione_pioppo.lasso);

21. 2009, Giuseppe NERVO, *La filiera del pioppo: indirizzi e prospettive*, CRA-PFL;

<b>N.</b>	<b>Clone</b>	<b>Sesso</b>	<b>Specie</b>	<b>Responsabile della conservazione in purezza / Detentore</b>
1	302 San Giacomo	F	Populus x canadensis	Immobiliare Vittoria - Milano
2	A4A	F	Populus x canadensis	Alasia F., Modolo L. - Savigliano (CN)
3	Adda	F	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
4	Adige	F	Populus x canadensis	Rinaldi - Verona
5	AF2	M	Populus x canadensis	Alasia F. - Savigliano (CN)
6	AF3	M - F	Populus x generosa x Populus nigra	Alasia F. - Savigliano (CN)
7	AF4	F	Populus x canadensis	Alasia F. - Savigliano (CN)
8	AF6	F	Populus x generosa x Populus nigra	Alasia F. - Savigliano (CN)
9	AF7	M	Populus x generosa x Populus canadensis	Alasia F. - Savigliano (CN)
10	AF8	F	Populus x generosa x Populus trichocarpa	Alasia F. - Savigliano (CN)
11	AF9	F	Populus x generosa x Populus nigra	Alasia F. - Savigliano (CN)
12	AF12	F	Populus deltoides x Populus trichocarpa	Alasia F. - Savigliano (CN)
13	Aleramo	M	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
14	Arno	M	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
15	Baldo	M	Populus deltoides x Populus canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
16	Ballottino	F	Populus x canadensis	Di Tella F. - Bologna
17	Bellini	M	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
18	BL Costanzo	F	Populus x canadensis	Costanzo M. - Rosasco (PV)
19	Boccalari	F	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)

20	Branagesi	F	Populus x canadensis	Brambilla, Nasi & GE.S.I. - Milano GE.S.I.
21	Brenta	F	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
22	Cappa Bigliona	F	Populus x canadensis	Cappa G. - Casale Monferrato (AL)
23	Carolina di Santena	F	Populus x canadensis	Pier Matteo e Filiberto Cavaglià, Santena (TO)
24	Carpaccio	F	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
25	Cima	F	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
26	Diva	F	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
27	Dvina	M	P. deltoides	CREA - Casale Monferrato (AL)
28	Eridano	M	P. deltoides x Populus maximoviczii	CREA - Casale Monferrato (AL)
29	Gattoni	F	Populus x canadensis	Gerbella E. - Parma
30	Guardi	F	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
31	Harvard	M	P. deltoides	CREA - Casale Monferrato (AL)
32	I-154	M	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
33	I-214	F	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
34	I-262	M	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
35	I-45/51	M	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
36	I-455	F	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
37	Imola	F	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
38	Jean Pourtet	M	Populus Nigra	CREA - Casale Monferrato (AL)
39	Lambro	M	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
40	Lena	M	Populus deltoides	CREA - Casale Monferrato (AL)
41	Lima	F	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
42	Luisa Avanzo	F	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
43	Lux	F	Populus deltoides	CREA - Casale Monferrato (AL)

44	Marte	M	Populus Alba	Alasia F., Sabatti M, Scarascia Mugnozza G. - Savigliano (CN)
45	Mella	F	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
46	Moleto	M	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
47	Mombello	M	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
48	Moncalvo	M	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
49	Monviso	F	Populus x generosa x Populus nigra	Alasia F. - Savigliano (CN)
50	Neva	F	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
51	NND	F	Populus x canadensis	Maria Vittoria Della Zoppa - Cremona
52	Oglio	M	Populus x deltoides	CREA - Casale Monferrato (AL)
53	Onda	M	Populus x deltoides	CREA - Casale Monferrato (AL)
54	Orion	M	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
55	Pan	F	Populus x canadensis	Ferrari T. - Alagna Lomellina (PV)
56	Panaro	M	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
57	Patrizia Invernizzi	F	Populus x canadensis	Patrizia Invernizzi, Gussola (CR)
58	Pegaso	M	Populus x generosa x Populus nigra	Alasia F. - Savigliano (CN)
59	San Martino	F	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
60	Saturno	M	Populus Alba	Alasia F., Sabatti M, Scarascia Mugnozza G. - Savigliano (CN)
61	Senna	F	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
62	Sesia	F	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
63	Sile	F	Populus deltoides x Populus ciliata	CREA - Casale Monferrato (AL)
64	Sirio	M	Populus deltoides x Populus canadensis	Alasia F. - Savigliano (CN)
65	Soligo	M	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)

66	Stella Ostigliese	F	Populus x canadensis	Casari F. - Ostiglia (MN)
67	Stura	F	Populus x canadensis x Populus x Canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
68	Taro	M	Populus deltoides x Populus canadensis x Populus generosa	CREA - Casale Monferrato (AL)
69	Timavo	M	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
70	Triplo	M	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
71	Tucano	M	Populus x canadensis	CREA - Casale Monferrato (AL)
72	Villafranca	F	Populus Alba	CREA - Casale Monferrato (AL)

Tabella 6. Da D.M. 06.11.2015, Allegato 1. Elenco dei cloni di Pioppo iscritti al Registro Nazionale dei Materiali di Base nella categoria "controllati", ai sensi del D. lgs. N. 386/2003

L'utilizzo di diversi cloni nelle coltivazioni ne permette la salvaguardia in relazione alle epidemie che possono attaccare i pioppeti. La biodiversità è da garantire anche per quanto riguarda le certificazioni FSC e PEFC, che infatti prevedono l'innesto di cloni differenti oltre un limite dimensionale di coltivazione monoclonale.

## 2.8 Sostenibilità e certificazioni

L'utilizzo del legno quale fonte naturale e rinnovabile, dal punto di vista etico e di sostenibilità ambientale, è oggi un traino molto importante verso il suo utilizzo e nell'investimento sulla ricerca che spinge verso nuovi ambiti di impiego e sistemi costruttivi che si basano sul legno e i suoi derivati.

Oltre a fattori etici infatti, vi sono fattori economici e ecologici; prendendo come esempio il pioppo, principale materia prima utilizzata nella produzione del compensato in Italia, e studiando gli effetti positivi che apporta all'ambiente e al luogo nel quale viene impiantato, si trovano il "carbon sink", cioè la capacità del pioppeto di assorbire anidride carbonica, il ridotto impatto rispetto alle colture agrarie, la capacità di regimare le acque in piena e la capacità di ridurre l'erosione del suolo<sup>[22]</sup>.

In termini di anidride carbonica sottratta all'ambiente dai pioppeti, dati ENEA del 2008 parlano di 850 m<sup>3</sup> di CO<sub>2</sub> ogni m<sup>3</sup> di legno generato e si stima che un pioppeto tradizionale con turno di 10 anni possa assorbire da 4,9 a 5,5 tonnellate di C/ha ogni anno. Questi valori rappresentano un importante contributo della pioppicoltura nel contrastare effetto-serra e cambiamento climatico<sup>[23]</sup>.

Altro tema importante dell'utilizzo del legno nel settore delle costruzioni è la certificazione, cioè una dichiarazione di sostenibilità del prodotto e della gestione delle foreste. A livello Internazionale sono disponibili due certificazioni forestali: FSC (Forest Stewardship Council) e PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes).

FSC è un'organizzazione non governativa e no-profit, composta da 900 membri internazionali (proprietari forestali, comunità indigene, industrie di legno e carta, ecc...), con lo scopo di promuovere una gestione responsabile delle foreste. Nel 2002, è nata FSC Italia, organizzazione indipendente in armonia con obiettivi e missione di FSC International, per stimolare la diffusione della certificazione nel nostro paese. Per portare a termine la propria missione ha definito un sistema di certificazione indipendente e volontario, e due tipologie di certificazione complementari, la prima certificante la buona gestione forestale, per i proprietari, e la seconda la catena di custodia (Chain of custody, COC), per le imprese che si occupano della lavorazione del legno. La certificazione della Catena di Custodia, garantisce che il materiale provenga da foreste certificate ed è indispensabile per poter etichettare il prodotto con il logo FSC. È inoltre presente una certificazione apposita per i progetti nel settore dell'edilizia<sup>[24]</sup>.

Oggi la certificazione volontaria è quasi indispensabile e sono i produttori stessi a volere che il proprio prodotto venga certificato, così da accrescerne valore e credibilità.

PEFC, come FSC è un'organizzazione internazionale in-

dipendente, non governativa e no profit, basata sull'intesa tra diversi soggetti interessati all'implementazione di una gestione forestale ecologicamente appropriata, mirata al conseguimento di determinati benefici sociali e, per ultimo ma non meno importante, economicamente valida. Il problema principale di queste ecocertificazioni è quello della definizione degli indicatori di sostenibilità e per fare questo, PEFC si è dotato di Criteri (C), Indicatori (I) e Linee Guida operative (LG), definiti a livello Europeo, messi a punto nelle conferenze Ministeriali di Helsinki (1993) e Lisbona(1998) <sup>[25]</sup>.

A giovare di questa “corsa alla certificazione” è in primis il consumatore, di legno, quanto di carta, che ottiene un prodotto di sostenibilità garantita e provenienza certa. In secondo luogo, data la consapevolezza crescente dei consumatori, sensibilizzati dal punto di vista ecologico e ambientale, e maggiormente propensi ad acquistare prodotti certificati anche se a prezzi più alti, sono le aziende che impiegando materie prime certificate possono contare su di un concreto vantaggio economico <sup>[26]</sup>.

**Note:**

**22.** 2018, Pier Mario CARABAGLIO, *Pioppicoltura e ambiente*, CREA – Centro di ricerca Foreste e Legno – Casale Monferrato (AL);

**23.** 2018, Aliche GHIETTI, Tesi di Laurea, *Soluzioni innovative per migliorare gli impatti ambientali di una poltrona*, Politecnico di Torino;

**24.** 2015, FSC® Italia, *La certificazione delle foreste e del legno secondo il Forest Stewardship Council*, FSC, Padova;

**25.** 2015, Standard PEFC Italia, ITA 1001-1, *Criteri e Indicatori per la certificazione individuale e di gruppo di GFS*;

**26.** 2010, Lisa Vagnozzi, *Certificazioni per la carta: come funziona il PEFC*, <https://www.greenme.it/approfondire/speciali/1757-certificazioni-per-la-carta-come-funziona-il-pefc>;

## 2.9 Il quadro normativo

Le prime norme tecniche italiane riferite alle costruzioni in legno sono rappresentate dal Decreto Ministeriale del 14 Settembre 2005, il quale approva le Norme Tecniche per le Costruzioni, introducendo la regolamentazione delle strutture in legno. Il Decreto Ministeriale del 14 Gennaio 2008 ha poi modificato le NTC 2005, mai realmente entrate in vigore, e ad oggi le Norme Tecniche di riferimento sono le nuove NTC del 2018.

Antecedentemente agli anni 2000, ci si era preoccupati maggiormente delle prestazioni delle strutture in legno in caso di sisma piuttosto che di definire le norme tecniche in funzione a combinazioni di carico non sismiche. Facendo riferimento alla legge 1684 del 25 novembre 1962, prima in questo campo, si ammettevano “costruzioni in legname in linea eccezionale” e solamente previo nulla osta dell’Ufficio del genio civile, per edifici di altezza minore di sette metri con zona libera intorno [PICCARDO,2015, pp. 225-236].

La legiferazione nel campo delle costruzioni in legno in Italia, prima del 2005 è sempre andata pari passo con la normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica. In quegli anni, in attesa di avere delle vere norme tecniche italiane, si faceva riferimento a normative di

altri paesi europei come ad esempio le norme tedesche DIN 1052 (prima edizione del 1933), quelle svizzere (S.I.A. 164), francesi (Regles C.B. 71, Inglese (BSI 5268/1988) e austriache (ONORM: B4100 e B4101). In seguito all’emanazione dell’Eurocodice 5 (2005) per la progettazione di strutture in legno, da parte del CEN (Comitato Europeo di Normazione), che non trovava una corrispondente legge italiana con la quale interfacciarsi, dato che non vi era una normativa inerente alle costruzioni in legno, venne incaricata una commissione del Consiglio Nazionale delle Ricerche con il compito di fornire un contributo tecnico ai progettisti. Nel 2006 vengono quindi emanate le Istruzioni CNR-DT 206/2006 per la Progettazione, Esecuzione e Controllo delle Strutture di Legno come risultato finale della commissione, che getteranno le basi per le NTC08 [FIRRONE, 2010, p.271].

Nel 2014 è stato aggiornato l’Eurocodice 1995-1 parte 1 e nel 2018 sono state emanate in Italia le ultime Norme Tecniche per le Costruzioni.

Per quanto riguarda i pannelli a base di legno, nei quali rientra anche il legno compensato, ovviamente trattati sia nelle NTC18 che nell’Eurocodice, si riporta la principale normativa di riferimento attualmente in vigore:

### **UNI EN 13986:2015**

Pannelli a base di legno per l’utilizzo nelle costruzioni – Caratteristiche, valutazione di conformità e marcatura.

### **UNI EN 599-1:2014**

Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno – Efficacia dei preservanti del legno, utilizzati a scopo pre-

ventivo, determinata mediante prove biologiche – Parte 1: specifiche secondo le classi di utilizzo.

**UNI EN 335:2013**

Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno – Classi di utilizzo: definizioni, applicazione al legno massiccio e prodotti a base di legno.

**UNI EN 12369:2:2011**

Pannelli a base di legno – Valori caratteristici per la progettazione strutturale.

Il compensato, come prodotto derivato, ha a sua volta delle norme specifiche; si riporta la principale normativa di riferimento in vigore:

**UNI EN 636:2015**

Pannelli di legno compensato – Specifiche;

**UNI EN 314-1:2005**

Pannelli di legno compensato – Qualità dell'incollaggio – Parte 1: Metodi di prova;

**UNI EN 313-2:2000**

Pannelli di legno compensato. Classificazione e terminologia. Terminologia;

**UNI EN 635-5:2000**

Pannelli di legno compensato. Classificazione in base all'aspetto delle facce. Metodi per la misurazione e l'espressione delle caratteristiche e dei difetti;

**UNI EN 313-1:1997**

Pannelli di legno compensato. Classificazione e terminologia. Classificazione;

**UNI EN 635-1:1996**

Pannelli di legno compensato. Classificazione in base all'aspetto delle facce. Generalità.

**UNI EN 635-2:1996**

Pannelli di legno compensato. Classificazione in base all'aspetto delle facce. Latifoglie.

**UNI EN 635-3:1996**

Pannelli di legno compensato. Classificazione in base all'aspetto delle facce. Conifere.

**UNI EN 314-2:1994**

Pannelli di compensato. Qualità dell'incollaggio. Requisiti.



## **CAPITOLO 3**

Plywood architecture:  
dall'Ottocento alla Digital Fabrication

## 3.1 Plywood architecture



Per molto tempo e ancora oggi troppo spesso, si è pensato al compensato come un materiale povero, secondario e di scarso pregio.

La tesi partendo da questa premessa vuole dimostrare come l'evoluzione della natura stessa del materiale, l'innovazione dei processi di lavorazione e infine l'evoluzione dei processi che portano alla progettazione delle diverse strutture, fino alla svolta degli anni duemila, portata dalla Digital Fabrication, abbiano favorito lo sviluppo di sistemi costruttivi differenti e affidabili per la realizzazione di areoplani, navi, auto, e infine di strutture sperimentali nel campo dell'housing e nel campo dei padiglioni architettonici. Questa continua evoluzione che ha caratterizzato la storia di questo materiale, è stata quindi trasversale, totale, e ha favorito l'utilizzo

del compensato a diversi scopi; questa sua estrema flessibilità e volubilità è già stata riscontrata nei casi studio visti in precedenza, ma potrà essere apprezzata anche nei casi studio che verranno presentati nel capitolo che segue, riguardanti le architetture sperimentali.

La crescita di questo materiale in campo architettonico è proprio dovuta alla sperimentazione che soprattutto centri di ricerca, start up e università stanno portando avanti negli anni. Questo contributo didattico sarà un'importante chiave di lettura in ambito architettonico. Se infatti, nei campi di impiego precedentemente illustrati, sono state aziende, se non il mercato stesso, a scegliere e richiedere il compensato quale materia "prima", in architettura, i principali passi sono stati svolti da centri di ricerca e università, con obiettivi sperimentali e non, almeno per ora, di mercato.

Con l'obiettivo quindi di definire uno scenario architettonico di partenza, oggetto poi di un'analisi di tipo tecnologica nel capitolo 4, è stata ritenuta fondamentale una prima suddivisione tra modelli costruttivi ed esperienze dirette nella progettazione di abitazioni in compensato, categoria "*Housing*", e la progettazione di padiglioni e architetture sperimentali, categoria "*Pavilions*".

### **3.1.1 Il ventesimo secolo: un nuovo inizio**

L'impiego del *compensato*, o *plywood*, in campo architettonico fu pubblicizzato dagli anni '30 del 1900 in poi, relazionandolo all'idea di prefabbricazione. Le imprese, inizialmente, furono attratte dalla convenienza in termini economici di questo materiale, dalla sua uniformità, dalle sue caratteristiche meccaniche e dalla possibilità di essere prodotto in serie e in dimensioni modulari. Fu visto quindi come un'opportunità per realizzare edifici decomponibili, prefabbricati e/o per esposizioni temporanee, grazie alla sua natura "high-tech", standardizzata, industriale, ma allo stesso tempo naturale, legnosa, familiare.

Dobbiamo subito fare un passo indietro però, il suo impiego principale negli anni '20 del 1900 fu quello di sostituto del legno massiccio per la realizzazione di casseforme per il getto del calcestruzzo. Infatti, grazie alla sua modularità, alle dimensioni raggiungibili da un solo pannello senza la necessità di giunti, rese non solo più veloce il processo di realizzazione delle casseforme, ma le rese anche molto meno costose, visto che non vi era più la necessità di avere falegnami specializzati per la realizzazione dei giunti tra gli assi di legno massiccio.

Dal 1939 vennero prodotti compensati speciali chiamati "Plyform" e alcuni tipi di pannelli di compensato rivestiti in acciaio per la cassetta del calcestruzzo. In seguito, il compensato trovò ampio uso nella realizzazione di porte e rivestimenti interni, grazie alle più ampie dimensioni raggiungibili rispetto al legno e grazie alla standardizzazione del pannello e la sua modularità. Le dimensioni standard dei pannelli a volte venivano prese come riferimento per il dimensionamento di una stanza, proprio come nell'ufficio di Edgar J. Kaufmann, progettato da Frank Lloyd Wright, nel suo grande magazzino a Pittsburgh <sup>[1]</sup>.



Fig. 74: Hall of Science, Paul Cret, 1933;

Se l'utilizzo del compensato nei rivestimenti interni, aveva uno scopo puramente commerciale, sarà nelle esposizioni temporanee degli anni '30 che il compensato inizierà a mostrarsi al pubblico, anche dall'esterno e anche con funzioni strutturali.

Un esempio di questo primo fenomeno fu la *Hall of Science* progettata da Paul Cret per la Chicago Century of Progress World's Fair del 1933, dove pannelli di compensato a 5 strati rivestivano l'intero grattacielo con dimensioni standard di 4x8 piedi (1,22x2,44 m).

La Golden Gate Exposition di San Francisco, del 1939-1940, segnò l'esplosione del compensato, con la realizzazione di 57 edifici costruiti o solamente rivestiti con

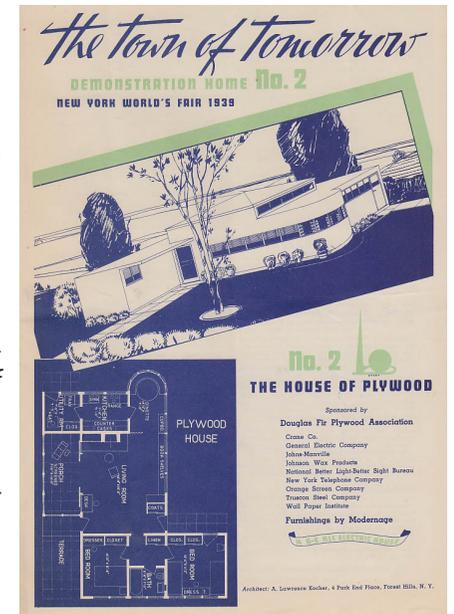


Fig. 75: US Federal Building, Golden Gate Exposition, San Francisco, 1939-1940 (di lato);

Fig. 76: The House of Plywood, Douglas Fir Plywood Association, New York World's fair, 1939 (a destra).

questo materiale, con l'utilizzo di circa 8 milioni di metri quadrati di pannelli. L'edificio di maggior pregio fu il *US Federal Building*, che utilizzava pannelli in compensato da 76 mm di spessore, per un totale di 29 strati. L'edificio aveva un'impronta al suolo di 7 acri, pari a 28328 m<sup>2</sup>, e si diceva fosse stato costruito a 6,90\$ a piede quadrato (cioè ogni 0,1 m<sup>2</sup>), il che fa pensare ad una sua costruzione con soli 2 milioni di dollari, un decimo del prezzo di qualsiasi edificio precedentemente realizzato per delle esposizioni federali di questo genere.

Nel 1939 però vi fu un'altra fiera di spicco nel panorama americano, la *New York World's fair*, dove la Douglas Fir Plywood Association (DFPA) promosse "The house of Plywood" nel progetto di ripensamento della città del domani ("The Town of Tomorrow"). La *Plywood House*, progettata da Lawrence Kocher (1885-1969) presentava ovviamente tutti i



prodotti Douglas, tra cui l'*Exterior DFPA*, un compensato impermeabile per esterni, utilizzato in parete e in copertura, supportato da una guaina di rinforzo *Plyscord*; per le pareti interne venne utilizzato il Douglas Fir Plywood Wallboard, mentre la base in calcestruzzo, venne gettata all'interno di casserature in compensato "*Plyform*".



Fig. 77: Finland Pavilion, Alvar e Aino Aalto, New York World's fair, 1939.

Il sistema strutturale però, non era basato sul pannello in compensato, ma su di un telaio in legno al quale venivano accoppiati i prodotti Douglas.

Nella stessa fiera il compensato venne utilizzato da Alvar e Aino Aalto per il padiglione finlandese, realizzando all'interno di un anonimo padiglione rettangolare, una parete ondulata a tre livelli in successione vertica-

le, lunga 40 metri e alta 16 m, ancorata ad una sottostruttura metallica.

L'impiego più significativo però, si ritrova nella realizzazione di abitazioni prefabbricate; i primi segnali di questo processo arrivarono nel 1890 dalla *Grand Rapids Portable House Company*, che iniziò la produzione di piccole strutture basate sul pannello di compensato a tre strati. Le strutture prefabbricate in compensato arrivarono anche in Europa e si diffusero nei campi di ricerca danesi, nei laboratori inglesi in Egitto e nelle strutture di pronto intervento americane in Francia. Nel 1919 si utilizzavano doppie pareti in compensato con isolamento in sughero e le strutture erano pensate come un kit di montaggio assemblabili con pochi strumenti.

Nel 1921 a Dresda, la *Deutsche Werkstätten*, in risposta alla domanda di abitazioni a basso costo, passò dalla produzione di mobili e arredi alla commercializzazione di *Plattenhäuser* (case a pannelli) prefabbricate. La ditta aveva sviluppato diversi modelli, tra cui uno progettato da Bruno Paul<sup>[2]</sup>.

Il grande pregio conferito al compensato in questo periodo era quello della sua duplicità, un materiale industriale, ad alta tecnologia, e allo stesso tempo una versione migliorata di un materiale da costruzione tradizionale, quale il legno.

**Note:**

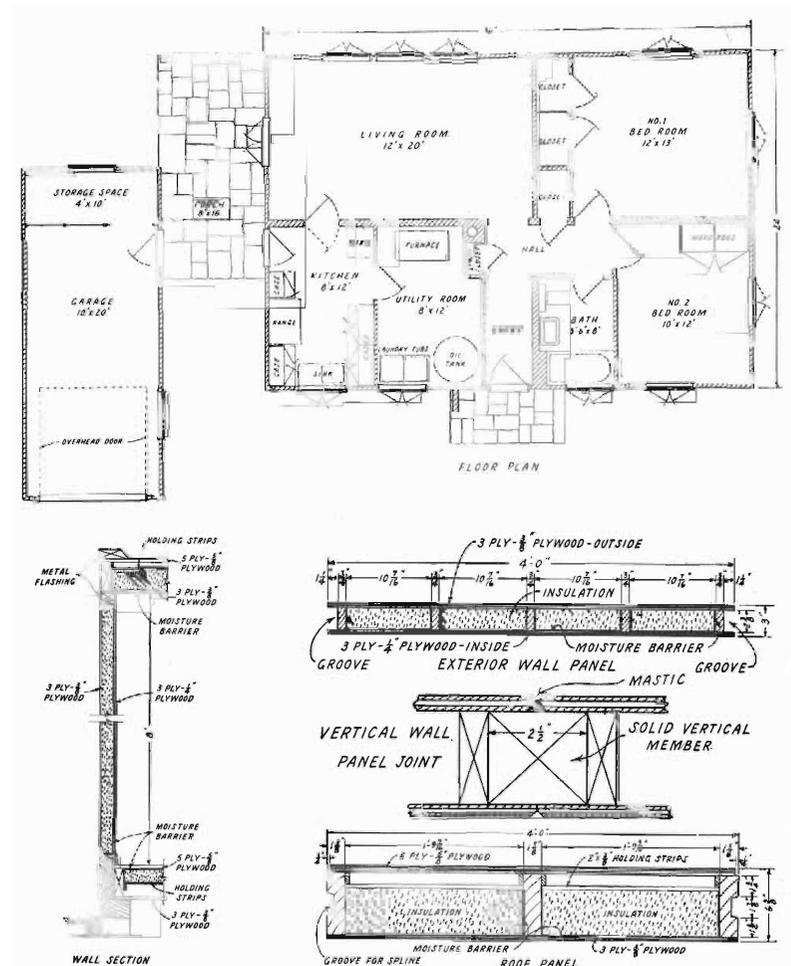
1-2. Christopher WILK, Elizabeth BISLEY, **Plywood: a material story**, pp. 105-108, United Kingdom, Thames and Hudson, 2017;

Negli Stati Uniti, allo stesso tempo, dopo la “*Great Depression*” degli anni '30 del 1900, quando gli stipendi erano a livelli ridottissimi e la disoccupazione aveva toccato livelli mai raggiunti prima, vi fu la necessità di poter comprare o affittare alloggi a basso costo. È proprio in questo scenario che si sviluppa la prefabbricazione delle costruzioni in legno e si attivano le ricerche della FPL (Forest Products Laboratory) [3].

Le ricerche portano la FPL a sviluppare, nel 1935, un modulo abitativo a basso costo definito “*all-wood*”, interamente prefabbricato e che prevedeva il montaggio dell’abitazione sul posto con il lavoro di 7 uomini in 21 ore. L’abitazione era vincolata dalle dimensioni e dalla standardizzazione dei pannelli in compensato che formavano le pareti, per questo, misurava 6,4x8,84 m ed era composta da un soggiorno, due camere, una cucina, un bagno, un ripostiglio e un tetto piano che poteva essere utilizzato come solarium.

La ricerca, gli esperimenti, l’esperienza, portarono la FPL a produrre prima moduli a due piani e poi anche con tetto a falde. Questo nuovo sistema costruttivo si basava sulla collaborazione dei pannelli di compensato a tre strati ad assolvere la funzione strutturale insieme ai montanti e traversi in legno massiccio inseriti nelle pareti. I pannelli non erano però più inchiodati al suddetto telaio ma bensì, incollati tra loro.

Nel pacchetto di parete, copertura e solaio vi erano inclusi, isolamento sfuso e barriera al vapore.



**Note:**

3. R. F. Luxford, *Prefabricated House System Developed by the Forest Products Laboratory*, FPL, Forest Service U.S. Department of Agriculture, 1958 (<https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplr/fplr1165.pdf>)

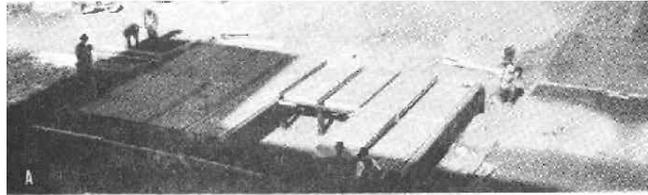


Fig. 78: planimetria del modulo abitativo FPL denominato "all-wood", 1935 (in alto a sinistra, pagina precedente);

Fig. 79: dettagli costruttivi del modulo abitativo FPL denominato "all-wood", 1935 (in basso a sinistra, pagina precedente);

Fig. 80: realizzazione del modulo abitativo FPL denominato "all-wood", 1935 (a destra).

Oltre a questi primi sviluppi, vi furono altre sperimentazioni, come le *Gunnison Magic Homes* e le diverse realizzazioni di Richard Neutra, che, dopo un attento studio del materiale, realizzò diverse abitazioni prefabbricate a basso costo e progettò l'ufficio della *Evans Plywood Company* in Oregon. Le abitazioni realizzate da Neutra però avevano aspetti innovativi e differenti dalle realizzazioni precedenti, presentavano uno spazio ricreativo interno collegato ad un patio esterno, la maggior parte erano sviluppate su due piani, erano mobili, smontabili e pensate come luogo di vacanza che potesse spostarsi, variare nel tempo, oppure vendibili ad un proprietario che le volesse trasferire in un sito che riteneva essere migliore.

*"In the future, the typical American family may rent the ground, instead of the house (...) and on moving day a truck picks up the home along with the furniture".*

[Popular Mechanics, 1942]

Sulla base delle realizzazioni di Neutra, lo stato americano iniziò a finanziare la realizzazione di case prefabbricate smontabili e trasportabili per i grandi cantieri, quali quelli delle grandi infrastrutture. Una delle aziende più in voga in quel momento era la *Tennessee Valley Authority* (TVA).

Nel 1941, **William Wurster** costruì un intero villaggio per un cantiere navale a Vallejo (California), formato da 690 abitazioni in compensato e altre 992 con una tipologia di pannelli isolanti. Le abitazioni in compensato sfruttavano a pieno le capacità portanti del materiale, senza la necessità di avere un telaio portante interno. Le abitazioni, disposte lungo il pendio, erano realizzate su fondazioni rialzate, che ne facilitavano lo smontaggio; una volta avvenuto il posizionamento e il montaggio, venivano installati gli impianti idraulici e elettrotermici.

Le ricerche e gli sviluppi sulle costruzioni in compensato, in questo periodo proseguivano più che mai, soprattutto grazie ad un materiale che sembrava fatto apposta per la prefabbricazione.

Bertrand Goldberg, architetto di Chicago, fondò, insieme ad altri tre colleghi, la *Standard House Corporation*, allo scopo di produrre abitazioni basate sull'utilizzo del

compensato quale materiale da costruzione. Nel 1937 pubblicarono addirittura un libro che riportava diverse tipologie di abitazioni prefabbricate ad un costo che partiva da 4000\$ e arrivava a 7000\$.

**Lewis Mumford**, sin dal 1930, analizzò i diversi fattori che avrebbero, in un normale mercato, portato all'insuccesso di questa industrializzazione e prefabbricazione edilizia <sup>[4]</sup>; il principale era, la relativa riduzione dei costi, questo perché la prefabbricazione era applicata a struttura e involucro, due voci che non andavano ad influire in modo pesante sul costo di realizzazione; i fattori infatti che andavano ad influire pesantemente sulle realizzazioni erano oneri finanziari e fondiari, oltre che alla mano d'opera specializzata. Secondariamente, denotava come l'industrializzazione, anche delle abitazioni, fosse nata con gli Stati Uniti, e come la realizzazione attraverso strutture Baloon Frame o Platform Frame fosse radicata nella società americana, che già in precedenza vedeva case unifamiliari ad un piano nascere in una settimana di lavoro grazie ad un carpentiere e ad un suo aiutante.

**Note:**

4. Luca Caneparo, *Fabbricazione digitale dell'architettura: il divenire della cultura tecnologica del progettare e del costruire*, pp. 96-99, Angeli, Milano, 2012;

### **3.1.2 Progetti di architettura sperimentale:** **HOUSING**

Dal dopoguerra ad oggi, il salto tecnologico fu importante, soprattutto con l'utilizzo dei primi computer e in seguito grazie alle macchine/router a controllo numerico, che permisero una semplificazione delle operazioni manuali, associata ad una maggiore precisione delle operazioni, ottenibili ad un costo di manodopera addirittura minore. Il fenomeno inoltre fu ed è oggi più che mai, globale; questo, grazie alla rete internet, che permette la condivisione in tempo reale di un qualsiasi file in qualsiasi parte del mondo. In questo percorso quindi, verrà illustrato, attraverso dei casi studio e la redazione di una timeline, il cambiamento apportato dalle nuove tecnologie all'impiego e alla lavorazione del compensato.

Parlando in particolare di "housing", il concetto nato dagli anni 2000 in avanti è un concetto di "share", di condivisione quindi, di circolazione di informazioni, di modelli costruttivi e di idee in modo da fornire a chiunque la possibilità di utilizzare un "mezzo", per raggiungere il proprio "fine".

Se infatti le prime esperienze nel mondo del compensato legato all'architettura sono soprattutto legate alla prefabbricazione, alla possibilità di costruire in fabbrica per poi depositare nel sito l'abitazione assemblata,

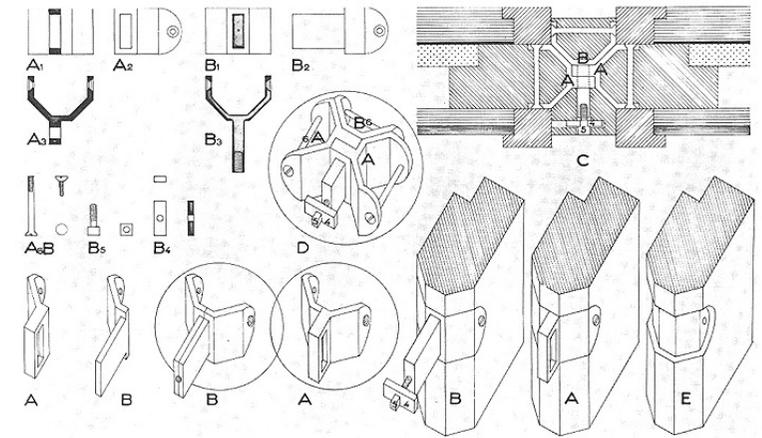
e ad un telaio strutturale al quale venivano accoppiati i pannelli in compensato e un materiale isolante; oggi l'utilizzo di computer per la progettazione e la modellazione virtuale e le macchine a controllo numerico per la produzione dei componenti, hanno dato modo ad architetti, studenti, ricercatori e designer di dare forma a progetti impossibili o molto complicati da realizzare, precedentemente all'era della digitalizzazione.

### 3.1.2.1 The Packaged House System

Il “*Packaged House System*” è un sistema costruttivo realizzato con pannelli strutturali in legno (di dimensioni standard 1,00x3,00 m), rivestiti esternamente e isolati termicamente, ideato da Walter Gropius e Konrad Wachsmann, due architetti di origine tedesca, prodotti industrialmente con uno sfrido dello 0,06% di materiale, per l’assemblaggio di case unifamiliari in 8 ore con il lavoro di soli cinque operai specializzati.

L’idea a monte di questo sistema, proviene dalla necessità di realizzare delle abitazioni temporanee, per le truppe in tempo di guerra, e per i lavoratori che si spostavano verso i centri di produzione per lavorare nelle fabbriche nel dopoguerra. Sarà proprio in tempo di guerra che inizierà una collaborazione intensiva mai vista in precedenza tra industria e architettura per la realizzazione di edifici prefabbricati o in parte prefabbricati e successivamente completati nel sito di progetto.

Wachsmann (1901-1980), arrivato negli USA nel 1941, dopo l’attacco a Pearl Harbor, il 7 Dicembre di quello stesso anno, intuì che gli studi che aveva fatto in Europa e il suo lavoro di falegname, uniti alla sua esperienza tedesca nella realizzazione di case prefabbricate in



legno (Mobilar Hangar e Packaged House), presso l’azienda Christoph & Unmack, gli avrebbero potuto dare grandi opportunità.

Gropius (1883-1969), dopo lo scetticismo iniziale, si interessò al progetto e i due svilupparono un sistema costruttivo pensato per essere universale.

I moduli prefabbricati erano realizzati con pannelli portanti, uniti con giunti sviluppati ad hoc, a due, tre o quattro vie. I pannelli erano ideati per poter essere combinabili liberamente al fine di produrre edifici su griglia modulare tridimensionale. La connessione tra 2, 3 o 4 pannelli, aventi i bordi tagliati a 45° avveniva tramite connettori metallici ad Y.

Fig. 77: connessioni sviluppate da Wachsmann e Gropius per la realizzazione della Packaged House (a sinistra, pagina precedente);

Fig. 78: elemento di giunzione formato da piastre metalliche interbloccanti bidimensionali sviluppato da Wachsmann e Gropius per la realizzazione della Packaged House (a destra).

#### Note:

#### 5. Fonti principali:

Diego De Nardi, **Fuller e Wachsmann. Architettura della seconda età della macchina**, 2018 (<https://www.prefarch.it/fuller-e-wachsmann-architettura-della-seconda-eta-della-macchina/>)

Alicia Imperiale, **An American wartime dream: the Packaged House System of Konrad Wachsmann and Walter Gropius**, Temple University, ACSA Fall Conference, 2012;

Luca Caneparo, **Fabbricazione digitale dell'architettura: il divenire della cultura tecnologica del progettare e del costruire**, pp. 109-122, Angeli, Milano, 2012;

Gilbert Herbert, **The Dream of the Factory-Made House**, MIT Press, 1984;

Nel video al link: <https://www.youtube.com/watch?v=CdFFmjsLmxY>, viene esplicitato il funzionamento della connessione studiata per il Packaged House System da Wachsmann e Gropius;



Nel 1942, insieme al deposito del primo brevetto da parte di Wachsmann e Gropius, nel settembre dello stesso anno fondarono la General Panel Corporation al fine di iniziare la produzione della “Packaged House”; allo stesso tempo, la National Housing Agency stanziò 153 milioni di dollari per la realizzazione di 42000 abitazioni per gli sfollati di guerra. Il primo prototipo venne presentato a Sommerville (Massachusetts), aveva pianta rettangolare, tetto a falde e un patio interno, non era concepito come un'unità modulare ripetibile e componibile con altre della stessa forma e dimensione, ma era ideato per essere personalizzabile e adattabile, sia al sito che alle esigenze e alle preferenze di progettista e utente finale. La “Packaged House” si presentava come un sistema aperto in mano a progettisti e utenti sotto il punto di vista di adattabilità al sito e alle preferenze dell'utente, ma un sistema chiuso intrinsecamente, in quanto non compatibile con le misure standard di finestre e porte in commercio. Il pregio e l'unicità del sistema non fu quindi, come in altri sistemi prefabbricati, la realizzazione di un modulo-stanza ripetibile e assemblabile con altri moduli, ma lo studio di una connessione tra elementi standardiz-

zati universale che potesse generare infinite possibili composizioni architettoniche e strutturali. Wachsmann continuò a perfezionare il connettore tra le diverse parti e nel 1945 richiese un nuovo brevetto.

Il nuovo elemento di giunzione formato da piastre metalliche interbloccanti bidimensionali premontate sui pannelli, puntava a semplificare le operazioni di assemblaggio e ad eliminare il copri-connettore, realizzando un giunto che rimanesse nascosto tra i pannelli. Le “Packaged Houses” non entrarono però mai in produzione e nemmeno in commercio, minate alla base dalla ricerca dell'universalità e la perfezione del sistema; Wachsmann e Gropius infatti svilupparono diversi prototipi ma, l'indecisione tecnica prima, le tempistiche e gli elevati costi poi, fecero sì che la “Packaged House” rimanesse solo un sogno <sup>[5]</sup>.

Wachsmann proseguirà i suoi studi e nel periodo di insegnamento all'Università della California a Los Angeles (1964), svilupperà un robot da lui definito “*manipolatore*”, capace di movimentare e assemblare elementi nello spazio. Il suo obiettivo era il progresso dei macchinari utilizzati nelle linee di produzione industriali e delle gru utilizzate in cantiere. In quegli stessi anni infatti, nascevano le prime sperimentazioni di robotica di George Devol e Joseph Engelberger, concluse con la realizzazione dell'*Unimate*, il primo robot.

### 3.1.2.2 Unishelter Houses (Patent 2751635)

*“When modern industry needs housing-in-a-hurry  
for workers in far off production sites  
Unishelter is the answer!”*

(-Unishelter Advertisement, 1950)

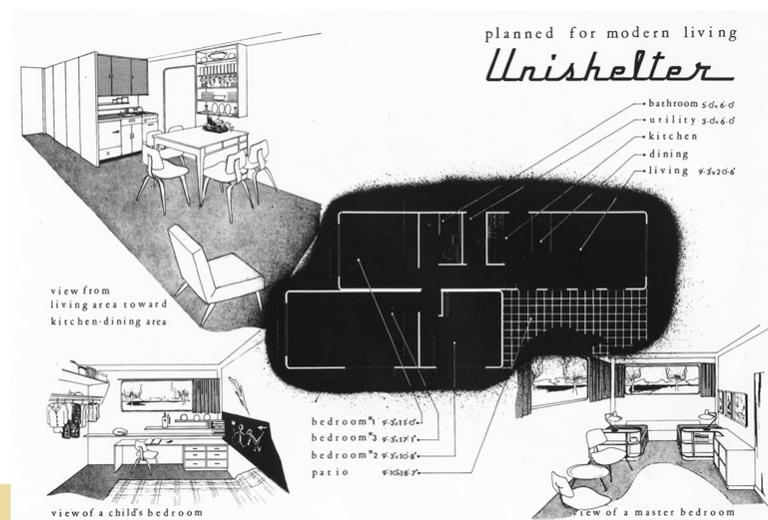


Fig. 79: planimetria e viste interne della Unishelter house, Bertrand Goldberg, 1952 (sopra);

**Note:**

6. <http://bertrandgoldberg.org/projects/unishelter/>;

7. <http://bertrandgoldberg.org/projects/snyder-house-2/>;

Come descritte dallo slogan pubblicitario riportato sopra, queste abitazioni erano moduli pensati per essere prefabbricati in azienda e poi trasportati anche in luoghi lontani, comodamente, grazie alle loro dimensioni e alla loro leggerezza. Non solo, l'idea di Bertrand Goldberg era molto più ampia, se ogni unità di un edificio più complesso poteva essere prefabbricata, allora il processo di costruzione non era più da definirsi tale ma da definirsi con il termine di "assemblaggio". Vedeva ogni unità spaziale autonoma, come un mattone da assemblare insieme ad altri.

Le Shelter Houses erano composte da due unità, la prima formata dalla zona notte e la seconda da una zona giorno, un bagno e una camera da letto. Queste unità spaziali potevano però essere assemblate in modi diversi per creare abitazioni di dimensioni più ampie, o addirittura, come riportato dallo stesso Goldberg, per realizzare scuole, ospedali o edifici commerciali. Questo progetto tuttavia non ebbe grande successo né un ritorno economico di grande portata [6].

### 3.1.2.3 Snyder House

La “*Snyder House*”, progettata da Bertrand Goldberg per John Snyder, amministratore della *Pressed Steel Car Company*, sull'isola Shelter, nel 1952, si basava sul concetto di una struttura monoscocca, precedentemente utilizzato per la realizzazione delle ***Unicel Cars*** e delle ***Unishelter Houses***, riadattato per la realizzazione di questa abitazione “*dimostrativa*”.

Le unità prefabbricate, complete di bagno, cucina, impianto idraulico e di riscaldamento/raffreddamento (HVAC), venivano fabbricate a Chicago per poi essere trasportate su rotaie e via mare, sulla Shelter Island dove venivano assemblate. Gli elementi prefabbricati erano realizzati con legno di mogano multistrato. Obiettivo di Goldberg, nella realizzazione di questa abitazione fu quello di mostrare al pubblico le possibilità del compensato, le sue caratteristiche, valorizzandolo come materiale da costruzione e infine mostrandolo al pubblico che sbarcava sulla sua spiaggia privata realizzata appositamente per le visite organizzate <sup>[7]</sup>.



Fig. 80: Snyder House, Bertrand Goldberg, 1952.

### 3.1.2.4 Self-Strutted Geodesic Plydome (Patent 2905113 <sup>[8]</sup>)

Richard Buckminster Fuller, inventore, architetto e designer statunitense, dal 1954 in avanti lavorò alla realizzazione di una nuova forma di architettura basata su di una struttura icosaedro-sferica. Il suo obiettivo era quello di ideare un nuovo modo per realizzare un'abitazione, tant'è che depositò i diversi brevetti che realizzò. La struttura in pannelli rettangolari di compensato assemblati tramite sovrapposizione e un qualsiasi tipo di fissaggio reciproco (viti, chiodi, colla, ecc...), era strutturalmente solida, grazie alla sua forma e alla giustapposizione dei pannelli che la componevano, in modo da realizzare una griglia strutturale a tre vie formata da triangoli equilateri, proprio come quella dell'icosaedro.

La forza e la resistenza della struttura sta proprio nel suo insieme, nel suo essere sinergica, l'elemento singolo da solo non sarebbe nulla, il tutto invece genera una sfera autoportante perfetta che nasce dai principi di meccanica e resistenza dei materiali. Per la sua struttura utilizzò il compensato marino, ma non esclude la possibilità di utilizzare altri materiali, quali alluminio, plastica, acciaio o altri materiali compositi <sup>[9]</sup>.

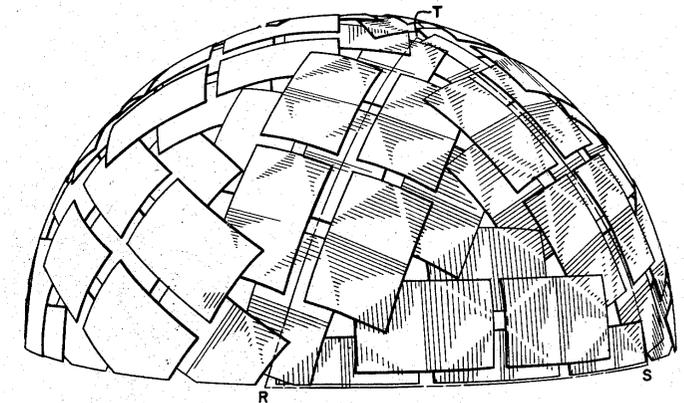


FIG. 1

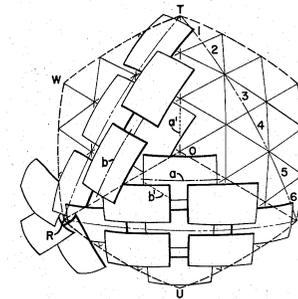


FIG. 2

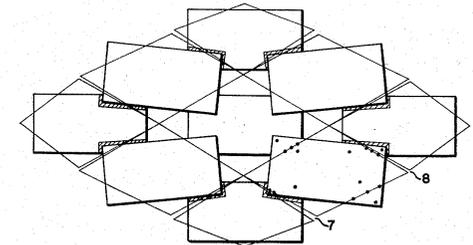


FIG. 3

**Note:**

8. R.B. Fuller, *Self-Strutted Geodesic Plydome*, Patent no. 2905113, 1959;

9. Bruce Haumann, *Frameless Geodesic Dome*, 2013 (<https://rigsometlight.com/2013/09/09/frameless-geodesic-dome.html>);

Fig. 81: Self-Strutted Geodesic Plydome, Richard Buckminster Fuller;

### 3.1.2.5 Furniture House 1

La Furniture House, progettata nel 1995 dall'architetto Giapponese Shigeru Ban, presenta un sistema costruttivo particolarmente interessante, infatti, il progetto unisce struttura, distribuzione e arredo, in ridotte unità modulari che soddisfano tutte e tre le esigenze. Queste unità, di altezza standard pari a 2,40 m, di larghezza 0,90 m e profondità che varia, da 0,45 m per le librerie, fino a 0,69 m per le altre funzioni, hanno un peso unitario massimo di 79 kg, caratteristica particolarmente interessante visto che ne permette la movimentazione anche solo da parte di una o due persone. L'architetto ha quindi realizzato un nuovo sistema costruttivo, fondato sull'arredo e sulla distribuzione spaziale, queste unità infatti, autoportanti e con una loro funzione intrinseca di guardaroba, libreria, o qualsiasi altra funzione utile all'utente, permettono una libera gestione dello spazio interno, completamente svincolata dalla struttura. L'abitazione, comprensiva di ingresso, una camera da letto, una camera per gli ospiti, un bagno e un open space formato da cucina e soggiorno, occupa un totale di 116 m<sup>2</sup>; è composta da 33 unità prefabbricate autoportanti e raggiunge un'altezza complessiva di 4 m comprese pavimentazione e copertura piana <sup>[10]</sup>. Dall'esterno si apprezzano solamente, il legno, la trasparenza delle grandi aperture e l'orizzontalità data dalla copertura. Le 33 unità sono realizzate in compensato di spessore 12 mm, componendo una struttura resistente e unita ad incastro sia al pavimento che

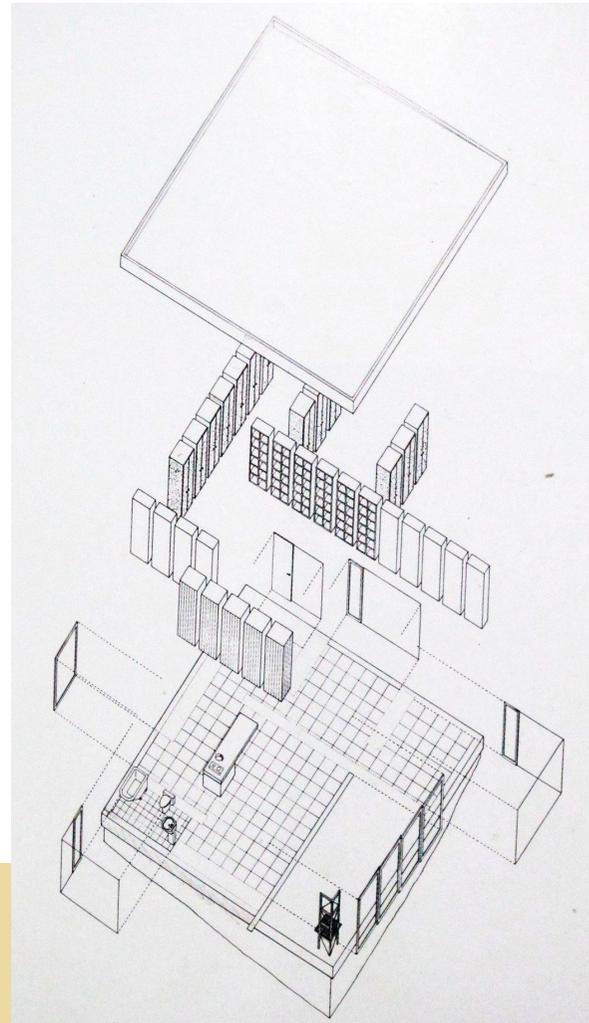


Fig. 82: esploso assonometrico della Furniture House 1, Shigeru Ban, 1995 (a destra).

**Note:**

10. [http://www.shigerubanarchitects.com/works/1995\\_furniture-house-1/index.html](http://www.shigerubanarchitects.com/works/1995_furniture-house-1/index.html);

**Note:**

11. <https://hubpages.com/education/Furniture-House-1-by-Shigeru-Ban>;

12. Russell Wicke, **Airmen at Bagram Move From Tents to Huts**, American Forces Information Service, News Articles, October 2003 (<https://www.globalsecurity.org/military/library/news/2003/10/mil-031023-afps03.htm>);

13. [https://www.fbo.gov/?s=opportunity&mode=form&tab=core&id=39ff7d420e79004dc6b223daabba5213&\\_cview=1](https://www.fbo.gov/?s=opportunity&mode=form&tab=core&id=39ff7d420e79004dc6b223daabba5213&_cview=1);

alla copertura. La struttura risultante, testata per le sollecitazioni provocate dai terremoti, principale problema per le architetture giapponesi, crea un tutt'uno tra struttura e arredamento, annullando la pericolosità data dalla caduta di mobili durante le scosse.

La Furniture House del 1995, sarà la prima di una serie di Furniture House, che saranno una sua evoluzione in termini di design, di caratteristiche oltre che in termini di dimensioni, infatti la Furniture House 5 sarà composta da ben 144 unità <sup>[11]</sup>.

### 3.1.2.6 B-Hut

B-Hut, abbreviazione di "*Barracks Hut*", è un termine utilizzato dai soldati statunitensi, dall'invasione dell'Afghanistan in avanti, per indicare le abitazioni temporanee nelle quali risiedevano. Rappresentano un esempio di prefabbricazione a basso costo utilizzando il compensato, applicata all'utilizzo militare.

Le B-Hut in compensato erano molto più comuni in Afghanistan piuttosto che in Iraq, a causa della mancanza di infrastrutture, dei materiali da costruzione e di edifici permanenti. Avevano una capienza massima di otto persone, e ciascuna di loro possedeva la propria "stan-

za", separata dalle altre. Queste abitazioni, presentavano tre o quattro punti luce a soffitto, e una piccola unità di condizionamento d'aria, senza condotti, sopra ogni porta. Ogni stanza inoltre era dotata di una finestra per la ventilazione naturale e una presa elettrica. Le B-Hut richiedevano manutenzione e verniciatura costanti, ma sono state costruite sapendo che la loro vita non sarebbe durata più di tre o quattro anni <sup>[12]</sup>.

Queste strutture hanno sostituito le tende, dando ai militari un alloggio più confortevole, in primis maggiormente protetto dal vento, isolato, con una struttura rigida e una, anche se ridotta, privacy e possibilità di personalizzazione della propria stanza.

Dal 2011 è iniziata la progettazione di B-Hut in calcestruzzo che andranno a loro volta a sostituire le abitazioni in compensato <sup>[13]</sup>.



Fig. 83: Barracks Hut in legno compensato, Afghanistan, 2003 (a destra).

### 3.1.2.7 The Instant Cabin

Realizzata dal professor Lawrence Sass presso il Massachusetts Institute of Technology, era una struttura nata da cento fogli di compensato di dimensioni standard (1,22x2,44 m) dai quali sono stati ottenuti circa 1000 elementi tagliati con macchina CNC <sup>[14]</sup>.

Il processo di realizzazione si distinse in 4 fasi:

1. **Progettazione**: modello tridimensionale e indice dei componenti;
2. **Composizione degli elementi**: relativa posizione nello spazio, dimensioni;
3. **Progettazione in ambiente 3D e classificazione** dei singoli elementi;
4. **Assemblaggio** della struttura attraverso l'utilizzo di un solo martello di gomma, da parte di un operatore.



Fig.: 84: Instant Cabin, Lawrence Sass, 2005.

### 3.1.2.8 Burst\*008

*Burst* è un sistema prefabbricato per la realizzazione di abitazioni rispettose dell'ambiente, facili da montare e altamente personalizzate e personalizzabili, con l'utilizzo, in fase di fabbricazione, di moderne tecnologie digitali. Il sistema funziona come un kit di componenti per l'assemblaggio di abitazioni per realizzare spazi personalizzati.

La *Burst\*008*, presentata al MoMA di New York, nel 2005 <sup>[15]</sup>, è interamente realizzata in compensato, vetro e acciaio, e si sviluppa su due livelli; un primo livello, naturale, in continuità con l'ambiente circostante e un livello sopraelevato che rappresenta l'abitazione vera e propria. La struttura si basa su pannelli di compensato intrecciati a creare delle nervature, sui quali vengono posati dei pannelli isolanti strutturali (SIP). Queste tipologie di elementi, particolarmente leggeri e di dimensioni ridotte, sono facilmente trasportabili dal luogo di taglio al sito di realizzazione, e altrettanto facili da movimentare in cantiere.

L'abitazione è stata realizzata in dieci settimane, quattro delle quali per la progettazione e il taglio dei componenti off-site, e sei per la realizzazione on-site.

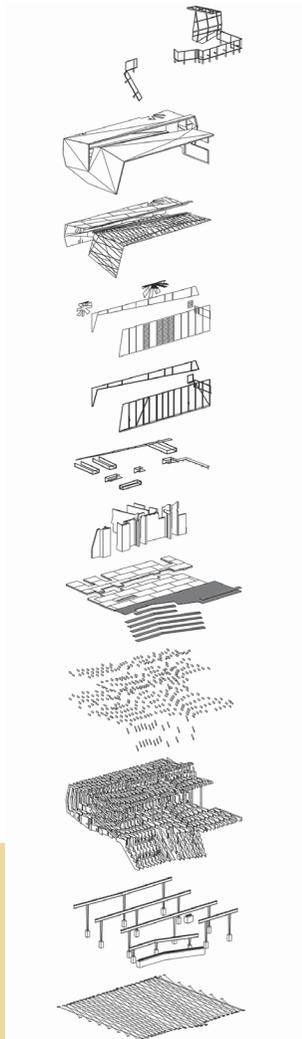


Fig. 85: struttura in compensato, Burst \*008, MoMA, New York, 2005 (a sinistra);

Fig. 86: esploso assometrico componenti in compensato, Burst \*008, MoMA, New York, 2005 (a destra);

Fig. 87: immagine complessiva, Burst \*008, MoMA, New York, 2005 (in alto).

### 3.1.2.9 Facit Homes

Fondata nel 2007, l'azienda, con sede in Gran Bretagna, si è imposta per la sua innovazione nella realizzazione di abitazioni in legno compensato. Il processo studiato e sviluppato durante gli anni, si basa sulla produzione in loco, attraverso un impianto di produzione mobile formato principalmente da un router CNC, dei componenti strutturali dell'abitazione, che poi vengono assemblati ad incastro<sup>[16]</sup>.

Il sistema costruttivo si basa su fondazioni puntuali in acciaio, che vengono affondate nel terreno e sopra le quali viene realizzata una struttura reticolare in travi di legno sulla quale viene posata l'abitazione. Una volta realizzate le fondazioni, entra in funzione il router CNC che, basandosi su un file CAD altamente dettagliato, che prevede addirittura i fori delle prese elettriche, produce elementi in compensato numerati e classificati per la realizzazione della struttura (D-PROCESS).

La struttura si basa su elementi scatolari che possono essere facilmente trasportati e manovrati manualmente per il loro assemblaggio a secco. Una volta completata la struttura scatolare, viene insufflato al suo interno dell'isolante sfuso e in seguito ne vengono chiusi i fori di entrata con tappi di compensato. Queste scatole, formanti pavimenti, pareti e copertura, hanno già dei vani predisposti al passaggio degli impianti.

Operazione finale è quella delle finiture interne ed esterne, che vengono realizzate secondo procedure standard.

Si possono elencare alcuni vantaggi significativi in questa modalità di realizzazione e tecnica costruttiva<sup>[17]</sup>:

- L'intero processo, dalla progettazione alla realizzazione, viene seguito da un'unica impresa;
- La progettazione 3D dettagliata permette di controllare costi e prestabilire accuratamente passaggi degli impianti, posizione dei componenti aggiuntivi, punti deboli, ponti termici, punti in quali potrebbero sorgere problemi, ecc...;
- Velocità di realizzazione;
- Produzione di componenti in loco, con la possibilità di alcune piccole modifiche direttamente in fase di taglio;
- Scarti di materiale minimi;
- Riduzione o addirittura eliminazione di attrezzature di sollevamento meccanico e manodopera specializzata per la costruzione.

**Note:**

16. [facit-homes.com](http://facit-homes.com);

17. <https://www.the-self-build-guide.co.uk/facit-homes/>;

## Villa Asserbo

### Note:

#### 18. Fonti principali:

Kimberly, **Villa Asserbo by Eentileen and Facit Homes**, Gessato, Architecture, 2012 (<https://www.gessato.com/villa-asserbo-by-eentileen-and-facit-homes/>);

Villa Asserbo, **Casa Stampata con fogli di Legno**, gruppomade, 2013 (<https://gruppomade.com/portfolio/villa-asserbo-casa-stampata-con-fogli-di-legno/>);

Denny Hudson, **Entileen demonstrates how to print a home with villa asserbo**, Designboom, 2013 (<https://www.designboom.com/architecture/entileen-demonstrates-how-to-print-a-home/>);

Shane Hickey, **Digital fabrication does away with housebuilding headaches**, The Guardian, 2015 (<https://www.theguardian.com/business/2015/aug/23/digital-fabrication-housebuilding-headaches-facit-homes>);

La prima "casa stampata" di Copenhagen, Greenbuilding, 2012 (<http://www.rinnovabili.it/greenbuilding/la-prima-casa-stampata-di-copenaghen5023/>);

Fig. 88: prospetto principale della Jim and Mary House, Facit Homes (prima a destra);

Fig. 89: Villa Asserbo, 1:1 Entileen and Facit Homes, 2012 (seconda a destra);

Un esempio, riportato anche sul sito dell'azienda, è la Jim & Mary House, abitazione di 220 m<sup>2</sup>, costata circa 2200 €/m<sup>2</sup>, incluse opere di fondazione, struttura, infissi e porte, impianto di ventilazione, riscaldamento a pavimento, impianto idraulico e elettrico, isolamento, bagno e cucina, finiture e decorazioni, per un totale di 559000 €, comprendendo il 15,5% di tassazione.



Villa Asserbo è un'abitazione, situata a 60 km circa da Copenhagen, realizzata nel 2012 dallo studio 1:1 Eentileen in collaborazione con Facit Homes senza l'ausilio di elementi in plastica o cemento e riducendo al minimo indispensabile gli elementi in acciaio. Compensato e isolamento organico riciclabile al 100% sono infatti alla base di questa Eco-house.

Villa Asserbo fa parte del progetto "Print a House" dello studio 1:1 Entileen<sup>[18]</sup>, il quale ha come obiettivo quello di ottenere un'abitazione riproducibile, a impatto zero durante l'intero ciclo di vita, con la possibilità di smontare la struttura e riutilizzarla o riciclarla. L'edificio in questo caso è stato realizzato con legno finlandese certificato e le componenti della struttura sono state tagliate attraverso l'utilizzo di un router CNC.



### 3.1.2.10 Digitally Fabricated House

La Digitally Fabricated House, disegnata e realizzata dal professor Lawrence Sass del Massachusetts Institute of Technology, commissionatagli dal MoMA di New York, ebbe lo scopo di dimostrare il grande potenziale della fabbricazione digitale di abitazioni in legno <sup>[19]</sup>.

L'intera struttura era realizzata da 6564 pezzi di compensato tagliati con una macchina a controllo numerico (CNC), incastrati tra loro a secco senza la necessità di chiodi o viti di giunzione. L'intero edificio è stato completato da 4 persone in 23 giorni, utilizzando martelli di gomma e morsetti per mantenere in posizione la struttura, al di sopra di un basamento in cemento.

Il sistema venne definito "*Planar Construction*" perché formato da elementi piani uniti ad incastro come un puzzle. Questo sistema permette il trasporto e la consegna tramite autocarri, senza la necessità di un trasporto eccezionale, di moduli prefabbricati anche di grandi dimensioni, infatti i pannelli piani vengono imballati semplicemente sovrapposti riducendo lo spazio occupato. In fase di costruzione inoltre non vi è la necessità di avere macchinari pesanti e manodopera specializzata, riducendo sensibilmente i costi.

#### Note:

19. Shane Hickey, *Digital fabrication does away with housebuilding headaches*, The Guardian, 2015 (<https://www.theguardian.com/business/2015/aug/23/digital-fabrication-housebuilding-headaches-facit-homes>);

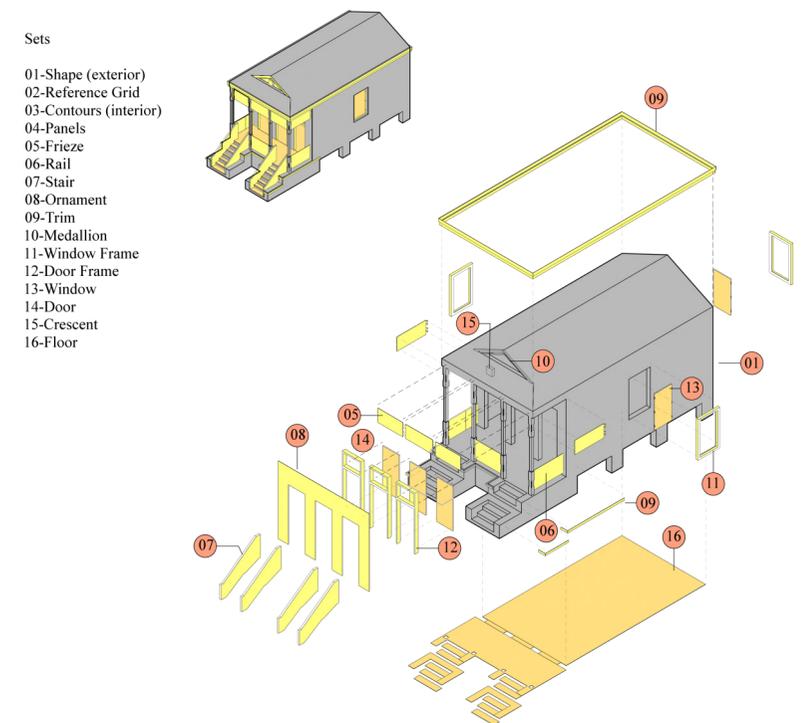


Fig. 90: Digitally Fabricated House, Schema costruttivo, Lawrence Sass, MoMA, New York.

### 3.1.2.11 Frameless Geodesic Dome

Questa abitazione, a forma di cupola, come si evince dal nome, è una piccola abitazione di 5,5 m di diametro per 4 m di altezza nel punto centrale, ideata per rispondere all'esigenza di rendere più semplici le operazioni di fabbricazione e realizzazione delle abitazioni. Come dice il nome, la struttura è priva di telaio e si basa essenzialmente su pannelli sandwich plastica-polistirene-plastica, uniti tramite bulloni. L'obiettivo era quello di realizzare una struttura leggera, montabile e smontabile, realizzata con pannelli leggeri facilmente assemblabili e trasportabili, per un costo totale che inizialmente si aggirava intorno ai 2100 \$ <sup>[20]</sup>.

Porta con sé inoltre un ragionamento importante in questo contesto, infatti, si riporta come, le tipologie di alloggi convenzionali stiano entrando in crisi, e questa crisi sia dovuta alla spesa eccessiva, in termini di energia e denaro per costruirli e mantenerli. Inoltre, il comfort e la qualità non aumentano proporzionalmente al costo, e anzi, le spese aggiuntive si traducono in una vita di lavoro al fine della realizzazione della propria abitazione, per il proprietario.

L'insieme di questi fattori rende giustizia al cambio generazionale degli stili abitativi, soprattutto in Italia, dove in passato la casa di proprietà era la base di crescita della famiglia, radicata per intere generazioni a questo bene, e dove oggi, il più delle volte, a causa della

crisi finanziaria e i redditi sempre più bassi delle famiglie, vengono intraprese strade differenti e si ricerca un'alternativa valida. L'alternativa, presentata da Bruce Hauman, risponde alle esigenze e ai bisogni di una persona, fornendo gli stessi servizi che potrebbe dare un monolocale in centro, ma ad un costo meno gravoso per l'acquirente.

In questo caso non è stato il materiale a richiamare l'attenzione ma il concetto sul quale il progettista si è basato, un modo radicale di stravolgere il concetto di abitare, senza ridurre e anzi forse innalzando gli standard di vita abituali delle persone, ad un costo più accessibile.



Fig. 91: Immagine interna del Frameless Geodesic Dome realizzato in pannelli sandwich plastica-polistirene-plastica.

#### Note:

20. Bruce Haumann, **Frameless Geodesic Dome**, 2013 (<https://rigsomelight.com/2013/09/09/frameless-geodesic-dome.html>);

### 3.1.2.12 Fab Lab House

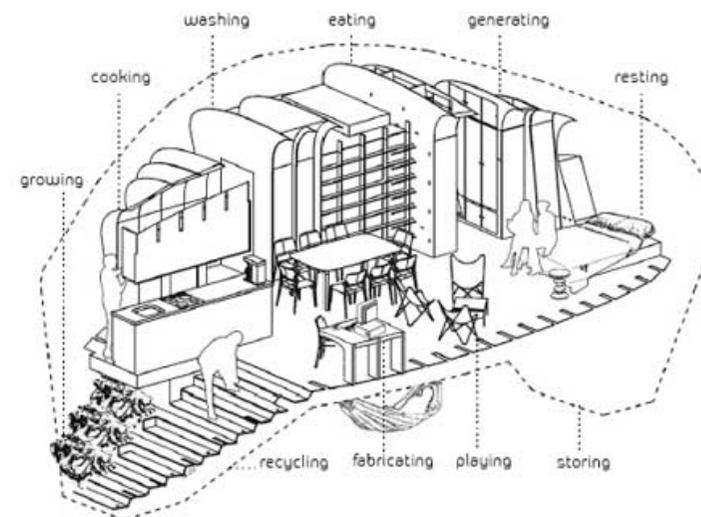
Fig 92: schema distributivo degli spazi interni della Fab Lab House, Solar Decathlon Contest, 2010 (in alto a destra);

Fig. 93: Fab Lab House, Solar Decathlon Contest, 2010 (in basso a destra).

La Fab Lab House, nata per il Solar Decathlon Europe Contest del 2010 e realizzata dall'Institute for Advanced Architecture of Catalonia (IAAC), è un prototipo di casa passiva in legno basata su una produzione altamente industrializzata <sup>[21]</sup>. Legno e industrializzazione sono due parole che tradizionalmente si potevano pensare come contrapposte, oggi invece, grazie alle moderne tecnologie per il taglio di materiali attraverso una programmazione computerizzata, i due vocaboli vengono spesso accostati.

Questa abitazione, in particolare, è stata prodotta con pannelli in compensato, di dimensioni standard 1,22x2,44 m, dai quali sono stati ottenuti i componenti per la struttura, tagliati attraverso una macchina a controllo numerico (CNC).

Una volta ottenuti i componenti strutturali, sono stati assemblati ad incastro, proprio come un puzzle. La forma paraboloidale è stata studiata per l'ottimizzazione dell'energia solare e per ridurre i consumi energetici. Altra caratteristica interessante è l'innalzamento e il distacco dal terreno, attraverso la realizzazione di tre "gambe", che hanno il compito di sollevarla letteralmente dal terreno e creare uno spazio sottostante, all'ombra e all'aria aperta.



#### Note:

21. Roberta Dragone, *Presentata a Madrid la FAB LAB HOUSE*, 2010 ([https://www.archiportale.com/news/2010/07/architettura/presentata-a-madrid-la-fab-lab-house\\_19656\\_3.html](https://www.archiportale.com/news/2010/07/architettura/presentata-a-madrid-la-fab-lab-house_19656_3.html));

[www.fablabhouse.com](http://www.fablabhouse.com);

### 3.1.2.13 WillBeHouse

WillBeHouse è nato intorno al 2010, a Mosca, in Russia con lo scopo di realizzare abitazioni con tecnologia costruttiva “BLACK”<sup>[22]</sup> basata su telai scatolari in compensato o pannelli OSB<sup>[23]</sup>.

Fornisce diverse soluzioni per abitazioni personalizzabili dall’acquirente in relazione alle preferenze e alla spesa che vuole sostenere. L’idea è nata dalla volontà di avere una sola impresa in cantiere che potesse realizzare l’intero edificio. Altri obiettivi ricercati dall’azienda sono tempi di realizzazione ristretti e la possibilità di gestire le operazioni in cantiere attraverso manodopera non qualificata, sfruttando le qualità delle costruzioni a secco. I tempi di spedizione dei moduli, già completi di isolamento, impiantistica, finiture, finestre e porte si aggirano intorno alle 2-3 settimane.

Il sistema costruttivo “BLACK”, sviluppato dal 2010 in avanti, mira al superamento dei sistemi tradizionali di realizzazione delle abitazioni in legno, ovviando ai numerosi problemi ad essi connessi. La ragione principale dello studio di questa nuova tecnologia è stata la necessità di costruire in modo rapido case di alta qualità, efficienti dal punto di vista energetico.

Il fattore scatenante nell’introduzione di questa nuova metodologia costruttiva fu la possibilità di attivare una

produzione industriale di massa delle parti costitutive della struttura utilizzando macchine utensili CNC automatizzate.

Per l’assemblaggio degli elementi numerati e catalogati, vengono fornite delle istruzioni di montaggio, proprio come per un mobile IKEA® o un giocattolo LEGO®.

Gli elementi arrivano a pesare al massimo 28 kg, facilitandone lo spostamento e la movimentazione senza la necessità di ricorrere a mezzi pesanti in cantiere. Per l’isolamento della struttura vengono utilizzati pannelli Rockwool in lana minerale.



Fig. 94: conformazione tipo di un’abitazione Willbehouse.

#### Note:

22. willbehouse.ru;

23. Ai link che seguono possono essere visualizzati alcuni video di modellazione 3D:

[https://vk.com/willbehouse?z=video455623484\\_456239018%2Fvideo-24022571%2Fpl\\_-24022571\\_-2;](https://vk.com/willbehouse?z=video455623484_456239018%2Fvideo-24022571%2Fpl_-24022571_-2;)

<https://www.youtube.com/watch?v=E4dd3CttFUk;>

<https://www.youtube.com/channel/UC6cg8BZgZs1e1KhK4cMGamw;>

### 3.1.2.14 WikiHouse

WikiHouse è un sistema costruttivo Open Source che utilizza la produzione digitale per consentire a chiunque di scaricare e “stampare” abitazioni personalizzate, a basso costo e ad alte prestazioni. La piattaforma online, creata dallo studio di progettazione Architecture 00, fondato nel 2005 a Londra, fornisce diversi file utili per la realizzazione di abitazioni in compensato, tra i quali vi sono file di taglio in formato .dwg, modelli tridimensionali in formato .skp, informazioni utili per l’assemblaggio, quali la strumentazione da utilizzare e la sequenza costruttiva da seguire per l’assemblaggio. Oltre a questo materiale si possono trovare le realizzazioni e i prototipi sviluppati da alcuni maker, tramite siti collegati a WikiHouse dove vi è la possibilità di scambiarsi opinioni, progetti, file e pensieri.

Il sistema costruttivo, definito “WREN”, basato su pannelli di compensato strutturali, viene utilizzato per la realizzazione di una “Micro House”, definita così l’abitazione ad un posto letto della quale sono disponibili online dettagli costruttivi e manuale costruttivo.

Ad oggi, è in corso lo studio e la realizzazione di un nuovo sistema costruttivo chiamato “BlackBird”, infatti, sulla piattaforma online non è ancora disponibile alcun file, questo perché il sistema, prima di essere rilasciato, deve essere testato.

Le realizzazioni, che comprendono prototipi e abitazioni, sono state diverse e in diversi paesi, le principali delle quali sono:

- \_ WikiHouse 4.0, Londra (2014)
- \_ A-Barn, in Scozia (08.09.2014)
- \_ WikiTeaHouse, in Francia (2014)
- \_ Wikistand, in Olanda (2014)
- \_ Alpine Micro House, in Austria (2015)
- \_ Fountain Bridge Community Pavilion, a Edinburgo (2015)
- \_ WikiTower e Pugo, in Olanda (2015)
- \_ CasaRevista, a Rio de Janeiro (2015)
- \_ Due Farmhouse, in Inghilterra (2017)
- \_ Tiny House, in Olanda (2017)
- \_ Huaxia Star Library, in Cina (2018)
- \_ HereEast Studios, a Londra (2018)

Fig. 95: A-Barn, portali strutturali in compensato, Scozia, 2014 (in basso a sinistra);

Fig. 96: Fountain Bridge Community Pavilion, Edinburgo, 2015 (in basso a destra).



Tutti questi progetti, di sviluppo e ampliamento di una rete di share basata sul concetto Wikihouse prendono forma grazie ad organizzazioni locali Wikihouse che si sono create nei diversi stati del mondo, dal Brasile, alla Scozia, fino al Belgio, all'India e agli USA.

Ad oggi non vi è una rappresentanza Wikihouse italiana.

Il concetto Wikihouse, basato sulla condivisione online di un sistema per l'autocostruzione di abitazioni a basso costo, e sulla condivisione delle realizzazioni già effettuate da altri utenti, è la manifestazione fisica del trattato scritto da Parvin Alastair nel 2012, su come l'autocostruzione possa porre fine alla crisi immobiliare nel Regno Unito e non solo, dove la domanda di abitazioni è superiore all'offerta [24].

Wikihouse propone una soluzione ad una crisi dettata dalle grandi imprese che, costruiscono e rilasciano case sul mercato ad una velocità attraverso la quale i prezzi di acquisto rimangono elevati e a loro convenienti, così da avere sempre un certo guadagno; infatti, anche se avessero a disposizione la terra sulla quale costruire al fine di soddisfare la domanda, non costruirebbero, perché per loro non sarebbe conveniente, i prezzi di acquisto infatti a quel punto calerebbero e così anche i loro guadagni. Wikihouse si inserisce in questo mercato come una soluzione alternativa per chi vuole

un'abitazione, dando la possibilità a chiunque di costruirla, in qualsiasi momento, ad un costo ridotto.

Il motto "*share globally, build locally*" [25] inerente a Wikihouse e al suo sistema costruttivo, si pone l'obiettivo di risolvere problemi locali con un sistema costruttivo globale, a cui tutti possono accedere, possono migliorarlo e farlo loro, per risolvere problemi quali la crisi abitativa in Inghilterra o il recupero post disastro, in caso di calamità naturali.

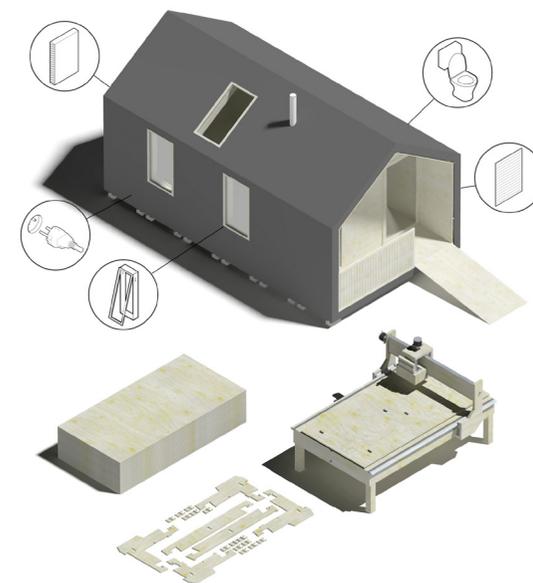


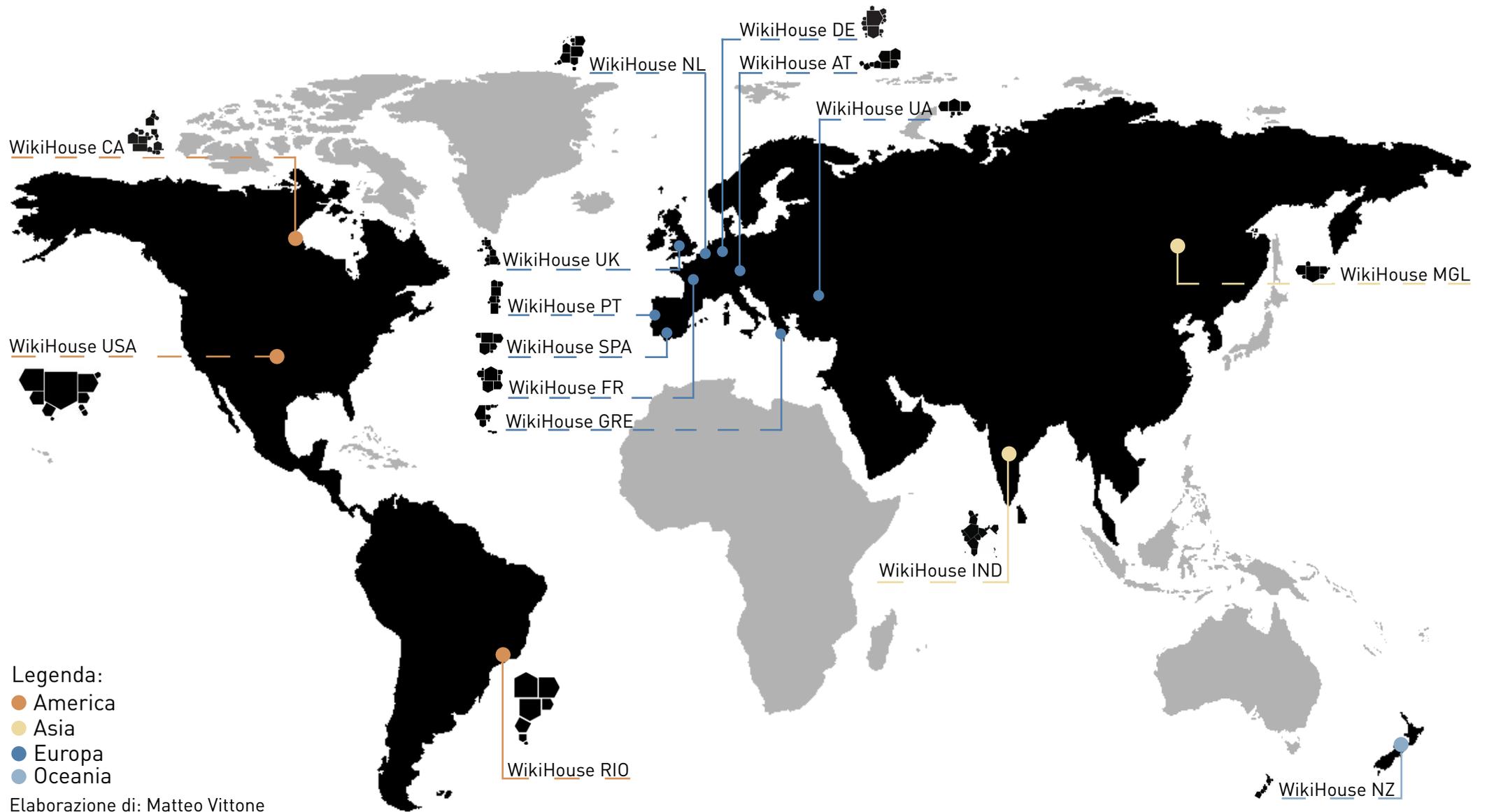
Fig. 97: schema realizzativo di una abitazione tipo Wikihouse (a destra);

**Note:**

24. Janelle Zara, **Free: Download a Construction Kit to Build Your Own "WikiHouse"**, 2019 ([https://architizer.com/blog/practice/materials/wikihouse-the-open-source-diy-home/?fbclid=IwAR3ER-cX-KhfI4tSXLYgI3K\\_EdC8ACwtbagAB\\_sWty4NdKtzMq-kWjwqhmOk](https://architizer.com/blog/practice/materials/wikihouse-the-open-source-diy-home/?fbclid=IwAR3ER-cX-KhfI4tSXLYgI3K_EdC8ACwtbagAB_sWty4NdKtzMq-kWjwqhmOk));

25. Jeremy Kingsley, **WikiHouse's DIY kits are the open-source way to build a house**, 2012 (<https://www.wired.co.uk/article/the-home-you-download>);

## Inquadramento architetture sperimentali WikiHouse nel Mondo



### 3.1.2.15 Veneer Houses

Il progetto *Veneer House* ha avuto inizio in risposta al terremoto nel Giappone orientale (*Tohoku*) del 2011, quando, in seguito a questa catastrofe, la popolazione si trovò senza risorse per ripartire e ricominciare.

Hiroto Kobayashi, architetto e designer giapponese, insieme ai suoi allievi della Keio University, sviluppò un sistema costruttivo semplice e veloce da realizzare, per l'installazione di queste abitazioni in zone colpite da catastrofi naturali, quali terremoti o tsunami <sup>[26]</sup>.

Entrando nel dettaglio di queste Veneer House, si può dire che, dopo un attento studio del materiale, Kobayashi e il suo team, progettaronò delle abitazioni in compensato, che una volta pretagliati i componenti in fabbrica tramite router CNC o seghe manuali, venivano poi assemblati in loco da una qualsiasi persona, senza la necessità di manodopera qualificata.

Il sistema costruttivo è in continua evoluzione, la ricerca e la sperimentazione continuano, i progetti avanzano e dal 2011 ad oggi sono nate diverse tipologie di Veneer Houses <sup>[27]</sup>, tutte basate su alcuni principi fondamentali:

- **Semplicità e accessibilità:** la realizzazione non necessita infatti di manodopera qualificata, chiunque può costruire queste abitazioni, non solo, chiunque, ovunque

si trovi, tramite un router CNC può tagliare i componenti in compensato di queste abitazioni, garantendo così una decentralizzazione della produzione e un'accessibilità a 360°;

- **Condivisione** del sistema costruttivo attraverso seminari, incontri, workshop;

- Redazione di un **manuale costruttivo**, semplice, comprensibile anche da chi non possiede familiarità con i dettagli costruttivi architettonici;

- **Adattabilità** del sistema al luogo, alla cultura e ai materiali che sono presenti, apportando modifiche alle abitazioni così da renderle il più contestualizzate e famigliari possibili, favorendone così l'accettazione e la possibilità di manutenzione da parte delle popolazioni locali;

- **Disassemblaggio dell'abitazione:** garantendo così un prodotto con un ciclo vita più lungo di una costruzione temporanea, un'abitazione che utilizzata una volta potrà essere riutilizzata più volte in futuro.

Durante gli anni, sono stati sviluppati due sistemi produttivi differenti per quanto riguarda il taglio dei pannelli; uno che potremmo definire "base", eseguito con

seghe manuali, e uno “avanzato” realizzato con Router CNC, completamente computerizzato. Il primo utilizzabile negli scenari dove non vi è la corrente elettrica, in situazioni di grande emergenza; il secondo in luoghi maggiormente organizzati, con la disponibilità di mezzi ad alta tecnologia.

L’assemblaggio nel primo caso avviene tramite l’utilizzo di viti e chiodi e attraverso la sovrapposizione dei pannelli, oltre che all’utilizzo di alcuni listelli per le giunzioni; nel secondo caso invece, avviene per semplice incastro e chiusure attraverso alcuni cunei ispirati alle costruzioni in legno della tradizione giapponese.

**Note:**

26. [www.kmdw.com](http://www.kmdw.com);

27. 2017, Kobayashi H., *The Veneer House Experience: The Role of Architects in Recovering Community After Disaster*. In: Yan W., Galloway W. (eds) *Rethinking Resilience, Adaptation and Transformation in a Time of Change*. Springer, Cham;

### 3.1.2.15 Veneer Houses

Le *Veneer Houses* realizzate:

2012: 1. **Minamisanriku VH** a Miyagi (Giappone, fig. 98);

2013: 2. **Maeamihama VH** a Miyagi (Giappone, fig. 99);  
3. **Manawhari Learning Center** a Pathein (Myanmar, fig. 100);

2014: 4. **Cogon Day School** a Balilihan Bohol (Filippine, fig. 101);

2015: 5. **Charikot VH** a Dolakha (Nepal, fig. 102);

2016: 6. **Shichigahama Beach House** a Miyagi (Giappone, fig. 103);  
7. **Vis Veneer Tea House** a Vis Island (Croazia, fig. 104);

2017: 8. **VH Kumamoto** a Kumamoto (Giappone, fig. 105);  
9. **Enoshima no-nail Beach House** a Kanagawa (Giappone, fig. 106);  
10. **Slovenia Community Pavilion** a Slovenj Gradec (Slovenia, fig. 107);  
11. **Kumamoto Omoken Park** a Kumamoto (Giappone, fig. 108);

2018: 12. **Denenchofu Elementary school children's playhouse** a Tokio (Giappone, fig. 109);  
13. **Takenaka Tokyo Office Booth** a Tokio (Giappone, fig. 110);  
14. **Kawauchi wine tasting Pavilion** a Fukushima (Giappone, fig. 111);  
15. **Domo-Kun House** a Tokio (Giappone, fig. 112).

Fig. 98



Fig. 103



Fig. 108



Fig. 99



Fig. 100



Fig. 101



Fig. 102



Fig. 104



Fig. 105



Fig. 106



Fig. 107



Fig. 109



Fig. 110



Fig. 111



Fig. 112



### 3.1.2.16 Sim[Ply]

Fig. 113: Render of Sim(Ply) Tiny Village;

Il sistema costruttivo Sim[PLY], testato e utilizzato da ricercatori della Clemson University, sfrutta materiali “low tech” associati a tecnologie di produzione “High tech” basate sulla prefabbricazione di componenti strutturali in compensato attraverso router CNC. L’assemblaggio dei diversi componenti avviene tramite fascette fermacavo in acciaio applicate manualmente, senza quindi la necessità di utensili elettrici.

Il sistema costruttivo è stato pensato per permettere a personale non specializzato di costruire un modulo abitativo in maniera semplice e veloce. Oltre all’assemblaggio è stato studiato un metodo di smontaggio della struttura non distruttivo per il recupero, il riuso e il ri-assemblaggio della struttura in un altro contesto.

Il compensato è stato scelto perché definito quale materiale che meglio si adattava alla prefabbricazione, grazie alla possibilità e semplicità di taglio con Router CNC e alla economica spedizione dei componenti al sito di montaggio. Inoltre, la struttura permette la predisposizione, in fase progettuale, di vani impiantistici per il passaggio di cavi elettrici e tubazioni.



La prima realizzazione composta utilizzando il sistema Sim[PLY] è stata la **Indigo Pine House**, presentata alla Solar Decathlon Competition del 2015 <sup>[28]</sup>.

L’abitazione, progettata per 4 persone, è composta da 3 camere, per una superficie complessiva di circa 93 m<sup>2</sup>. Una delle caratteristiche più interessanti sono gli arredi, quali armadi e pensili, integrati nella struttura in compensato, che donano spaziosità e flessibilità, all’ambiente grazie alla possibilità di spostamento interno. L’intera struttura è composta da 1500 pezzi ottenuti da fogli di compensato di dimensioni standard 1,22x2,44 m così da renderli maneggevoli e assemblabili; proprio come un puzzle essi si incastrano senza la necessità di viti o chiodi, ma solamente attraverso delle fascette in acciaio inossidabile inserite con uno

#### Note:

28. Selin Ashaboglu, **2015 Solar Decathlon: Indigo Pine**, Clemson University, Architect Magazine, 2015 (<https://www.architectmagazine.com/project-gallery/2015-solar-decathlon-indigo-pine>);

29. UBJ, **Clemson’s Indigo Pine house features new structural design**, 2015 (<https://upstatebusinessjournal.com/clemsons-indigo-pine-house-features-new-structural-design/>);

30. Lucy Wang, **This tiny “e-mailable” solar house snaps together like a 3D puzzle without a single nail**, Inhabitat, 2015 (<https://inhabitat.com/this-tiny-e-mailable-solar-house-snaps-together-like-a-3d-puzzle-without-a-single-nail/>);

strumento manuale all'interno di intagli apposti realizzati in fase di taglio CNC <sup>[29]</sup>. Il montaggio richiede solamente pochi utensili manuali rendendolo più sicuro e più semplice di una costruzione tradizionale; le fasi di costruzione vengono illustrate attraverso un manuale di montaggio, proprio come succede in un manuale IKEA®. Di certo, uno degli aspetti più importanti di questa tipologia di costruzione, è la sua autocostruttibilità, che permette al proprietario di casa di partecipare al processo di montaggio, evitando spese di manodopera o comunque riducendole in diversi passaggi. Se infatti oggi, la complessità delle fasi di realizzazione di un'abitazione tradizionale e la legislazione sul lavoro in can-

tiere, non permettono, il più delle volte al proprietario di casa di partecipare al processo di montaggio, evitando spese di manodopera o comunque riducendole in diversi passaggi, queste nuove tecnologie gli permetterebbero di entrare nel processo, risparmiare e partecipare attivamente alla costruzione della propria casa.

Oltre alla Indigo Pine House, stanno prendendo forma delle abitazioni di dimensioni che si aggirano intorno ai 10 m<sup>2</sup>, chiamate "Tiny House" appunto, ecosostenibili, per una sola persona, lavoratore o studente, realizzate con sistema strutturale Sim[PLY] <sup>[30]</sup>.

Al loro interno trovano spazio un letto, una scrivania-tavolo da pranzo e sedie, alcuni scaffali, un forno, un piano cottura, un lavello, un frigorifero e un bagno con doccia e servizi igienici. Altro punto cruciale della realizzazione è l'attacco a terra che, visti i caratteri di prefabbricazione e smontabilità dell'edificio, doveva avere caratteristiche simili, di versatilità e temporaneità. La soluzione adottata è quella di utilizzare dei "pin footings", fondazioni prefabbricate puntuali sulle quali viene posata, attraverso montanti in legno, la struttura in compensato.



Fig. 114: Indigo Pine House, Solar Decathlon Competition, 2015.

### 3.1.2.17 Accupoli

“**Accupoli**” è un centro polifunzionale, realizzato in risposta al terremoto che ha colpito il centro Italia nel 2016; in particolare, è il primo edificio in Italia realizzato con una struttura portante in legno compensato di Okoumé di spessore 18 mm.

L'associazione H.E.L.P. 6.5 (Housing in Emergency for Life and People) del Politecnico di Torino con a capo l'architetto e ricercatrice Lorena Alessio, in collaborazione con il professor Hiroto Kobayashi, hanno dato vita ad un progetto tanto innovativo quanto adatto alle esigenze della comunità e alle caratteristiche del territorio.

L'edificio, ad un piano fuori terra e forma classica “a capanna”, comprende due corpi distinti, il primo vede al suo interno un ampio spazio aggregativo, flessibile ed adattabile ad ogni necessità ed evento, il secondo, una sala accoglienza, una cucina e dei servizi.

L'esperienza di Hiroto Kobayashi nel mondo del compensato e della realizzazione di Veneer Houses (riportate al punto 3.1.2.15) ha rappresentato una base solida per la realizzazione di questo innovativo centro polifunzionale. Il sistema costruttivo, in particolare, rappresenta una diretta evoluzione del sistema già usato nelle Veneer Houses precedenti; ogni componente è



Fig. 115: a sinistra, vista interna in fase costruttiva del corpo ospitante lo spazio aggregativo; a destra, vista interna in fase costruttiva del corpo ospitante la zona dei servizi.

stato ottenuto grazie al taglio con macchina a controllo numerico di pannelli in compensato. L'assemblaggio dei componenti è avvenuto a secco, ad incastro, proprio come un puzzle, senza la necessità di utilizzare colle, viti o altre tipologie di ancoranti. Altro punto a favore di questo innovativo sistema costruttivo è il buon comportamento strutturale nei confronti del sisma, come riscontrato anche dall' architetto Lorena Alessio <sup>[31]</sup>.

La struttura in compensato, si poggia su travi di fondazione in c.a., trovandosi così a circa un metro dal terreno; questa distanza e l'adatta impermeabilizzazione e coibentazione, proteggono la struttura da una eventuale risalita dell'umidità.

#### Note:

31. E. Meloni, **Accupoli, il primo edificio italiano in compensato portante**, architetturaecosostenibile.it, 2019 (<https://www.architetturaecosostenibile.it/architettura/progetti/accupoli-edificio-compensato-portante-278>);

### 3.1.2.18 Arthur's Cave

Il progetto, realizzato nel 2017 da Miller Kendrick Architects per la competizione *Epic Retreats' pop-up hotels* in Galles, tenta di riprodurre, in chiave moderna e con una struttura innovativa, la caverna nella quale re Artù e i suoi cavalieri trovarono rifugio.

La struttura della cabina è realizzata in compensato di betulla tagliato con macchine a controllo numerico in forme che riproducono internamente le irregolarità di una caverna. Il compensato è la materia prima sia per la struttura che per gli arredi, gli infissi e gli accessori. Il rivestimento è realizzato con del larice nero e della lana di pecora per l'isolamento, entrambi prodotti locali. Il riscaldamento è fornito da una stufa a legna, sono presenti acqua calda sanitaria e luci LED alimentate da pannelli fotovoltaici.



Bisogna pensare che, questa splendida cabina, pensata per coppie amanti della natura e alla ricerca dell'avventura, viene affittata per 425€ ogni due notti<sup>[32]</sup>.

Fig. 116: Arthur's Cave, Galles, 2017.

### 3.1.2.19 NeighborHub

NeighborHub, più che una semplice abitazione è un centro comunitario, progettato e realizzato dalla École Polytechnique Fédérale di Losanna, avente lo scopo di realizzare un centro di aggregazione a impatto zero che combatta il cambiamento climatico, utilizzando le strategie necessarie per ridurre i consumi e l'impatto sull'ambiente<sup>[33]</sup>.

Presentato alla Solar Decathlon Competition 2017, ha una struttura composta principalmente da pannelli di compensato Kerto dello spessore di 2,7 cm (LVL) tagliato con macchina a controllo numerico (CNC) generando omogeneità tra la porzione strutturale e finiture interne. Gli scarti generati dal taglio dei pannelli sono stati utilizzati per la realizzazione di mobili e finiture interne accompagnati da materiali industriali riciclati.

Per mantenere il legno faccia a vista internamente, è stata utilizzata una finitura trasparente per proteggerlo da umidità, sporco e invecchiamento. Per rendere la fase di cantiere il più rapida possibile, i blocchi formati da pannelli in compensato, isolante in lana di legno, ventilazione e impianto elettrico plug-and-play, vengono trasportati preassemblati dalla fabbrica al cantiere.

L'edificio è diviso termicamente, strutturalmente e spazialmente in due parti, un "core" interno, formato da quattro moduli prefabbricati strutturali, avente un

#### Note:

32. Lucy Wang, *Tiny cave-like cabin pops up in the Welsh Hills*, Inhabitat, 2017 (<https://inhabitat.com/tiny-cave-like-cabin-pops-up-in-the-welsh-hills/>);

### 3.1.2.20 Plywood House

#### Note:

33. <https://www.solardecathlon.gov/2017/competition-team-switzerland.html>;

[www.neighborhub.ch](http://www.neighborhub.ch);

Si riporta il link di presentazione del progetto:

<https://www.youtube.com/watch?v=lpP-Tiw6eQrU>;

34. *Plywood House / SMS Arquitectos*, ArchDaily, 2019 (<https://www.archdaily.com/913609/plywood-house-sms-arquitectos/>);

controllo attivo dell'atmosfera interna, e una zona filtro tra interno ed esterno con sistemi passivi di controllo di temperatura e umidità, che realizza una pelle esterna del nucleo centrale.

La costruzione, basata sull'assemblaggio a incastro delle parti strutturali, può allo stesso tempo essere smontata e trasferita altrove, evitando processi distruttivi e quindi la produzione di rifiuti.

Obiettivi principali del NeighborHub e dei suoi progettisti sono stati fin dal principio, la realizzazione in tempi brevi, la semplicità di costruzione, senza l'utilizzo di macchinari pesanti, al fine di coinvolgere nel processo il maggior numero di persone, ovviamente non specializzate, il risparmio, economico ed energetico e la sostenibilità del progetto <sup>[33]</sup>.



Fig. 117: Costruzione della NeighborHub, presentata dalla Scuola Politecnica Federale di Losanna alla Solar Decathlon Competition del 2017 (a lato).

Fig. 118: Plywood House, SMS Arquitectos, Palma de Mallorca, 2017 (in basso a destra).

Situata in un quartiere della periferia di Palma de Mallorca, in Spagna, questa abitazione, vide nel 2017 un intervento di sopraelevazione su progetto dello studio SMS Arquitectos <sup>[34]</sup>. Questa sopraelevazione doveva avere importanti caratteristiche di leggerezza per non dover intervenire ulteriormente sulla struttura originaria.

L'idea degli architetti, Aina Salva e Alberto Sanchez, fu di intraprendere una strada innovativa, l'utilizzo del compensato come materiale strutturale, sfruttando le capacità dell'artigianato locale e le nuove tecnologie a controllo numerico. La nuova struttura, prefabbricata off-site, autonoma e del tutto estranea alla struttura esistente in pietra, terracotta e legno grezzo, è stata realizzata partendo da pannelli di compensato di pioppo di dimensioni standard 122x244 cm.



È stato studiato quindi un nuovo sistema costruttivo che sfruttasse le capacità strutturali del compensato e la possibilità di tagliarlo con un router CNC, così da formare una struttura semplice e

### 3.1.2.21 Sowelo Tiny House

modulabile. Il cassettonato realizzato in compensato è stato lasciato a vista, così da renderlo un aspetto importante e apprezzabile dell'abitazione.

Questo progetto, dimostra come, il compensato possa essere una soluzione percorribile anche in caso di ristrutturazione edilizia, grazie alla sua leggerezza e alla possibilità di integrazione del suo impiego con macchine a controllo numerico. Inoltre, il suo aspetto, rende il contrasto presistenza-nuovo qualcosa di alternativo, sostenibile e piacevole.

Lunga 8 m, larga 2,5 m e alta circa 4,30 m, la Sowelo Tiny House è una piccola abitazione progettata dagli Australiani Barlo Smith e Shona Macpherson, sfruttando energia solare e compensato certificato FSC.

L'abitazione, attenta agli standard abitativi australiani in vigore, utilizza materiali rispettosi per l'ambiente, riciclati, come il poliestere scelto per l'isolamento, e privi di composti organici volatili (VOC).

Questa Tiny House, facilmente trasportabile, grazie alle sue dimensioni ridotte, vanta inoltre una zona esterna componibile che ne permette l'ampliamento della superficie utilizzabile. Internamente si sviluppa su un piano terra comprendente la zona giorno, l'angolo cottura e una zona relax, e due soppalchi ospitanti la zona notte. Il prezzo iniziale per le unità Sowelo era di 87000 \$, con moduli aggiuntivi a partire da 22000\$ ciascuno <sup>[35]</sup>.

**Note:**

35. Perry Miller, *This tiny home is afforded extra space thanks to a large deck*, Inhabitat, 2018 (<https://inhabitat.com/this-tiny-home-is-afforded-extra-space-thanks-to-a-large-deck/>);

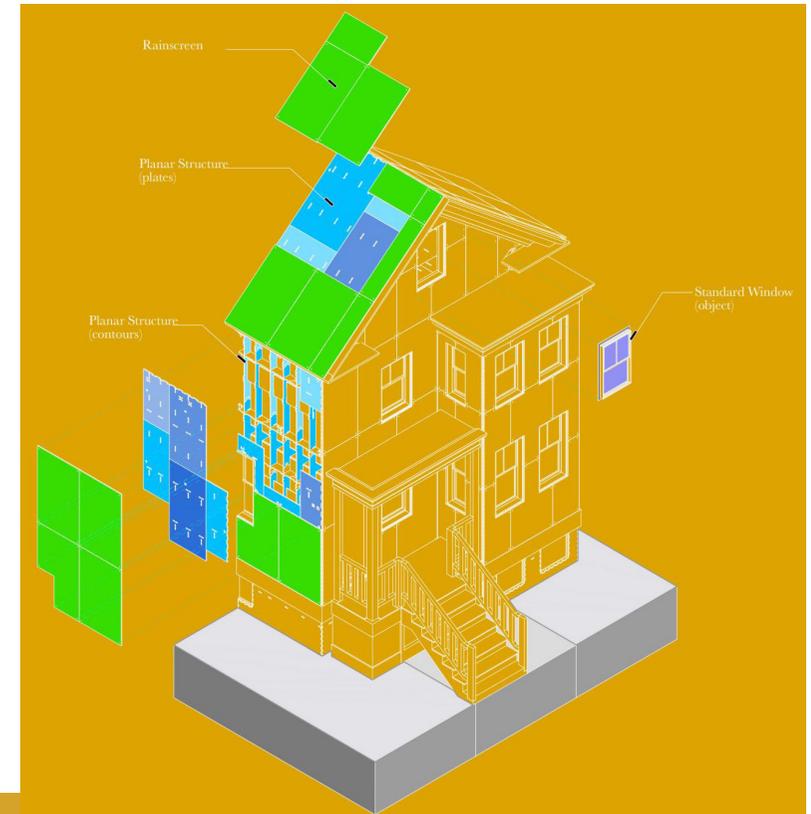
Fig. 119: Sowelo Tiny House, 2018;



### 3.1.2.22 Digital Fabrication of Affordable Housing for Somerville

Basato sul metodo di progettazione, elaborazione e fabbricazione, “*Planar Modeling*”, questo prototipo in scala 1:6 è stato realizzato attraverso un processo di rilievo di una forma esistente, decomposizione automatica della stessa in moduli e in seguito di ogni modulo in elementi piani componibili ad incastro [36].

Questo processo scompone in elementi piani forme più o meno complesse di abitazioni, senza la necessità di rilievi manuali, per poi riprodurli con macchine a controllo numerico (CNC) con l’utilizzo di un qualsiasi materiale, ad esempio il compensato.



**Note:**

**36. Digital Fabrication of Affordable Housing for Somerville, MA,**  
MIT, 2018 (<http://ddf.mit.edu/node/86>);

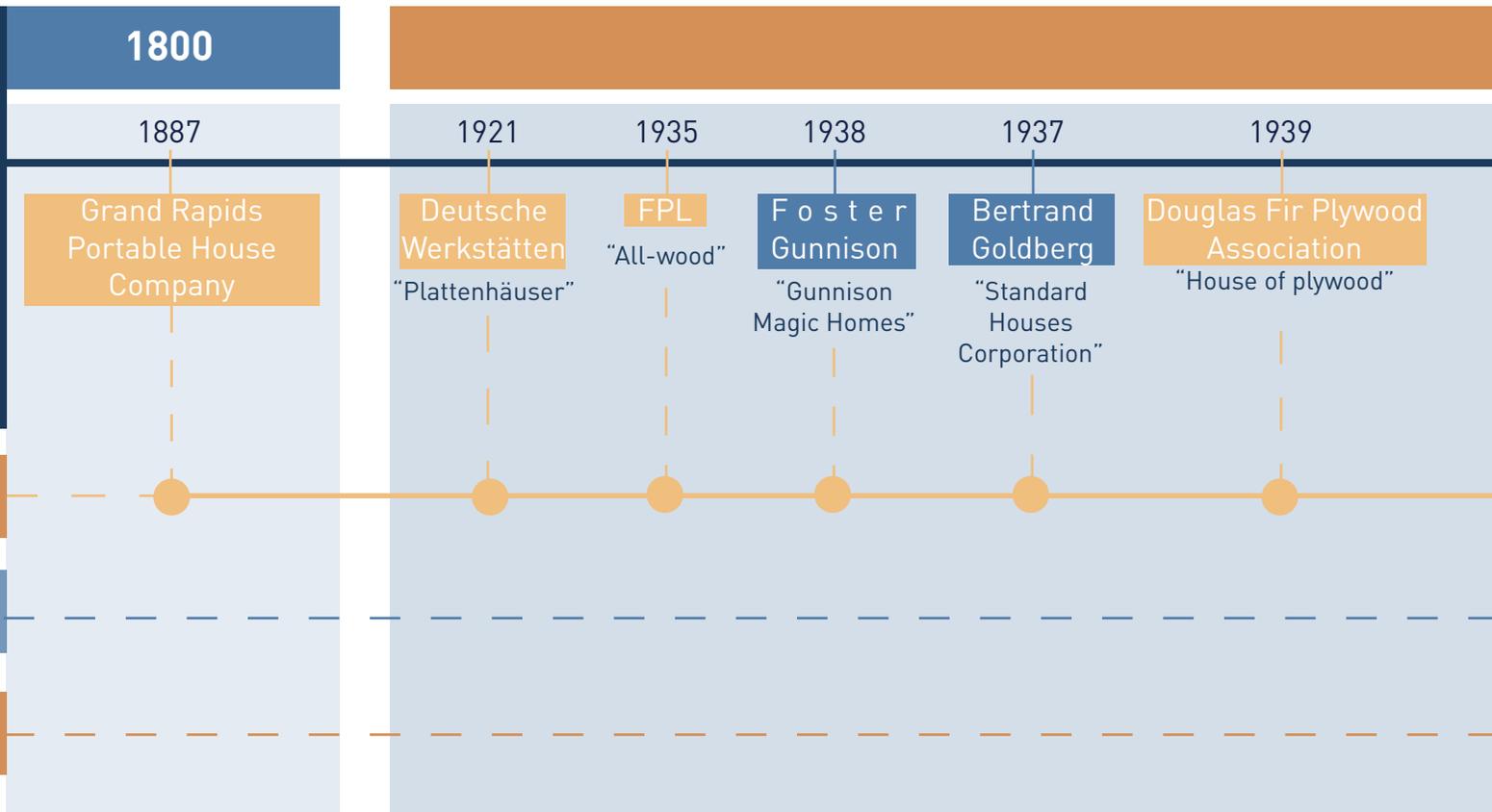
Fig. 120: Schema compositivo di un prototipo basato sul metodo “Planar Modeling”, MIT, 2018;



### 3.1.3 Analisi tecnologica delle architetture sperimentali: PLYWOOD HOUSING (TimeLine dal 1880 al 2019)

A scopo riassuntivo viene elaborata e riportata una linea del tempo delle più significative sperimentazioni nel campo dell'housing realizzate in compensato.

Elaborazione di:  
Matteo Vittone



#### LEGENDA:

- Aziende/Imprese
- Studi di architettura/Architetto/Designer
- Università/Studi
- Anno di fondazione

#### NOTE:

- \* \_ Strutture basate su di un telaio strutturale interno;
- \*\* \_ Strutture con componenti in compensato studiati per assolvere la funzione strutturale.

# 1900

1940

Richard Neutra

"Evans Plywood Company"



1941

William Wurster

Konrad Wachsmann e  
Walter Gropius



"The Packaged House System"

1948

1950



"Unishelter Houses"

1952

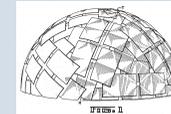
Bertrand Goldberg



"Snyder House"

1954

R.B. Fuller



"Self-Strutted Geodesic Plydome "

1959

1995

Shigeru Ban



"Furniture House 1"

2003



"Barracks Hut"

### 3.1.3 Analisi Tecnologica delle architetture sperimentali: PLYWOOD HOUSING (TimeLine dal 1880 al 2019)

Elaborazione di:  
Matteo Vittone



2000

2005

Gauthier  
Architects  
"Burst\*008"



2005

"The Instant  
Cabin"



2007

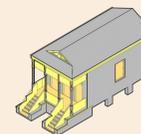
Lawrence Sass (MIT)

FACIT HOMES



2008

"Digitally Fabri-  
cated House"



2009

Bruce  
Hauman  
"Frameless Geodesic  
Dome"

2010

IAAC  
"Fab-Lab  
House"



WOOD-FRAME\*

FRAMELESS\*\*

DIGITAL TECHNOLOGY - CNC

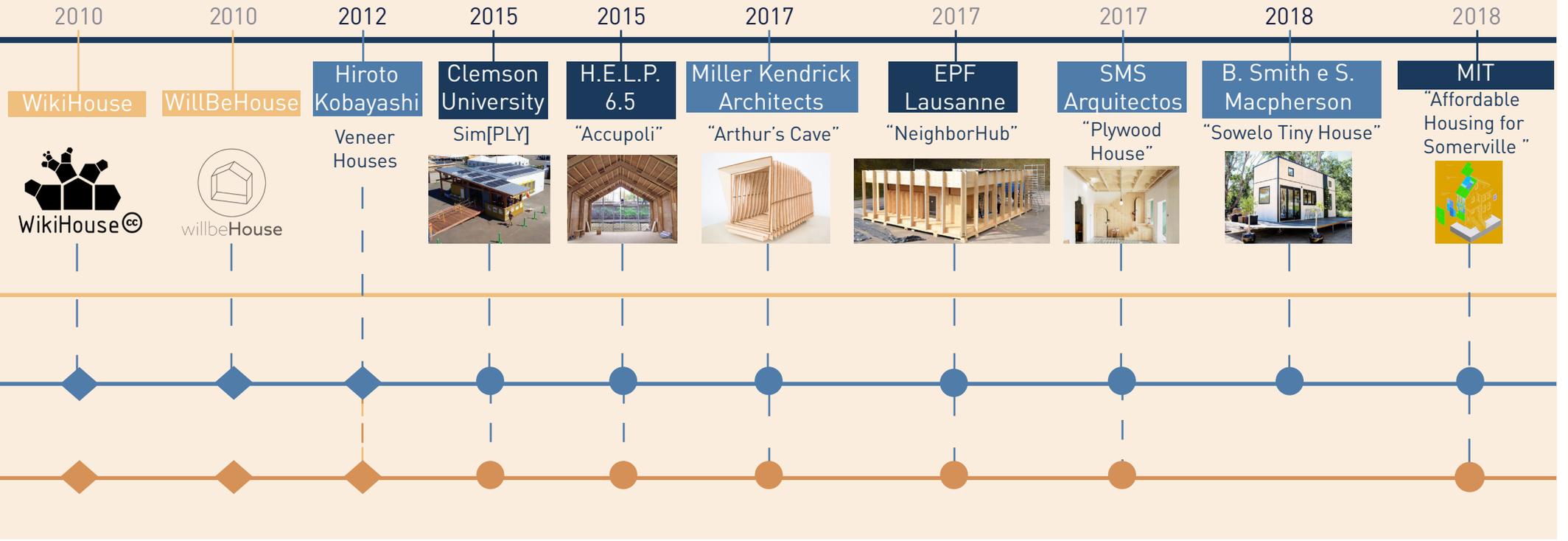
#### LEGENDA:

- Aziende/Imprese
- Studi di architettura/Architetti/Designer
- Università/Studi
- Anno di fondazione

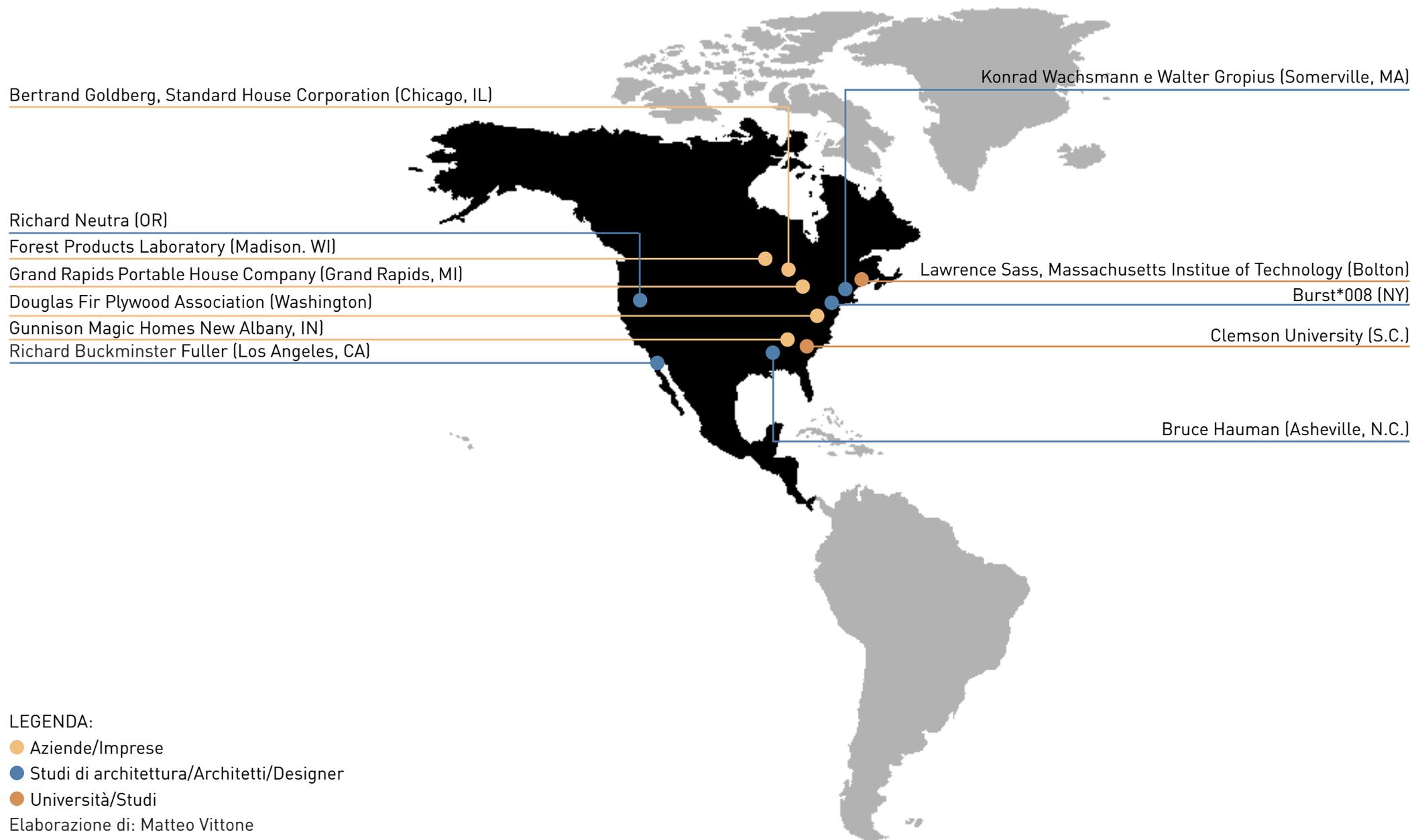
#### NOTE:

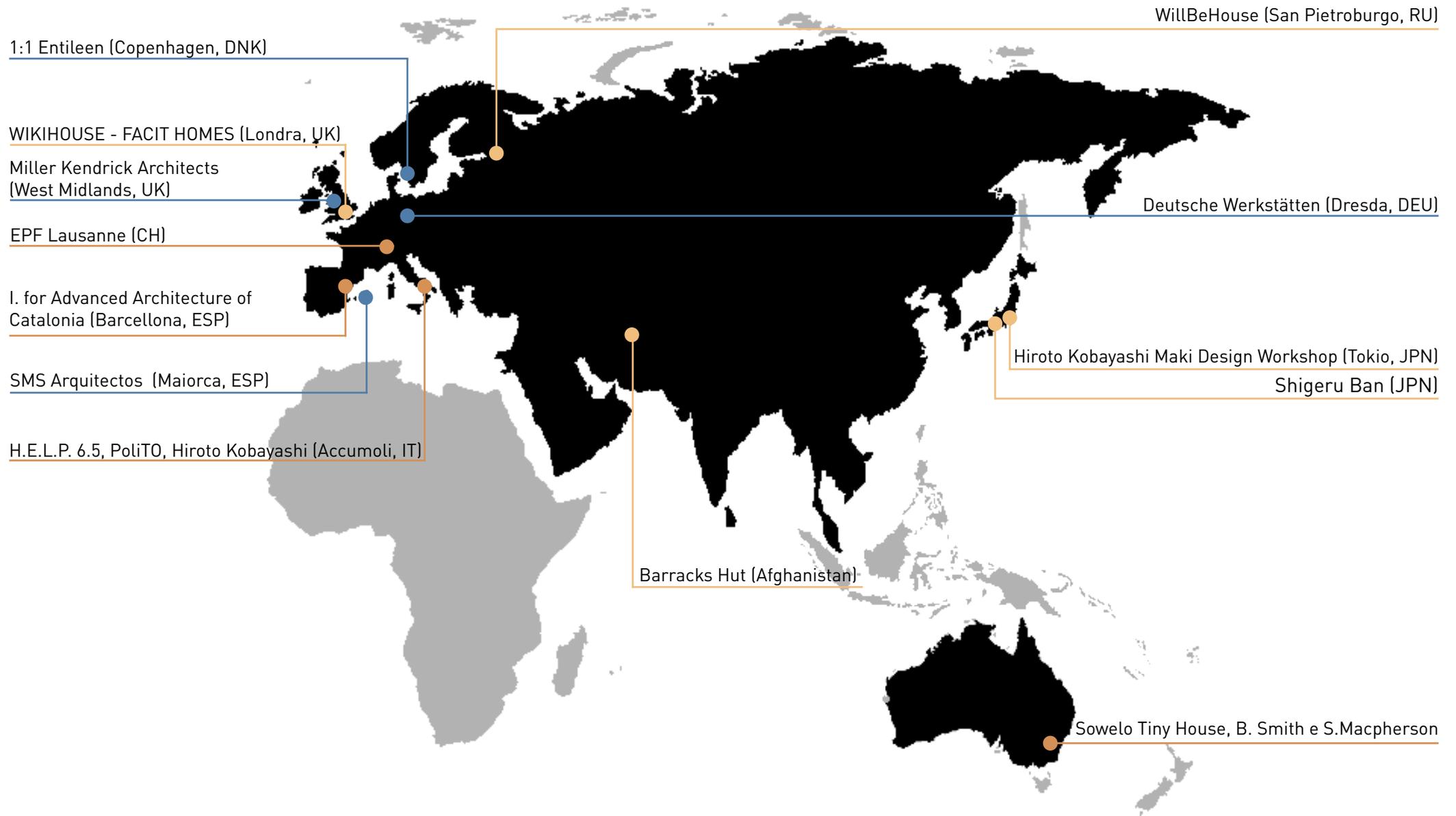
- \* \_ Strutture basate su di un telaio strutturale interno;
- \*\* \_ Strutture con componenti in compensato studiati per assolvere la funzione strutturale.

# 2000



### 3.1.4 Inquadramento architetture sperimentali: PLYWOOD HOUSING in ambito internazionale





### 3.1.5 Progetti di architettura sperimentale: PAVILIONS

La sperimentazione in campo architettonico, delle moderne tecnologie digitali, ha raggiunto il proprio apice nella progettazione e realizzazione di padiglioni e strutture temporanee di forme organiche, complicate anche solo da immaginare, ma che, grazie a software avanzati di modellazione 3D non solo sono state progettate dal punto di vista scenico ed estetico, ma anche valutate sotto il punto di vista statico e strutturale.

L'ambiente 3D inoltre, guidato da algoritmi matematici, ha permesso di sviluppare i componenti delle diverse strutture in modo semiautomatico; infatti, una volta trovato l'algoritmo adatto, rispondente ai requisiti statici, estetici, compositivi e costruttivi, i software realizzano in modo automatico l'analisi del modello e ne restituiscono una possibile conformazione e composizione architettonica.

Da queste operazioni vengono poi ricavati i componenti strutturali che passano alla fase esecutiva; vengono tagliati da un router CNC, controllato da un computer, con precisioni che raggiungono il decimo di millimetro, e classificati con codici alfanumerici così da essere riconoscibili e individuabili in fase di montaggio e realizzazione.

Si riportano di seguito alcune realizzazioni di padiglioni in compensato, progettati sia da designer e architetti, che da studenti e centri di ricerca sperimentale.

#### 3.1.5.1 Fractal Pavilion

Il Fractal Pavilion è stato il vincitore del primo concorso AA Summer Pavilion 2006 della Architecture Association School di Londra, organizzato dai professori Charles Walker e Martin Self.

Si tratta di un padiglione avente una struttura ramificata realizzata attraverso una progettazione basata su di un algoritmo matematico; gli elementi alla base, e in generale quelli di maggiori dimensioni sono stati tagliati da pannelli FinnForest Kerto Q di diversi spessori, mentre i componenti di dimensioni più ridotte sono stati ottenuti da pannelli in compensato di betulla. Per realizzare i giunti tra i diversi componenti sono state utilizzate delle flange di acciaio imbullonate e, per tenere la copertura in fibra di vetro e PVC e irrigidire la struttura, sono stati installati dei cavi di acciaio <sup>[37]</sup>.

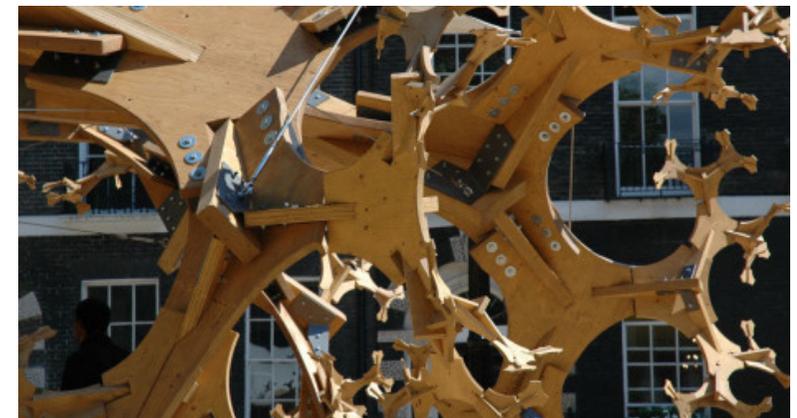


Fig. 121: Dettaglio costruttivo Fractal Pavilion, AA Summer Pavilion 2006, Londra (a destra);

**Note:**

37. <https://www.spans-associates.com/research-aa-pavillion;>

### 3.1.5.2 Bad Hair Pavilion

**Note:**

102. <https://woodarchitecture.wordpress.com/woodtechnology/summer-wood-design-pavillion/>;

103. Ply-studio, **Plywood Tower**, 2008 (<https://5osa.com/572>);

L'installazione temporanea, vincitrice del concorso AA Summer Pavilion del 2007 della Architecture Association school di Londra, è stato denominato *Bad Hair Pavilion*<sup>[38]</sup> per le sue forme sinuose realizzate grazie al legname fornito dalla FinForest, che ricordano dei lunghi capelli intrecciati che si estendono a raggiera.



Le connessioni dei vari componenti sono state effettuate attraverso placche metalliche e bulloni, così come le connessioni al terreno. Il padiglione, fornisce un'area maggiormente riparata, dove sostare e vivere dall'interno l'articolata struttura che lo compone, e delle sedute esterne formate dai prolungamenti delle travature sulle quali poter sostare in tranquillità.

Fig. 38: Bad Hair Pavilion, AA Summer Pavilion 2007 (in alto a destra);

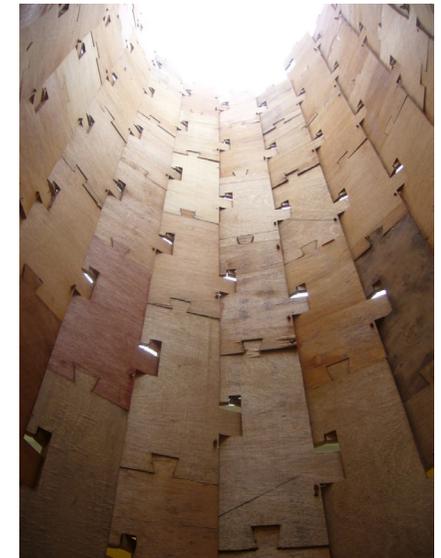
Fig. 39: vista interna della Plywood Tower, Singapore University, 2008 (prima a destra);

### 3.1.5.3 Plywood Tower

Questa installazione sperimentale, progettata e realizzata nel 2008, in sole sei settimane da alcuni studenti frequentanti il secondo anno del corso di Design all'Università di Singapore, è il frutto di uno studio del compensato, del suo uso come materiale strutturale e delle sue proprietà estetiche.

Il principale obiettivo era quello di testare la capacità autoportante del compensato, per questo motivo venne esclusa qualsiasi ipotesi di telaio portante interno a favore di una struttura circolare, crescente a spirale, con delle connessioni a secco tra i vari componenti.

I 200 componenti, ottenuti tramite *taglio manuale* di dieci pannelli di compensato di dimensioni standard 1,22x2,44 m e spessore 1,2 cm, senza l'aiuto di macchine a controllo numerico, misurano 60x20 cm, e compongono una struttura di 6 m di altezza e 1 m di diametro<sup>[39]</sup>.



### 3.1.5.4 Swoosh Pavilion

Questo padiglione, progettato e costruito da studenti del secondo e terzo anno della Architectural Association school di Londra, è il vincitore del concorso annuale organizzato dai professori Charles Walker e Martin Self per la realizzazione dell' AA Summer Pavilion 2008 [40].

La struttura, completamente decomponibile, è formata da 653 pannelli di compensato tagliati con macchine a controllo numerico, tutti in posizione verticale, così da ottenere un gioco di luci e ombre molto particolare per chi si sofferma al di sotto del padiglione o semplicemente vi passa attraverso. La struttura, avente una forma particolarmente organica ma simmetrica è divisa in diversi componenti, colonne, costole radiali e pannelli trasversali ad esse. Le colonne hanno una base e delle connessioni in acciaio per rendere la struttura più solida al terreno. Il progetto inoltre, interagisce con il contesto della piazza, addirittura aggirando il lampione esistente.



Fig. 124: Swoosh Pavilion, AA Summer Pavilion 2008 (a lato).

### 3.1.5.5 Driftwood Pavilion

Il Driftwood Pavilion è risultato essere la proposta vincente del concorso AA Summer Pavilion 2009 per studenti della Architectural Association school di Londra. Si tratta di un'installazione, un prototipo, alla ricerca di innovazione tecnologica, innovazione dei materiali, sperimentazione e estetica, con un'ispirazione al legame tra il Regno Unito e le acque che lo circondano, richiamando, con la sua forma ondulata, il moto ondoso del mare. Il padiglione è stato realizzato in compensato "Kerto" di abete, da fornitori finlandesi e da una filiera di alta sostenibilità ambientale, FinnForest [41].



Fig. 125: Driftwood Pavilion, AA Summer Pavilion 2009 (in alto).

### 3.1.5.6 ICD/ITKE Research Pavilion

Nel 2010, l'ICD (Institute for Computational Design) e l'ITKE (Institute of Building Structures and Structural Design) hanno progettato e realizzato un padiglione dedicato alla ricerca e alla sperimentazione architettonica di nuovi materiali, quali il compensato in spessori minimi, piegato elasticamente [42].

Le capacità di questo materiale di resistere e reagire a sollecitazioni interne ed esterne hanno permesso la realizzazione di un padiglione avente una forma molto particolare e difficilmente riproducibile con materiali convenzionali.

Se infatti si pensa che la progettazione digitale non possa prendere in considerazione anche gli agenti esterni, estranei alla struttura in progetto, questo padiglione, dimostra l'esatto contrario e cioè, lo sviluppo di una struttura utilizzando le moderne tecniche costruttive stimulate dalle caratteristiche fisiche del materiale, dai vincoli e dalle forze agenti sulla struttura.

La struttura, composta da strisce di compensato di spessore pari a 6,5 mm, realizzate come elementi piani e in seguito piegate, è prodotta dall'alternanza delle stesse strisce in modo che le regioni piegate elasticamente e quelle tese si alternino lungo la loro lunghezza.

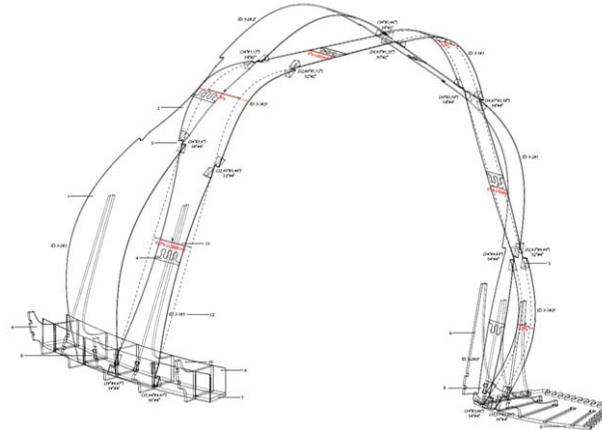


Fig. 126: schema inerente la composizione strutturale dell'ICD/ITKE Research Pavilion, 2010 (in alto a destra);

Fig. 127: ICD/ITKE Research Pavilion, 2010 (in basso a destra);

### 3.1.5.7 Digital Tea House

**Note:**

43. Salvator-John A. Liotta, Kaon Ko, **Digital Tea Houses**, Tokio, 2010 (<https://www.domusweb.it/en/architecture/2010/10/27/digital-tea-houses.html>)

Queste Tea House, sono il risultato di un workshop incentrato sullo sviluppo e l'utilizzo, in architettura, delle nuove risorse digitali, quali il design parametrico e la produzione digitale attraverso macchine a controllo numerico.

I limiti imposti ai tre team di progetto partecipanti furono <sup>[43]</sup>:

- Utilizzo di un software specifico per la progettazione, in questo caso Rhino o Grasshopper;
- Utilizzo di compensato come materiale strutturale con uno spessore di 9 o 12 mm;
- Budget complessivo al di sotto dei 2000 euro;
- Utilizzo di macchine a controllo numerico per il taglio dei componenti.

I tre team hanno proposto soluzioni molto differenti.

Il primo ha ideato un padiglione incentrato sulla capacità della luce, in un determinato momento dell'anno, di produrre l'effetto desiderato all'interno, in modo da creare una particolare atmosfera per due ospiti che volessero godersi la cerimonia del tè;

il secondo progetto, ispiratosi alla forma della tazza da tè, ha ideato un padiglione cilindrico composto da pannelli di compensato curvati a formare una struttura a

“onde”;

il terzo, risultato il vincitore, esalta invece le caratteristiche della cerimonia del tè, creando una sequenza spaziale avente differenti ingressi per gli ospiti e per il maestro.



Fig. 128: Digital Tea House, prima proposta di progetto (in alto, a sinistra);

Fig. 129: Digital Tea House, seconda proposta di progetto (in alto, a destra);

Fig. 130: Digital Tea House, terza proposta di progetto (in basso).

### 3.1.5.8 Spaceplates Prototype

Ion Sorvin/N55 e Anne Romme presentarono questo prototipo al Danish Art Workshop del 2010, totalmente in compensato, realizzato attraverso 176 pezzi di compensato di 15 forme differenti, tutti tagliati attraverso l'utilizzo di un router CNC <sup>[44]</sup>.

La struttura non presenta telaio interno, ma sono le stesse parti in compensato, incollate tra di loro ad essere portanti. Il prototipo ebbe ulteriori sviluppi negli anni successivi ma non venne più utilizzato il compensato, lasciando spazio ad una struttura a telaio in alluminio <sup>[45]</sup>.



Fig. 131: Spaceplates Prototype, Ion Sorvin/N55 e Anne Romme, Danish Art Workshop, 2010;

Fig. 132: ZA11 Pavilion, Cluji, Romania, 2011 (in basso a destra).

### 3.1.5.9 ZA11 Pavilion

Il padiglione, realizzato per l'evento ZA11 Speaking Architecture a Cluji, in Romania, è il risultato di un workshop progettuale studentesco, durato solamente una settimana<sup>[46]</sup>. L'obiettivo era quello di realizzare una struttura che potesse attirare i visitatori e che desse dimostrazione di quanto le nuove risorse digitali possano aiutare il mondo architettonico. L'intero progetto è stato eseguito grazie all'utilizzo di software per la progettazione parametrica, Rhino+Grasshopper, attraverso i quali è stato anche possibile controllare l'esatta geometria dei singoli componenti, la loro etichettatura, la sequenza di assemblaggio, il taglio e i costi. Il padiglione ebbe grande successo, sia come luogo da vivere, dove svolgere le differenti attività che durante l'evento si sono susseguite, sia come opera architettonica apprezzata da giovani, anziani e professionisti.



### 3.1.5.10 Expandable Surface Pavilion

Questa meeting room, realizzata da Nacho Martí, Pablo Zamorano e Jacob Bek, è il risultato dell'applicazione delle nuove tecnologie digitali e di un materiale, come il compensato, facilmente lavorabile con macchine a controllo numerico <sup>[47]</sup>.

Il padiglione si basa sul concetto "zero-waste", e cioè l'utilizzo di tutto il materiale di partenza, senza alcuno scarto. Altro aspetto importante è la possibilità di montare e smontare il padiglione senza manodopera specializzata e con una facile trasportabilità da un sito ad un altro, grazie alla riduzione della struttura in singoli pannelli piani impilabili.



Fig. 133: Expandable Surface Pavilion, 2009 (in basso);

#### Note:

47. Bridgette Meinhold, *Expandable Surface Pavilion Makes Use of Sustainable Fabrication Processes*, 2011 (<https://inhabitat.com/expandable-surface-pavilion-makes-use-of-sustainable-fabrication-processes/>);

48. ArchDaily, *Aero Pavilion / Department for Architecture Design and Media Technology*, 2011 (<https://nparametric.wordpress.com/2011/09/08/clj02-za11-pavillon/>);



Fig. 134: Aero Pavilion, Danimarca, 2011 (in alto);

### 3.1.5.11 Aero Pavilion

Questo padiglione, progettato da un team di studenti del Department for Architecture Design and Media Technology dell'università di Aalborg, in Danimarca, è stato realizzato grazie ad un controllo parametrico e digitale dei suoi singoli componenti in compensato <sup>[48]</sup>. Grazie infatti a componenti piani opportunamente disegnati e tagliati con macchine a controllo numerico è stato possibile assemblare facilmente il padiglione e realizzare un ambiente interno con interessanti giochi di luci ed ombre. La struttura è realizzata attraverso l'assemblaggio a secco di tre diverse tipologie di componenti: componenti orizzontali, verticali e dei tasselli di chiusura.

### 3.1.5.12 The Passage

Fig. 135: The Passage, Kent State University, Ohio, 2011 (in alto a destra);

Questa struttura temporanea, ideata da un gruppo di studenti della Kent State University in Ohio, in risposta alla matR design competition 2011, è stata progettata grazie all'utilizzo di software quali Rhinoceros e Grasshopper; ideata come una struttura a "Waffle", avente 26 nervature verticali e 24 puntoni orizzontali <sup>[49]</sup>, è stata realizzata con un budget di 2000 \$ stanziati dal Kent State College of Architecture and Environmental Design.

L'obiettivo era quello di dimostrare le capacità della progettazione digitale associata all'uso di materiali innovativi, quali il compensato. Il tunnel, realizzato in autocostruzione dagli studenti, con pannelli di compensato di spessore 1,9 cm, si estende per una lunghezza di circa 15 m e un'altezza massima di circa 4 m.

I componenti orizzontali, tra le nervature verticali sono stati segmentati per creare dei nodi tra le diverse campate, posizionate su di un terreno irregolare, con uno sviluppo radiale. I progettisti hanno definito una struttura complessa grazie all'ausilio delle nuove tecnologie CAD, con un controllo millimetrico delle dimensioni e delle connessioni tra i singoli componenti. Il risultato, dicono i progettisti del padiglione, sarebbe stato impensabile senza i moderni software di progettazione e le moderne tecnologie per il taglio a controllo numerico.

#### Note:

49. Brian Pagnotta, **2011 matR Project: "The Passage"**, ArchDaily, 2011 (<https://www.archdaily.com/161894/2011-matr-project-the-passage>);

50. Carlo Bardelli, **Padiglione bionico in legno compensato**, Synchronia Magazine, Milano, 2018 (<https://www.synchronia.com/it/magazine/green-building/padiglione-bionico-legno-compensato>);



### 3.1.5.13 Plywood Bionicle Pavilion

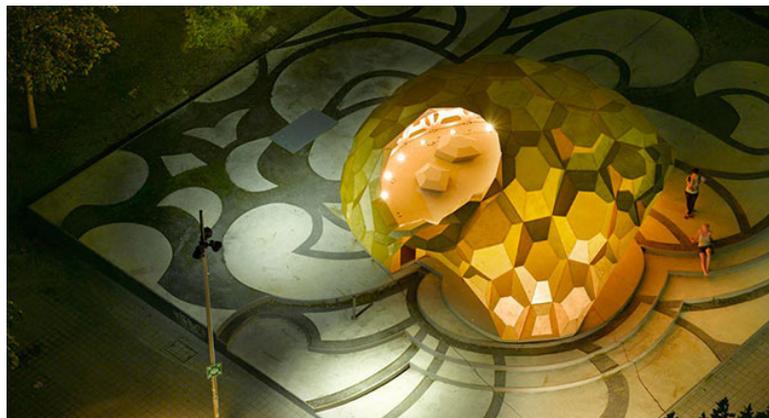
Nel 2011, l'Università di Stoccarda ha progettato un padiglione temporaneo in legno compensato, avvalendosi di procedure tecnologicamente avanzate basate sulla simulazione e la progettazione computerizzata in ambiente virtuale 3D <sup>[50]</sup>.

Anche questa struttura, come molte altre, trae la sua ispirazione nel mondo naturale, e in particolare nella forma di alcuni particolari ricci di mare. Il padiglione è stato realizzato con oltre 850 componenti geometricamente differenti in compensato dello spessore di 6,5 mm e diviso in due livelli strutturali.

Il primo livello è quello di formazione delle celle attraverso l'incollaggio di diversi pannelli, il secondo vede invece il collegamento a vite semplice delle diverse celle. La struttura è stata inoltre ancorata al suolo per resistere alle forze tangenziali del vento.

Fig. 136: Plywood Bionicle Pavilion, Università di Stoccarda, 2011 (a destra);

Fig. 137: Ice Skating Shelters, Patkau Architects, 2011(in basso).



### 3.1.5.14 Ice skating shelters

Queste strutture dalle forme che si potrebbero definire alternative, sono essenziali per chi, nel lungo inverno della Siberia, si trova a pattinare lungo i suoi fiumi ghiacciati e viene sorpreso da una bufera o da una tempesta. Rappresentano infatti importanti rifugi temporanei rientranti in un programma per la realizzazione di



#### Note:

51. *Winnipeg Skating Shelters / Patkau Architects*, 2011, ArchDaily (<https://www.archdaily.com/135302/winnipeg-skating-shelters-patkau-architects>);

52. <https://www.mvrdv.nl/projects/189/beagle-house?photo=786>;

una serie di punti di riparo lungo la tratta di questi fiumi che in Inverno si trasformano in piste da pattinaggio. Questo “villaggio”, ideato e progettato da Patkau Architects, è formato da piccole strutture che possono ospitare pochi occupanti alla volta, radunate in uno spazio ridotto per difendersi dalle intemperie a vicenda. La struttura è realizzata con pannelli di compensato a due strati di spessore 0,5 cm, ancorati ad una base triangolare in legno e sostenuti da un’armatura in legno a forma di cuneo. Le forme sono state studiate attraverso delle analisi di carico, dovuto alla neve e sono stati fatti degli interventi quali tagli o aperture nelle aree di maggiore stress dei pannelli in compensato senza comunque compromettere la loro principale funzione<sup>[51]</sup>.

### 3.1.5.15 Beagle House

La Beagle House è la proposta progettuale dello studio MVRDV al concorso “*Architecture for Dogs*” del 2012 proposto dal designer giapponese Kenya Hara<sup>[52]</sup>. La sfida era quella di realizzare un’architettura apposita per i cani che, al giorno d’oggi la maggior parte delle volte vivono un’architettura per l’uomo e non realizzata su



Fig. 138: Beagle House, MVRDV, 2012 (a sinistra, in basso, nella pagina precedente);

Fig. 139: Processo produttivo e realizzazione del Dragon Skin Pavilion, Hong Kong, 2012 (a destra).

misura per loro. Questa cuccia, realizzata in compensato, proprio come un mobile d'arredo IKEA®, arriva a casa a pezzi e, attraverso delle istruzioni di montaggio, deve essere assemblata dall'acquirente. Non è una classica cuccia per cani, infatti oltre ad essere uno spazio di riposo per il cane è stata studiata per essere anche un gioco, grazie al suo andamento basculante e ad una corda che permette sia al cane che al proprietario di trascinarla.

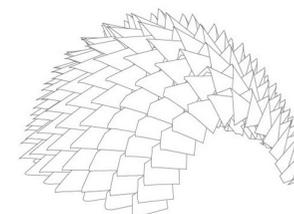
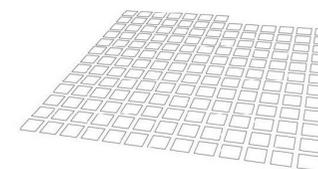
### **3.1.5.16 Dragon Skin Pavilion**

Il Dragon Skin Pavilion è un'installazione architettonica opera degli architetti Emmi Keskinarja, Kristof Crolla, Sebastien Delagrangé e Pekka Tynkkynen, presso il Kowloon Park di Hong Kong, è una sfida alla nuove possibilità date dalla fabbricazione digitale in architettura <sup>[53]</sup>.

L'idea nacque in un Workshop della Tampere University of Technology nel 2011, per poi essere rielaborato e riproposto ad Hong Kong nel 2012. Il padiglione è stato realizzato in compensato, con pannelli rettangolari, in seguito preriscaldati e piegati su di uno stampo. Lo stesso stampo e i singoli pannelli rettangolari sono stati realizzati con un router a controllo numerico. Attraverso un algoritmo sono stati studiati i tagli per

le reciproche connessioni tra i pannelli, tutti aventi la stessa forma ma con angolazioni che gradualmente dovevano variare per permettere la realizzazione della struttura in sicurezza. Per fare ciò è stato necessario un modello tridimensionale della struttura analizzando tutti i 163 componenti.

Ogni singolo pannello, una volta piegato è stato etichettato per essere riconosciuto nella procedura di montaggio e in seguito in quella di smontaggio.



#### **Note:**

**53. Dragon Skin Pavilion / Emmi Keskinarja + Pekka Tynkkynen + Kristof Crolla (LEAD) and Sebastien Delagrangé (LEAD)**, 10 Mar 2012, ArchDaily (<https://www.archdaily.com/215249/dragon-skin-pavilion-emmi-keskinarja-pekkka-tynkkyinen-lead/>);

### 3.1.5.17 EmTech (AA) & ETH Pavilion

Questa struttura temporanea, frutto della collaborazione tra Emergent Technologies and Design Program della Architectural Association School di Londra e lo Swiss Federal Institute of technology di Zurigo, aveva come obiettivo la realizzazione di una zona ombreggiata sulla scalinata antistante il dipartimento di architettura dell'ETH a Zurigo<sup>[54]</sup>. Il padiglione è interamente costituito da pannelli di compensato di spessore 18 mm, con fibre principalmente in direzione longitudinale, a formare una struttura di dimensioni maggiori di 11x2,5 m. I tagli, effettuati all'interno della struttura, ne hanno consentito la flessione fino alla forma desiderata, riducendo l'azione del vento e producendo il motivo d'ombra voluto. Altro elemento di supporto importante è rappresentato dai cavi incrociati che mantengono la struttura tesa e in posizione.



Fig. 140: EmTech (AA) & ETH Pavilion, Zurigo, 2012 (a destra);

Fig. 141: Monalisa Wood Pavilion, Politecnico di Torino, MADEexpo 2012 (a destra in alto).

### 3.1.5.18 Monalisa Wood Pavilion

La struttura, ideata durante il Monalisa workshop presso il Politecnico di Torino, promosso dal Dipartimento di Architettura e Design in collaborazione con Assopannelli-Federlegno, il Consorzio Conlegno e l'associazione Pro-populus, prende il nome dal celebre dipinto di Leonardo da Vinci. Il perché è semplice, così come la Monalisa fu dipinta su una tavola di pioppo, il padiglione sarebbe stato realizzato con pannelli di compensato della stessa specie di legno raccontandone caratteristiche e versatilità. Il Workshop ha prodotto sette ipotesi progettuali e due prototipi architettonici per il MADEexpo 2012<sup>[55]</sup>.

Il progetto Pop. For. Pav. del Team 2 risultò vincitore; la proposta era un padiglione formato da elementi piani in compensato ramificati secondo una sequenza crescente determinata tramite l'utilizzo di tecniche digitali di parametrizzazione delle forme. Si presentava quindi come una struttura alberiforme di circa 160 m<sup>2</sup> realizzata tramite il taglio con router CNC di elementi piani in compensato<sup>[56]</sup>.



### 3.1.5.19 Landesgartenschau Exhibition Hall



Il *Landesgartenschau Exhibition Hall* è un padiglione espositivo, concepito presso l'Università di Stoccarda, all'interno del progetto "*Robotics in Timber Construction*", oltre che un prototipo architettonico per la progettazione e realizzazione computerizzata di costruzioni in compensato <sup>[57]</sup>.

I pannelli che ne costituiscono la struttura hanno uno spessore di soli 50 mm, questo grazie ad un processo di simulazione avvenuto in ambiente virtuale 3D. La tecnologia e l'informatica applicate al legno, materiale facente parte della tradizione e della storia dell'uomo, riescono a realizzare cose, forme, edifici, mai realizzati prima, con un occhio sempre attento alla qualità della realizzazione e alla sostenibilità ambientale.

Questo padiglione ne è la dimostrazione, partendo da singole parti prefabbricate, è stato realizzato un padiglione moderno e all'avanguardia, con una precisione millimetrica, condizione necessaria per questa nuova tipologia di realizzazioni.

Fig. 142: Landesgartenschau Exhibition Hall, Università di Stoccarda, 2014 (a destra);

Fig. 143: The PortHole, La Grande Motte, 2015 (in basso a destra).

#### Note:

**57. LANDESGARTENSCHAU EXHIBITION HALL**, Robotically Fabricated Lightweight Timber Shell, 2014 (<https://icd.uni-stuttgart.de/?p=11173>);

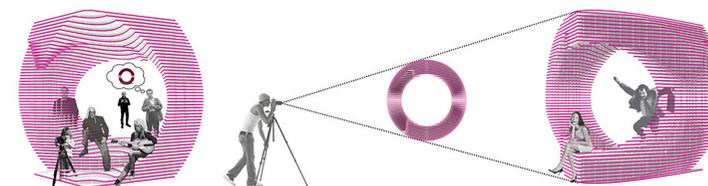
**58. The PortHole / TOMA!**, ArchDaily, 2015 (<https://www.archdaily.com/770555/the-porthole-toma/>);

### 3.1.5.20 The PortHole

Questa architettura sperimentale, presentata per la decima edizione del Festival des Architectures vives a La Grande Motte (Francia), dal team TOMA!, è stata premiata sia dalla giuria che dal pubblico per la sua strabiliante fattura <sup>[58]</sup>.

La struttura, evolve e si modifica, in relazione al punto di vista; è stata realizzata grazie all'utilizzo di 120 pannelli in MDF, tagliati con macchine a controllo numerico, che danno forma ad un cubo nel quale è stato scavata una forma circolare, apprezzabile però da un unico punto di vista. Proprio grazie a questa modellazione interna, il padiglione offre riparo e alcune sedute per i visitatori, oltre ad essere un elemento urbano apprezzato dagli spettatori.

L'aspetto etereo dell'installazione è dato dagli spazi generati tra i pannelli orizzontalmente e dai montanti metallici verticali quasi impercettibili della struttura portante.



### 3.1.5.21 ICD/ITKE Research Pavilion

Il padiglione di ricerca, ispirato al dollaro della sabbia, realizzato dall'Institute for Computational design (ICD) e l'Institute of Building Structures and Structural Design dell'Università di Stoccarda è un insieme di innovazione e tradizione <sup>[59]</sup>. La struttura è formata da 151 elementi prefabbricati, ognuno di essi formato da tre strisce in compensato di faggio, tenuti insieme tramite una cucitura in Kevlar. L'intera costruzione copre un'area di 85 m<sup>2</sup>, con un peso proprio di soli 780 kg, formando uno spazio interessante dal punto di vista architettonico, a metà tra uno spazio interno ed uno esterno.



Fig. 144: ICD/ITKE Research Pavilion, Università di Stoccarda, 2015.

### 3.1.5.22 UWE Digital Design Research Unit Pavilion

Questo Padiglione è stato realizzato tramite la partnership tra University of the West of England e Format Engineers, per dimostrare i benefici della progettazione parametrica associata ad un nuovo metodo costruttivo efficiente, basato sull'utilizzo di strisce di compensato di spessore pari a 6 mm intrecciate al fine di realizzare una struttura resistente <sup>[60]</sup>.



### 3.1.5.23 "Fabricwood" Pavilion

Il designer di PRODUCE Workshop, Pan Yicheng, ha realizzato nel 2016 lo "Shop-in-Shop" all'interno del nuovo store di mobili e design di XTRA, a Singapore, ispirandosi ai mobili in esposizione e realizzando una struttura ad arco di 20 metri particolarmente sinuosa,

#### Note:

59. Rivista Legnoarchitettura, n. 24, pp. 86-93, EdicomEdizioni, 2016;

60. AD Editorial Team, *The Best Student Design-Build Projects Worldwide 2016*, ArchDaily, 2016 (<https://www.archdaily.com/794566/the-best-student-design-build-projects-worldwide-2016/>);

61. Isabella Baranyk, *PRODUCE Workshop Debuts Plywood-based "Fabricwood" Pavilion for Herman Miller's Shop-in-Shop*, ArchDaily, 2017 (<https://www.archdaily.com/804590/produce-workshop-debuts-plywood-based-fabricwood-pavilion-for-herman-millers-shop-in-shop/>);

Fig. 145: UWE Digital Design research Unit Pavilion, 2016 (pagina precedente);

Fig. 146: Fabricwood Pavilion, Singapore, 2016 (a destra);

Fig. 147: The Ephemeral Neighbourhood, Margin, Londra, 2017 (a destra, in basso);

**Note:**

62. <http://www.margincollective.com/ephemeralneighbourhood/>;

63. Eleanor Gibson, *RIBA exhibits three pavilions designed to serve London communities*, Dezeen, 2016 (<https://www.dezeen.com/2016/06/30/constructing-communities-riba-exhibition-london-festival-of-architecture-2016/>);

64. *Segmented Timber Shell, Rosenstein Museum*, TRR141 A07 Demonstrator (<https://icd.uni-stuttgart.de/?p=20983>)

somigliante quasi a tessuto <sup>[61]</sup>. In realtà la struttura è realizzata in compensato, definito “fabricwood” dallo stesso designer, per un totale di 280 pannelli piegati grazie ad alcuni intagli in posizioni studiate. In seguito alla realizzazione di queste fessure all’interno dei pannelli, gli stessi vengono piegati, assumendo una forma simile a quella del tessuto che si conforma al corpo umano, per venire poi ricucite con delle fascette. Infine, i diversi pannelli, accoppiati come in un pannello sandwich, sono stati uniti attraverso delle placche in legno, a formare la struttura finita.



### **3.1.5.24 The Ephemeral Neighbourhood**

Dal nome di questa struttura, progettata da Margin (gruppo di architetti e designer di Londra <sup>[62]</sup>), si può capire come questa non sia un’abitazione vera e propria, ma piuttosto un luogo di incontro e di interazione di alcune nuove comunità che si stanno instaurando

soprattutto nelle zone periferiche delle grandi città. La struttura, rappresenta una soluzione architettonica leggera, sostenibile e facilmente perseguibile, che può essere installata su un tetto, piuttosto che in strada; è realizzata con pannelli di compensato, materiale scelto per la sua sostenibilità oltre che per la sua economicità e facilità di impiego<sup>3</sup>.



### **3.1.5.25 Segmented Timber Shell, Rosenstein Museum**

Questa struttura, progettata e realizzata grazie alla collaborazione tra Institute for Computational design (ICD), Institute of Building Structures and Structural Design (ITKE) e l’Institute of Structural Mechanics (IBB) dell’università di Stoccarda, per il Rosentein Museum, è composta da pannelli di plywood aventi spessore di 2 cm, uniti attraverso viti e bulloni, a formare una struttura a guscio particolarmente resistente, anche nei punti deboli di giunzione tra le diverse lastre<sup>[64]</sup>.

Fig. 148: Segmented Timber Shell, Rosenstein Museum, Università di Stoccarda, 2017 (a destra).

Fig. 149: Tallin Architecture Biennale Pavilion, Gilles Retsin Architecture, 2017 (in basso a destra).

Interessante è proprio la modalità di giunzione dei pannelli, realizzati sia attraverso degli incastri a puzzle che attraverso l'utilizzo di viti e bulloni fatti passare attraverso delle fessure appositamente studiate.



Inoltre, per la fase di montaggio sono state realizzate delle centine di sostegno in legno al di sotto della struttura che sono state rimosse al momento del completamento.

**Note:**

65. Lindsey Leardi, *Multi-Functional Lego-Like Plywood Building Blocks Create Limitless Design Solution*, ArchDaily, 2017 (<https://www.archdaily.com/885727/multi-functional-lego-like-plywood-building-blocks-create-limitless-design-solution/>);

### **3.1.5.26 Tallin Architecture Biennale Pavilion**

Il concorso per la realizzazione del padiglione in legno della Biennale di Architettura di Tallin del 2017, è stato vinto dalla Gilles Retsin Architecture di Londra<sup>[65]</sup>.

I 200 partecipanti sono stati chiamati alla realizzazione di un padiglione sfruttando le conoscenze maturate nel campo delle costruzioni in legno, intersecandole con creatività e innovazione.

Il progetto vincitore, presentava una struttura a blocchi, in compensato, con diverse possibilità di assemblaggio. I blocchi, progettati in relazione alle dimensioni massime dei fogli, 3,3x1,35 m, attraverso l'utilizzo di materie prime locali, hanno infinite possibilità di composizione, tramite connessioni a 45, 90 o 135 gradi. Gli 80 blocchi costituenti la struttura finita, sono stati assemblati in quattro giorni da quattro uomini senza l'utilizzo di alcuna attrezzatura meccanica.



### 3.1.5.27 Parabolic Plywood Office

Situato in Indonesia, a Alam Sutera, questo complesso sistema di uffici, realizzato all'interno di un edificio esistente, utilizzando pannelli strutturali in compensato, che si estende per 2540 m<sup>2</sup>, è un percorso permeabile, leggero e alternativo che allo stesso tempo dota ai singoli uffici di cui è composto, una certa privacy e tranquillità.

L'ambiente interno si configura come una struttura a scaffali in compensato, che nel suo percorso, crea un'onda interna fatta da spazi e luci che variano durante lo spostamento. La struttura in compensato prosegue fino al soffitto, dove viene creato un "wuffle" in compensato con moduli da 60x60 cm che vanno a coprire l'impiantistica e danno un senso di omogeneità alla struttura [66].



Fig. 150: Parabolic Plywood Office, Alam Sutera, Indonesia, 2017 (a lato);

### 3.1.5.28 ACES Treehouse

Situata nella riserva naturale di Hallam Lake, in Colorado, questa piattaforma sopraelevata, frutto del lavoro dello studio Charles Cunniffe Architects (CCA), è stata realizzata con compensato tagliato con macchine a controllo numerico [67]. Nata al di sopra di una preesistenza ormai in condizioni irrecuperabili, la nuova struttura, si poggia su quattro pilastri recuperati e viene utilizzata per avvicinare i bambini al mondo della natura, permettendo loro di vedere ed imparare a conoscere flora e fauna presenti nel bosco.

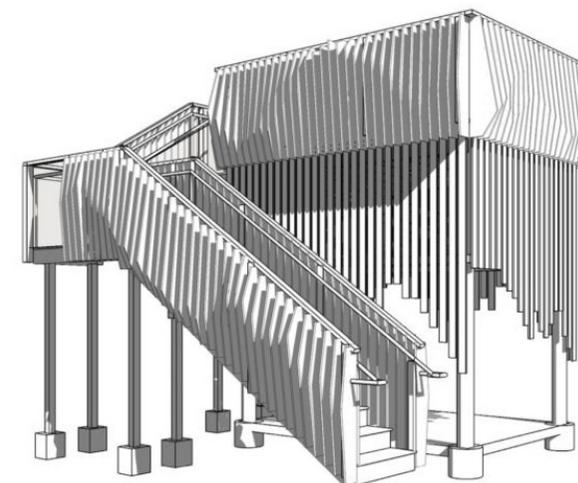


Fig. 151: ACES Treehouse, CC Architects, Hallam Lake, Colorado, 2018;

### 3.1.5.29 Wander Wood Pavilion

Il padiglione, completato nell'Ottobre del 2018, è il risultato del workshop per studenti di architettura Robot Made: Large-Scale Robotic Timber Fabrication dell'Università della British Columbia a Vancouver <sup>[68]</sup>.

Il padiglione è stato fabbricato e assemblato in poco più di tre giorni utilizzando un robot industriale a 8 assi. Il legno è stato scelto come materiale da costruzione per le sue caratteristiche di sostenibilità ambientale e la sua capacità di immagazzinare carbonio.

Il workshop si poneva l'obiettivo di dimostrare agli studenti quanto, la progettazione parametrica e la fabbricazione robotizzata, siano strumenti molto utili nella progettazione e realizzazione di strutture ad alte prestazioni, aventi inoltre una certa complessità formale.



Fig. 152: Wander Wood Pavilion, Università della British Columbia, Vancouver, 2018;

### 3.1.5.30 Exoskeleton Pavilion

L'Exoskeleton Pavilion dimostra come con l'ausilio di software CAM si possano creare rapidamente dei prototipi funzionali. Basandosi infatti sulla ripetizione di alcuni moduli di dimensioni differenti, questo "esoscheletro" in compensato, è un insieme di componenti tagliati con un router a controllo numerico, uniti con semplici giunti senza l'utilizzo di viti o chiodi <sup>[69]</sup>. Seguendo un approccio "Bottom-Up", cioè dal basso verso l'alto, senza basarsi su tipologie strutturali precedentemente definite, e utilizzando come base di sviluppo la prototipazione dei componenti seguiti da alcuni test fisici, si è arrivati alla realizzazione di una struttura del tutto innovativa, con una sua personalità e specificità. Alla base di tutto, vi è stato l'utilizzo delle tecnologie CAM (Computer Aided Manufacturing) che hanno permesso una veloce fabbricazione di diverse tipologie di prototipi in relazione ai diversi sviluppi.

Il progetto, avendo fondi limitati, ha dovuto concentrarsi in primis sul materiale per la realizzazione, il compensato in questo caso è stato scelto sulla base delle sue caratteristiche fisiche e prestazionali oltre che per la sua facilità di lavorazione e la sua accessibilità in termini monetari. Le tipologie di connessione scelte tra i diversi pannelli sono state, giunti scorrevoli, eleganti e senza la necessità di inserire viti o chiodi, e delle fascette.

Fig. 153-154: particolare costruttivo e immagine complessiva del Exoskeleton Pavilion, 2018 (a lato);



### **3.1.5.31 Pl(a) plywood Workshop**

L'esperienza, vissuta in prima persona, presso il Politecnico di Torino, nell'ambito di un workshop didattico promosso dal professore Guido Callegari (architetto, professore associato e ricercatore di tecnologia dell'architettura presso il Dipartimento di Architettura e Design del Politecnico di Torino), si è posta come obiettivo la realizzazione di un padiglione dimostrativo della qualità, della sostenibilità e delle capacità strutturali, del compensato per la realizzazione di strutture abitative.

Il workshop, si è sviluppato in tre fasi distinte:

1. la prima ha previsto la composizione di 6 team di progetto formati ognuno da due studenti frequentanti la Laurea Magistrale in Architettura presso il Politecnico di Torino e con la redazione di 6 diverse proposte progettuali;
2. la seconda ha decretato la proposta vincitrice e la progettazione 1:1, attraverso anche alla realizzazione di alcuni prototipi in scala l'unione dei diversi team per lo sviluppo di elaborati tecnici, grafiche, aspetti organizzativi e di trasporto;
3. la terza, svoltasi a Milano all'interno del Palazzo Giureconsulti, è stata la realizzazione del padiglione in occasione del convegno "*La sostenibilità d'impresa. Innovazione, Ricerca, Ambiente, Progetto, Certificazioni*" tenutosi il 17 Ottobre e organizzato da Panguaneta <sup>[70]</sup>.

La prima fase, come precedentemente detto, ha portato in soli due giorni di lavoro allo sviluppo di 6 diverse proposte progettuali, che sono state presentate ad una giuria esterna formata da alcuni rappresentanti della ditta Panguaneta. I lavori in questa prima fase hanno previsto anche la realizzazione di un modello in scala per iniziare ad intuire forma, possibili connessioni, modalità di assemblaggio dei diversi componenti e possibili problematiche relative alla produzione. Dopo l'attenta analisi delle 6 proposte, il padiglione

denominato “*Walking on Plywood*” è stato scelto come progetto da realizzare e portare al convegno. La seconda fase, ha visto la formazione di un unico team di lavoro, formato dai 12 studenti partecipanti al workshop, per gli ultimi tre giorni di analisi critica del progetto, individuazione delle problematiche, realizzazione dei nuovi particolari costruttivi, realizzazione di due modelli in scala, individuazione di aziende per il taglio con router CNC, realizzazione delle grafiche e organizzazione generale del trasporto del materiale presso il Palazzo Giureconsulti di Milano il 16 Ottobre. La terza e ultima fase, svoltasi a Milano, è stata l’assemblaggio del padiglione, attraverso il lavoro di un gruppo di 10 persone, con l’utilizzo di due martelli di gomma e una scala, in un tempo totale pari a circa 3 ore. Il padiglione, realizzato interamente in compensato Tutto-Pioppo Panguaneta, di spessore pari a 20 mm, ispirato ad alcuni dei sistemi costruttivi richiamati in precedenza, quali Facit Homes (al punto 3.1.2.11) e Wikihouse (al punto 3.1.2.22), era formato da 291 pezzi tagliati con macchina a controllo numerico. Tre portali, aventi diverse inclinazioni del traverso superiore, formavano la struttura principale, con connessioni alla base e in elevazione che rendevano la struttura solidale. L’assemblaggio è stato realizzato completamente a secco, attraverso alcune tipologie di incastro semplice.

**Note:**

70. <https://www.panguaneta.com/fr/444-news-italiano/1038-speciale-convegno-la-sostenibilita-di-impresa-16-ottobre>;

si riportano di seguito i link di due video esplicativi dell’esperienza:  
<https://www.youtube.com/watch?v=uW-dwNBuI0Bs>;  
<https://www.youtube.com/embed/QBAXMzgD98s?rel=0&showinfo=0>;

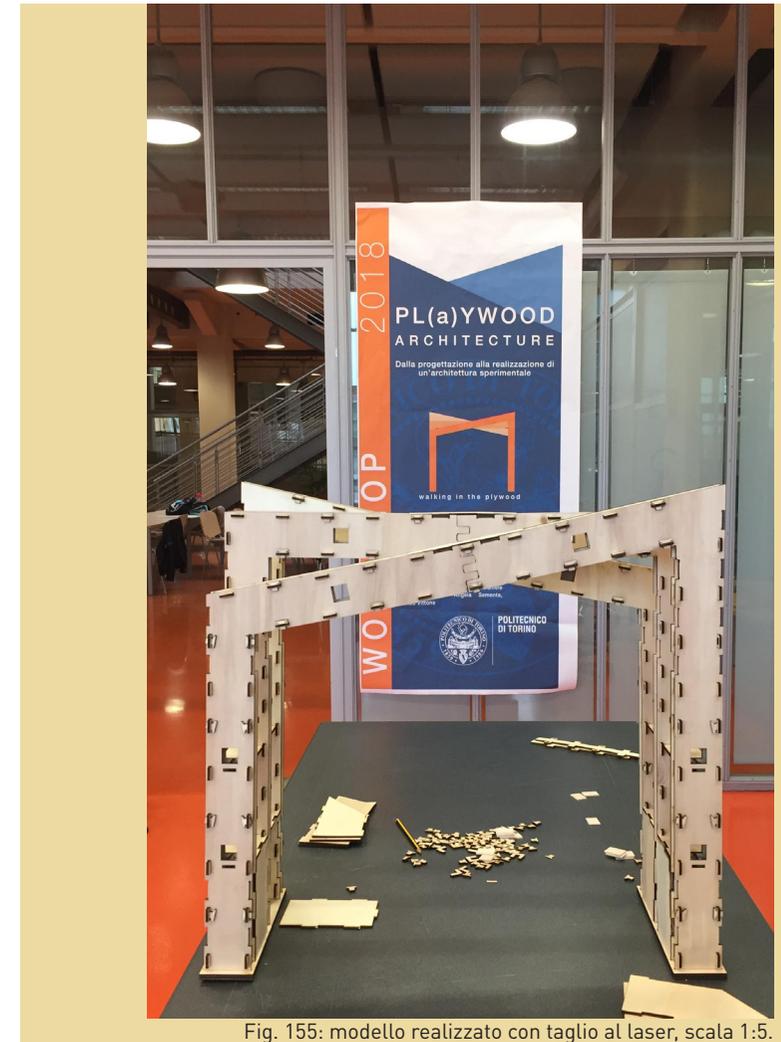


Fig. 155: modello realizzato con taglio al laser, scala 1:5.



Fig. 156: render progettuale del padiglione realizzato.



Fig. 157: studenti partecipanti al Workshop: Matteo Vittone, Daniele Pascarella, Meri Jakova, Alessandro Biagioli, Mariasole Ballerini, Simone Nardi, Martina Carle, Elena Costanzo, Irene Chegai, Roberta Azzarelli, Giulia Angela Sementa e Gian Luca Meli. Fase 1: redazione e modellazione delle proposte progettuali. Il lavoro è stato coordinato da: prof. Guido Callegari, prof. Paolo Simeone, prof.ssa Chiara Corsico, Prof. Marco Negro.

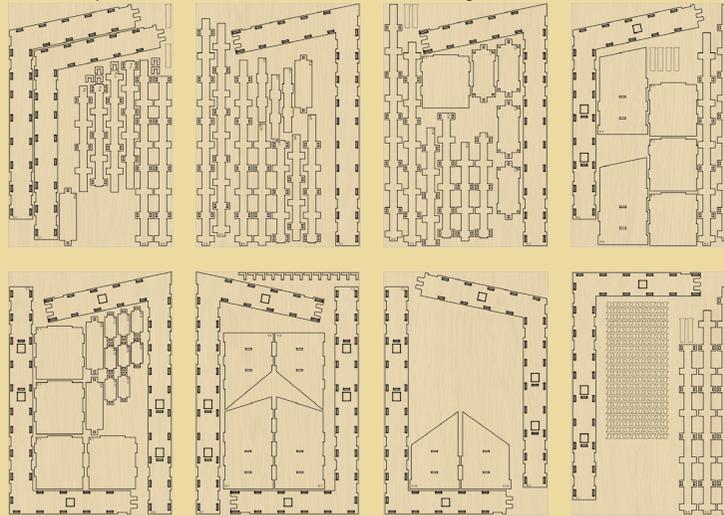


Fig. 158: file di taglio per macchina a controllo numerico.

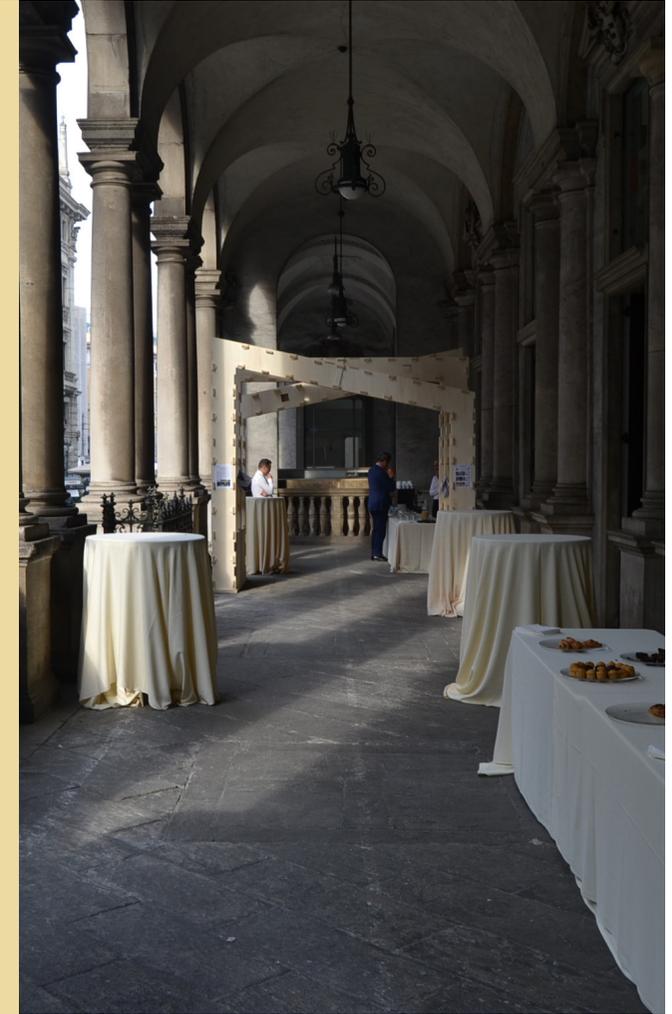


Fig. 159: prodotto finale, assemblato e presentato a Milano.

### 3.1.6 Analisi Tecnologica delle architetture sperimentali: PLYWOOD PAVILIONS (TimeLine dal 1900 al 2019)

A scopo riassuntivo viene elaborata e riportata una linea del tempo delle più significative sperimentazioni nel campo dell'architettura realizzate in compensato.

Elaborazione di:  
Matteo Vittone



Chicago Century of Progress World's Fair    Golden Gate Exposition, San Francisco    New York World's fair

1933

1939

1939

Paul Cret  
"Hall of Science"



"US Federal Building"



Alvar e Aino Alto  
"Finland Pavilion"



2000

2006

2007

2008

Architecture Association School

"Fractal Pavilion"



"Bad Air Pavilion"



"Swoosh Pavilion"



STRUTTURA AD INCASTRO\*

UNIONI MECCANICHE\*\*

TAGLIO MANUALE

DIGITAL TECHNOLOGY - CNC

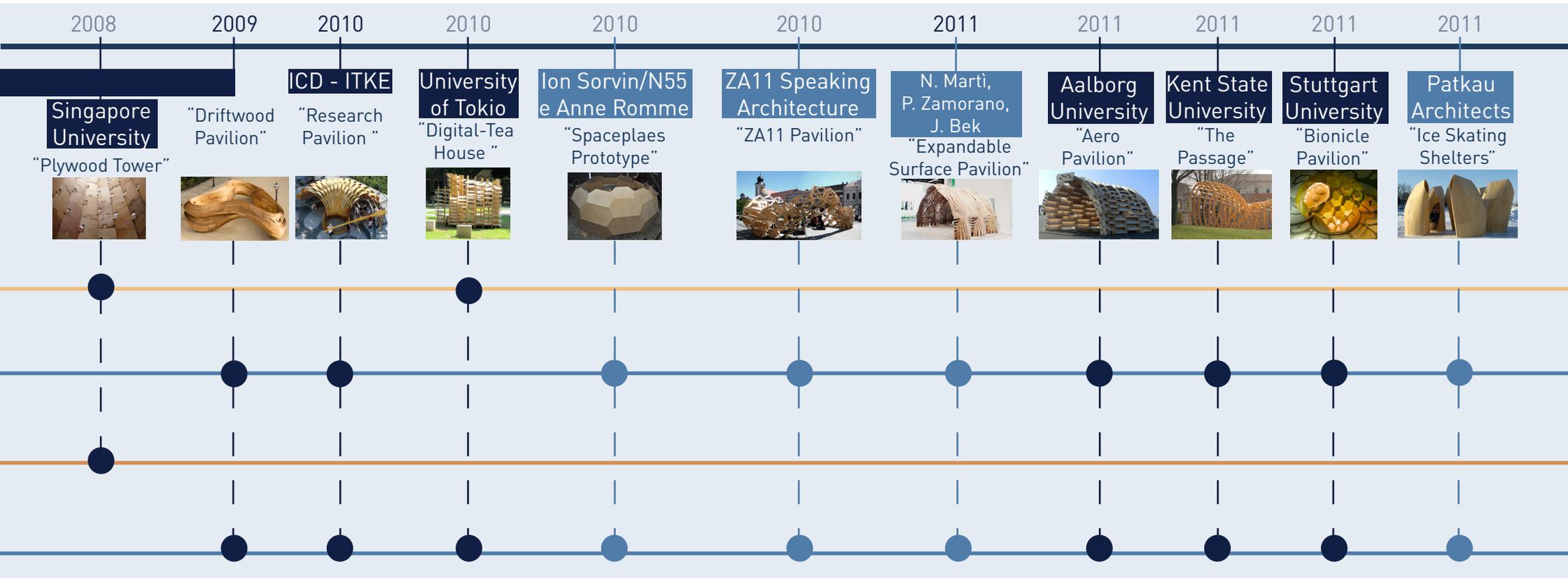
LEGENDA:

- Aziende/Imprese
- Studi di architettura/Architetti/Designer
- Università/Studi

NOTE:

- \*\_ Strutture con incastro semplice, legno-legno;
- \*\*\_ Strutture con unione meccanica dei componenti, con l'utilizzo di viti, placche, chiodi, oppure incollaggio degli elementi.

# 2000



### 3.1.6 Analisi Tecnologica delle architetture sperimentali: PLYWOOD PAVILIONS (TimeLine dal 1900 al 2019)

Elaborazione di:  
Matteo Vittone



2000

2012      2012      2012      2012      2014      2015      2015      2016

**MVRDV**  
"Beagle House"



E. Keskinarja,  
K. Crolla,  
S. Delagrang,  
P. Tynkkynen  
"Dragon Skin Pavilion"



**EmTech (AA)**  
"ETH Pavilion"



**WoodLAB  
Polito**  
"Monalisa Wood Pavilion"



**Stuttgart University**  
"Landesgartenschau Exhibition Hall"



**TOMA!**  
"The PortHole"



**ICD - ITKE**  
"Research Pavilion"



**University of the West of England**  
"UWE Digital Design Research Unit Pavilion"



STRUTTURA AD INCASTRO\*

UNIONI MECCANICHE\*\*

TAGLIO MANUALE

DIGITAL TECHNOLOGY - CNC

LEGENDA:

- Aziende/Imprese
- Studi di architettura/Architetti/Designer
- Università/Studi

NOTE:

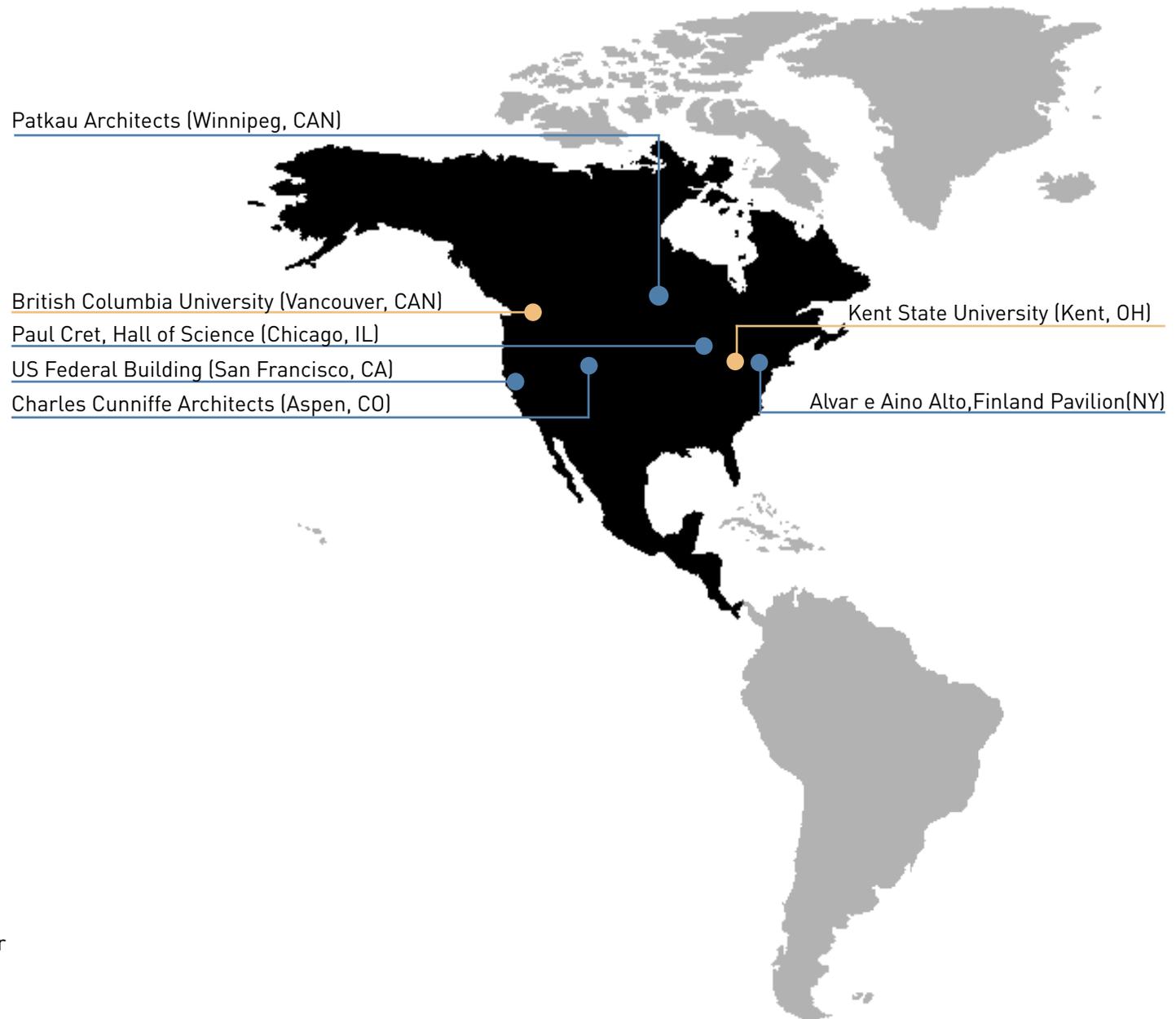
- \*\_ Strutture con incastro semplice, legno-legno;
- \*\*\_ Strutture con unione meccanica dei componenti, con l'utilizzo di viti, placche, chiodi, oppure incollaggio degli elementi.

TimeLine

# 2000



### 3.1.7 Inquadramento architetture sperimentali: PLYWOOD PAVILIONS in ambito internazionale



ICD - ITKE, Stuttgart University (Stoccarda, DEU)

Aalborg University (DNK)

N. Martì, P. Zamorano, J. Bek (Colonia, DEU)

MVRDV (Rotterdam, NL)

AA School (Londra, UK)

Margin (Londra, UK)

Gilles Retsin Architecture (Londra, UK)

University of the West of England (Bristol, UK)

T. Van Dousselaere, S. Van Geeteruyen (Bruxelles, BEL)

TOMA! (La Grande Motte, FRA)

PoliTO, WoodLAB PoliTO (Torino, ITA)

ZA11 Speaking Architecture (Cluji, ROU)

Ion Sorvin/N55 e Anne Romme  
(Copenhagen, DNK)

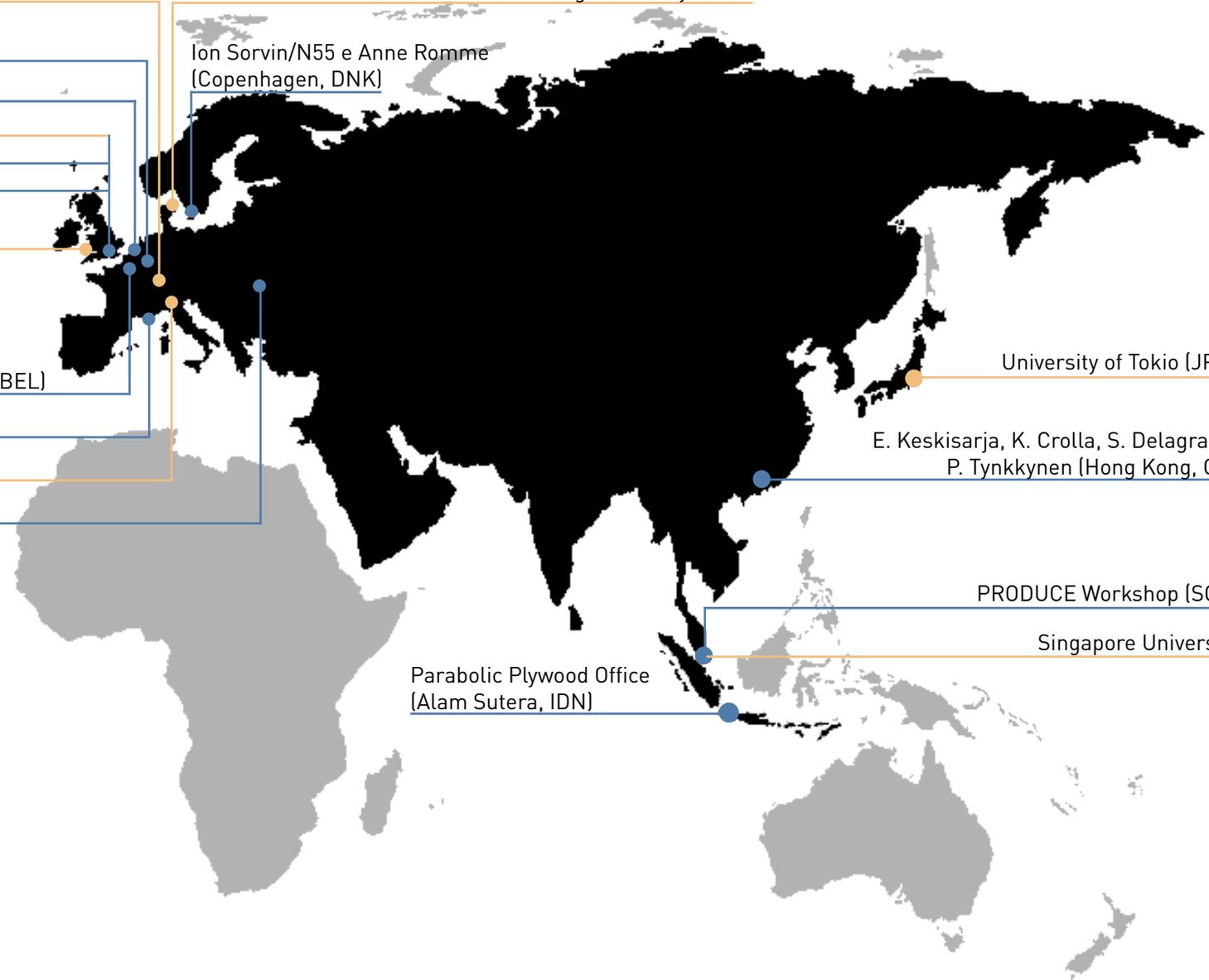
University of Tokio (JPN)

E. Keskisarja, K. Crolla, S. Delagrang,  
P. Tynkkynen (Hong Kong, CH)

PRODUCE Workshop (SGP)

Singapore University

Parabolic Plywood Office  
(Alam Sutera, IDN)



### **3.1.8 Digital Fabrication**

*“Dalla possibilità di conciliare finalmente prefabbricazione e personalizzazione della produzione, fino alle prospettive della robotica, l’architettura è segnata da rapidi cambiamenti nel contesto produttivo. Questo contesto potrebbe benissimo portare a una ridefinizione dell’identità professionale dell’architetto, oltre a modificare la natura della sua produzione”*

2004, Picon A., Architecture and The Virtual Towards, PRAXIS

Le recenti applicazioni nel campo architettonico e non solo, legate al compensato, come si può evincere anche dalle diverse TimeLine sviluppate ai punti precedenti, sono frutto di un avanzamento digitale e tecnologico che ha visto un crescente utilizzo di tecnologie computerizzate per la progettazione, la realizzazione e in particolare il taglio degli elementi costruttivi.

Per questo motivo, dopo aver illustrato la crescita tecnologica e lo sviluppo di innovative forme di impiego di questo materiale, segue un breve riassunto inerente all’innovazione tecnologica iniziata durante il periodo della seconda guerra mondiale.

Questo paragrafo, ha il compito di illustrare questo sviluppo digitale, avvenuto negli ultimi sessant’anni e introdurre il concetto che sta dietro alla digitalizzazione dell’architettura, fondamento sul quale si basano i diversi sistemi costruttivi sviluppati, dove il compensato assolve i compiti strutturali.

#### **3.1.8.1 La nascita delle macchine a Controllo Numerico (CNC)**

La storia dei computer ha inizio nel periodo della seconda guerra mondiale, associato alla decifrazione di codici segreti bellici da parte di Alan Turing in Inghilterra, con il sistema *Colossus*, Konrad Zuse in Germania, e ENIAC, il primo elaboratore digitale americano del 1943; saranno proprio gli americani, nel 1949 ad applicare queste innovazioni nel campo industriale, in particolare con il finanziamento da parte dell’US Air Force dello sviluppo della prima tecnologia a Controllo Numerico per trasferire il lavoro manuale ad un computer. Fin da subito verrà riconosciuta la grande potenzialità di questo nuovo sistema, il quale permetteva ad una macchina seguita da un supervisore di sostituire il

lavoro manuale di un operaio specializzato. In seguito, la Parsons Corporation, finanziata sempre dall'US Air Force svilupperà la prima fresatrice a tre assi controllata da un computer, la "*Card-a-matic Milling Machine*".

La "*Card-a-Matic Milling Machine*" si basava su uno schema di funzionamento che può essere tranquillamente traslato ai giorni nostri, per le macchine a controllo numerico moderne; era infatti composta da:

1. Una fresatrice tradizionale con tre assi di movimento, ognuno avente un servomotore dedicato;
2. Un processore digitale a controllo dei singoli motori, soprannominato "*The Director*" o unità di governo;
3. Un computer, che legge il programma, lo elabora in istruzioni e lo tramette all'unità di governo.

I vantaggi, noti fin da subito erano i seguenti:

1. Riduzione delle tempistiche di lavoro;
2. Aumento della produttività;
3. Riduzione della manodopera specializzata, con conseguente riduzione delle spese per l'azienda;

4. Elevata precisione del processo con maggior uniformità di lavorazione e standardizzazione;

5. Ottimizzazione e riduzione degli scarti;

6. Utilizzo di una sola macchina utensile, un centro di lavoro, invece di diverse macchine specializzate in una sola lavorazione.

Le note negative erano le complicate fasi di programmazione della lavorazione e in seguito, le fasi relative all'assemblaggio dei componenti.

Il campo dell'industria rimarrà restio all'investimento sulle macchine a controllo numerico e sarà nuovamente, nel 1956 la US Air Force, a commissionare a diverse aziende lo sviluppo di alcune nuove macchine utensili.

Il grosso problema che impediva a questa tecnologia di diffondersi era il costo di questi nuovi sistemi, che effettivamente erano formati da diversi sistemi tecnologici d'avanguardia per l'epoca, che neanche le multinazionali aeronautiche potevano permettersi.

Negli anni sessanta la US Air Force sostenne un investimento di circa 62 milioni di dollari per l'acquisto, l'installazione e l'assistenza di nuovi sistemi di lavorazione

a controllo numerico presso i suoi principali fornitori con l'adozione di sistemi di programmazione APT (Automatically Programmed Tools).

A questa nuova tecnologia di lavorazione, negli anni sessanta vengono associati in primis i sistemi CAD (Computer-Aided Design), che forniscono un campo virtuale di disegno intuitivo e maggiormente idoneo al lavoro di progettisti e disegnatori, e in seguito i software CAM (Computer-Aided Manufacturing), che possono operare insieme ai sistemi CAD permettendo l'associazione di caratteristiche utili al processo di lavorazione, le caratteristiche dei materiali e delle relative macchine utensili.

Il passaggio di questi nuovi sistemi di produzione, dalle multinazionali alle piccole e medie imprese (PMI), avvenne gradualmente, con l'avanzare della tecnologia e la relativa discesa dei prezzi.

Qualsiasi sia il materiale, acciaio o compensato, o altro, il concetto di lavorazione si basa sulla rimozione di materiale da un blocco per fabbricare il pezzo progettato.

Il metodo di lavorazione di massa si basa su diverse unità di processo:

1. Foratura;
2. Fresatura;
3. Tornitura;
4. Rettifica (lucidatura);
5. Erosione;

Di certo, per la realizzazione di un prodotto finito si ha la necessità di predisporre una sequenza di unità di processo. Vi è la necessità quindi di integrare diverse singole unità di processo.

### **3.1.8.2 La digitalizzazione dell'architettura**

Diversi sono i campi d'applicazione e le tipologie di applicazioni intraprese in architettura; esperienze di processi integrati nel mondo dell'edilizia sono stati sviluppati in Giappone, dove la manodopera ha un costo molto elevato e quindi si trae un certo vantaggio nella realizzazione integrata di interi piani di edifici per opera di computer (sistemi CIM, Computer Integrated Manufacturing). Uno dei progetti pilota in questa tipologie di applicazione è il *Shimizu Manufacturing System* della

#### **Note:**

71. Luca Caneparo, *Fabbricazione digitale dell'architettura: il divenire della cultura tecnologica del progettare e del costruire*, pp. 149-171, Angeli, Milano, 2012;

*Advanced Robotics Technology*, che si basa su un metodo di costruzione piano per piano con l'utilizzo di robot. Due sedi bancarie sono state realizzate con questa tecnologia, a Nagoya nel 1993 e in seguito a Yokohama<sup>[71]</sup>.

Per quanto riguarda il semplice taglio o incisione di fogli di compensato invece, è sufficiente un router CNC a tre assi (X,Y,Z), gestito da un pc; oggi sul mercato, queste tipologie di macchinari, con un piano di lavoro di 1,22x2,44 m (dimensioni dei fogli di compensato standard), hanno un prezzo che varia dai 400 ai 20000 euro, in relazione alle prestazioni volute in termini di precisione, scarto, modalità e velocità di lavorazione, ecc...

In relazione a questo, come si evince dallo studio e dalla ricerca intrapresa in questa tesi, le ultime realizzazioni in termini architettonici si basano proprio sull'utilizzo di software per la progettazione e modellazione 3D, accompagnati da algoritmi e sistemi vettoriali, e macchine o router a controllo numerico per il taglio dei componenti in compensato. Questo sistema di progettazione e produzione è alla base degli innovativi sistemi costruttivi ideati da WikiHouse e FacitHomes in primis, seguiti da start-up, aziende, progettisti e team universitari.

Nel prossimo capitolo verranno analizzati e messi a confronto i principali sistemi costruttivi sviluppati negli ultimi anni basati sull'utilizzo strutturale del compensato.



## **CAPITOLO 4**

Plywood architecture:  
sistemi costruttivi e prospettive applicative future

In quest'ultimo capitolo viene proposta una classificazione e un confronto, nonché un'analisi, dei sistemi costruttivi nati negli ultimi anni, basati sull'utilizzo del legno compensato per funzioni strutturali in campo architettonico.

La ricerca, attraverso un'ampia bibliografia e una ancor più ampia sitografia ha permesso la redazione di un percorso interdisciplinare attraverso i casi studio ritenuti più significativi. In relazione alle diverse categorie, sono state redatte alcune TimeLine riportanti dati, caratteristiche e curiosità, ritenuti importanti, individuati durante lo studio. Si propone in questo capitolo un ulteriore passo in relazione agli sviluppi architettonici

delle costruzioni in compensato, dovuti al contributo fornito da software, computer e più in generale dalla digitalizzazione dell'architettura. Si è giunti infine ad un confronto e ad un'analisi dal punto di vista tecnico, tecnologico, architettonico, strategico e compositivo, dei sistemi costruttivi di abitazioni con struttura in compensato.

Segue quindi una prima classificazione sperimentale, basata sui casi studio precedentemente elencati al punto **3.7.2 Utilizzo del compensato in campo architettonico: HOUSING** incontrati durante il percorso di tesi. L'obiettivo è quello di mettere ordine all'interno di diversi casi studio, dando una definizione dei sistemi costruttivi sperimentali e innovativi utilizzati, individuando le diverse modalità e tipologie costruttive.

I casi studio sono stati quindi classificati in relazione al sistema utilizzato, operazione particolarmente complessa, perchè, il più delle volte presentano delle influenze trasversali, rappresentando uno l'evoluzione dell'altro, con l'apporto di alcune migliorie, perfezionamenti, modifiche di alcuni dettagli al fine di migliorarne le prestazioni e le funzionalità, velocizzarne e facilitarne le operazioni di assemblaggio e quelle di smontaggio, o migliorando e ottimizzando l'integrazione con le componenti impiantistiche.

## **4.1 Sistemi costruttivi: ricerca**

In relazione alle caratteristiche dei casi studio presi in esame nel capitolo 3.7, frutto di una accurata ricerca all'interno di una vasta bibliografia e sitografia, si è tentato di individuare i modelli costruttivi ai quali ognuno di essi si è ispirato o di cui ne rappresenta l'evoluzione. Essendo l'utilizzo del compensato ai fini architettonici-strutturali, un nuovo filone dell'architettura, e in particolare dell'architettura digitale, non vi è grande chiarezza sui principali sistemi costruttivi sviluppati, utilizzati e da poter utilizzare per la realizzazione di un qualsiasi manufatto.

Per rintracciare quindi i sistemi costruttivi principali, ideati ed utilizzati in campo sperimentale dalle università ma anche nel campo delle abitazioni private, da architetti e imprese, una volta raggruppati i casi studio, individuatene le caratteristiche principali e aver fatto una prima suddivisione tra le costruzioni che veramente utilizzano il compensato con funzioni strutturali e quelle che invece si avvalgono di telai strutturali portanti interni, si è proceduto ad una classificazione sperimentale e del tutto inedita dei sistemi costruttivi utilizzati fino ad oggi.

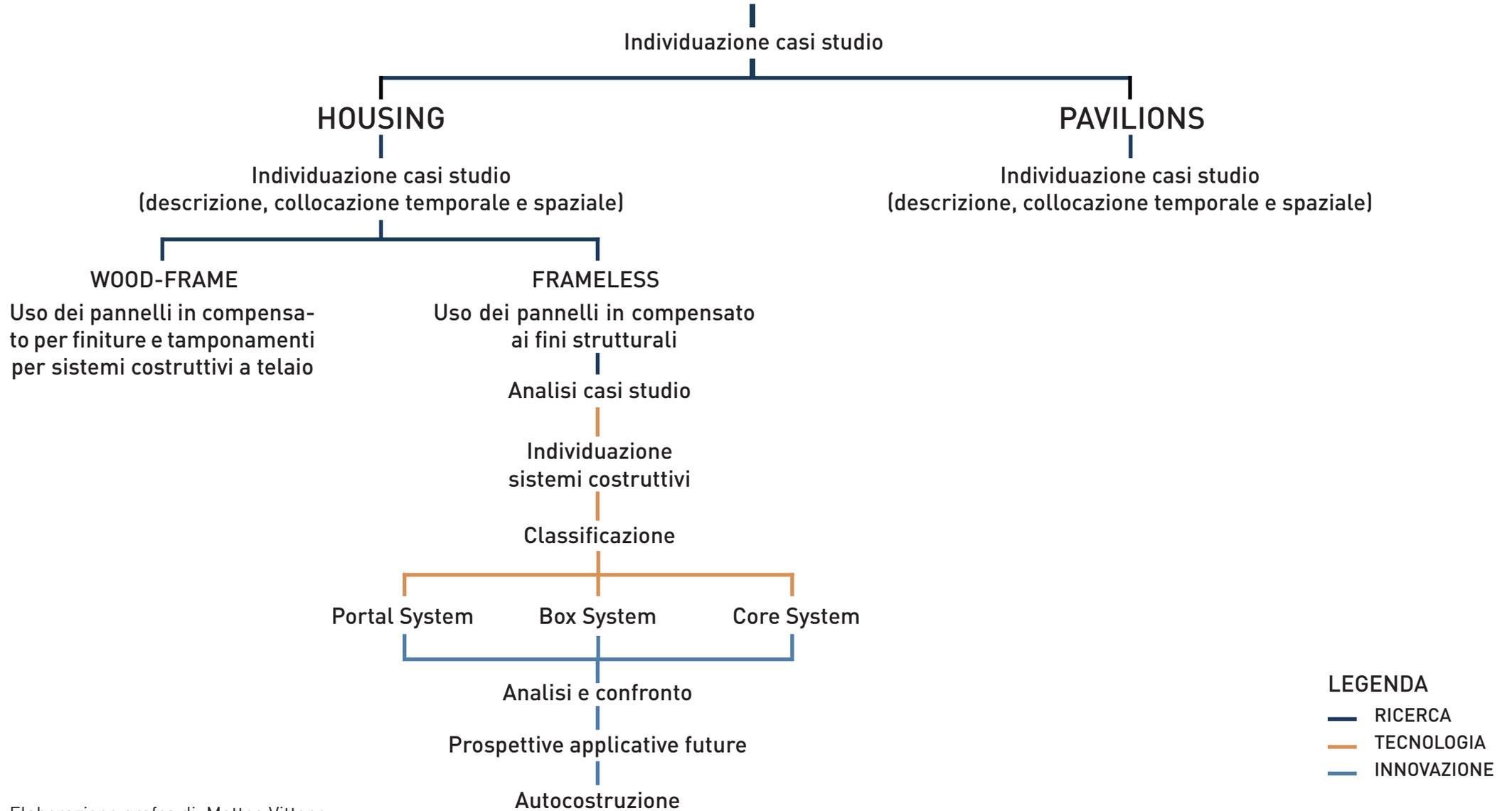
In primis quindi sono stati esclusi tutti quei sistemi costruttivi che, seppur presentati al punto 3.7 non si basavano su di una struttura in compensato ma neces-

sitavano di un sostegno strutturale fornito da un altro materiale (legno, acciaio, ecc...), dopo di che, si è passati alla selezione dei casi studio, l'individuazione dei diversi sistemi costruttivi, la loro nomenclatura e infine alla definizione degli stessi, elencandone le caratteristiche principali.

Si è ritenuta necessaria una definizione dei diversi sistemi costruttivi utilizzati e utilizzabili per realizzare strutture in compensato, per proporre un seguente sviluppo e al fine di fornire una base necessaria per chiunque voglia investire su queste tipologie costruttive innovative, sostenibili, green e digitali. In Italia, ad oggi, nessuna azienda ha intrapreso una strada di sviluppo e applicazione effettiva del compensato come materiale strutturale per la realizzazione di abitazioni o moduli abitativi.

A differenza della Gran Bretagna, dove alcune aziende, quali Facit Homes e WikiHouse, hanno iniziato ad investire sul compensato e sul suo utilizzo ai fini strutturali, in Italia ancora nessuno si è mosso in questo senso, se non Università o ricercatori con realizzazioni sperimentali o frutto di Workshop progettuali o concorsi.

# Utilizzo del compensato in campo architettonico



Elaborazione grafica di: Matteo Vittone

## 4.2 Sistemi costruttivi: tecnologia

I sistemi costruttivi per case in legno, ad oggi conosciuti e definiti come tali sono <sup>[1]</sup>:

\_Platform Frame;  
\_X-LAM;  
\_Telaio;  
\_BlockBau;

tra questi, potrebbe essere inserito anche l'innovativo e per ora sperimentale sistema basato su pannelli in compensato strutturali. Forse, ancora troppo presto, sia per la sua accettazione da parte dell'acquirente, sia per la sua accettazione dalle principali aziende del settore che, per lo meno in Italia non si sono ancora mosse in questa direzione, il sistema costruttivo in compensato strutturale dovrebbe entrare di diritto nei principali sistemi costruttivi in legno per la realizzazione di abitazioni.

Questo sistema costruttivo, tutt'ora sperimentale e in fase di sviluppo, non presenta sempre le stesse caratteristiche in tutte le applicazioni nelle quali è stato utilizzato; infatti, ricercatori, studiosi, Università, architetti, designer e ingegneri hanno intrapreso spesso percorsi diversi per ottenere dal compensato uno stesso risultato, quello della realizzazione di abitazioni sperimentali, sostenibili, salubri e architettonicamente valide e sicure.

Il percorso effettuato, all'interno dei casi studio analizzati, ha evidenziato proprio queste differenze sostanziali nella progettazione e nell'applicazione dello stesso pannello in compensato al fine di realizzare dei moduli abitativi. Si è giunti quindi, in seguito ad un attento confronto e studio dei diversi progetti presi in esame, alla definizione di tre principali sistemi costruttivi con compensato strutturale.

Il primo, definito **"Portal System"**, basato su portali strutturali e elementi secondari di connessione, di irrigidimento e utilizzati come tamponamento, è un sistema utilizzato principalmente da WikiHouse, e in seguito ripreso, rinnovato, modificato e personalizzato, dalla stessa WikiHouse, da WillBeHouse in Russia, da Hiroto Kobayashi nelle *Veneer Houses*, da Miller Kendrick Architects nella *Arthur's Cave*, dalla Clemson University nella *Indigo Pine House* presentata alla Solar Decathlon del 2015 e dal Politecnico di Torino nel centro Polifunzionale *Accupoli*.

Il secondo, definito **"box system"** ideato e utilizzato da FACIT HOMES, si differenzia apertamente dagli altri per la realizzazione di abitazioni con moduli prefabbricati con conformazione a "box" appunto, e il loro assemblaggio come se si trattasse di mattoncini LEGO®. Come precedentemente detto al punto 3.7.2.9 il siste-

### Note:

1. Gerhard Schickhofer, Andrea Bernasconi, Gianluigi Traetta, **Costruzione di edifici di legno**, Corso base – L'uso del legno nelle costruzioni, Promo\_Legno.

ma costruttivo FACIT HOMES è basato su di un processo progettuale e di produzione denominato *D-PROCESS*, digitale, innovativo e altamente preciso e accurato, che permette, già in fase di progettazione la predisposizione di fori per il passaggio degli impianti.

Il terzo sistema costruttivo individuato, definito “**Core System**”, è un sistema che, racchiude in se una concezione di utilizzo dello spazio abitativo totale, e la fusione della struttura con arredi e vani tecnici. In particolare, è stato individuato come precursore di questo metodo costruttivo, l’architetto giapponese Shigeru Ban, con le sue Furniture House, basate su di una struttura in legno che oltre ad assolvere la funzione di arredo e servizio potessero svolgere anche la funzione strutturale. In questo modo, oltre a salvaguardare lo spazio interno è stato possibile ottimizzare lo spazio occupato dalla struttura che convive efficacemente con l’arredo dell’abitazione. Allo stesso modo è stato sviluppato ad esempio il modulo sperimentale NeighborHub, presentato alla Solar Decathlon del 2017 dal team svizzero, della EPF di Losanna. Questo sistema si basa su alcuni “*core*” appunto, interni che assolvono diverse funzioni, quella strutturale, di arredo e di vano tecnico. Per facilitarne e velocizzarne il montaggio è stata studiata una prefabbricazione dei componenti principali con il preassemblaggio dei componenti strutturali, di coiben-

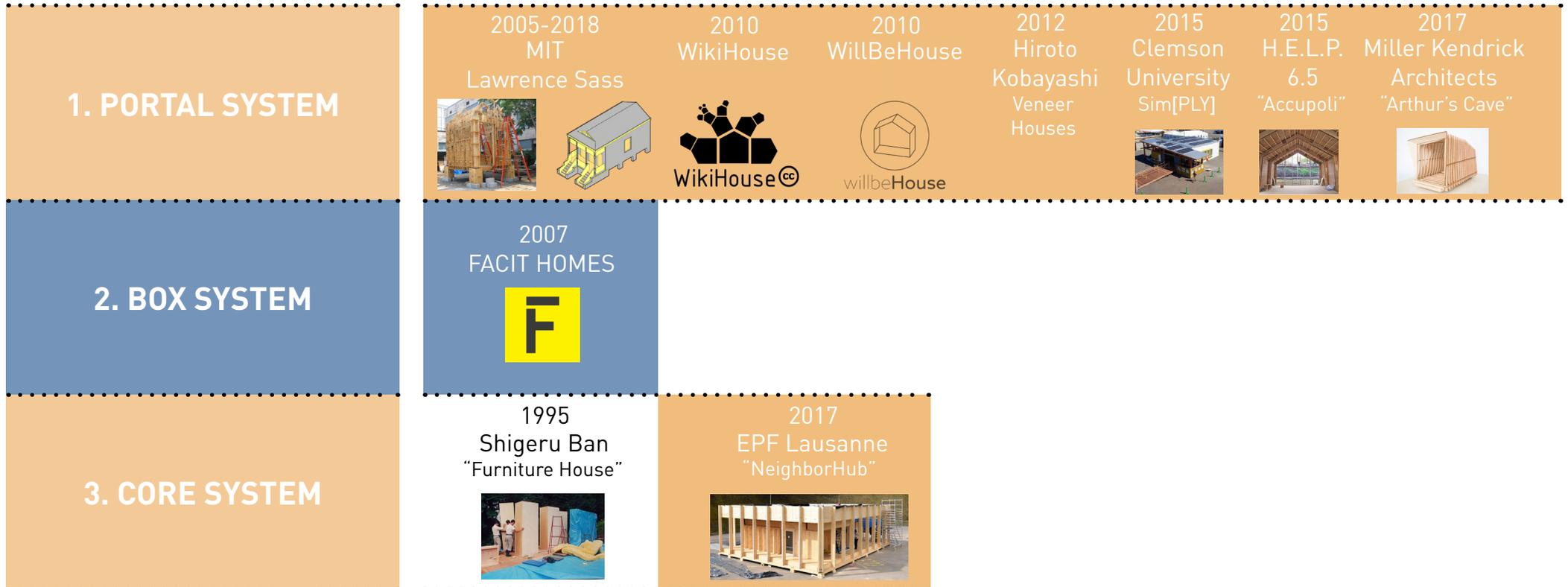
tazione, di ventilazione e impiantistici (plug-and-play).

Infine, sono stati individuati ulteriori sistemi innovativi che però non hanno visto un’ulteriore sviluppo dal punto di vista realizzativo e che si discostano da queste prime tre principali tipologie per quanto riguarda l’uso del compensato e le modalità di sfruttamento del compensato in termini strutturali, con la realizzazione di forme differenti, non riconducibili ai modelli costruttivi precedentemente individuati e che difficilmente possono costituire opzioni perseguibili per la realizzazioni di edifici abitativi se non rivisti e ottimizzati. Ovviamente non si può considerare una classificazione definitiva, infatti, i sistemi costruttivi come è stato illustrato, sono in continuo sviluppo e innovazione; questo potrebbe portare in futuro, all’ampliamento delle tre categorie individuate in questa tesi.

A seguire vengono riportate:

- tabella di classificazione dei casi studio precedentemente evidenziati in relazione al sistema costruttivo utilizzato ed individuato (tabella 4.3 Classificazione);
- descrizione dei principali sistemi costruttivi;
- confronto tra i principali sistemi costruttivi.

## 4.3 Sistemi costruttivi: classificazione



Classificazione redatta da: Matteo Vittone

## 4.3.1 Sistemi costruttivi: *PORTAL SYSTEM*

### CARATTERISTICHE

#### 1. STRUTTURA

Materiale	Compensato di spessore > 18 mm			
Fondazioni	Tipologia:	Puntuali	Platea	Trave radice
	Modalità di posa in opera:	A secco	In opera	

#### 2. COIBENTAZIONE

	Tipologia	Sintetico	Naturale	
	Modalità di posa in opera	Insufflaggio	Incollaggio	Fissaggio
	Posizione	A cappotto interno	Interno alla struttura	A cappotto esterno
	Spessore totale	< 10 cm	10 < x < 20 cm	> 20 cm
	Ponti termici	Punti critici: connessioni fondazione-struttura, parete verticale-copertura		

#### 3. IMPIANTISTICA

	VMC	Presente	Assente
	Sistemi plug-and-play	Presente	Assente
	Predisposizione	In fase di progettazione	In opera

#### 4. GENERALE

Diffusione	Storica	■ ■ □ □ □
	Geografica	■ ■ ■ □ □
Rapidità di costruzione		■ ■ ■ □ □
Produzione	Tipologia	Macchina a controllo numerico, in fase di progettazione bisogna prestare attenzione alla dimensione massima dei pannelli e del piano di lavoro della macchina
Connessioni	Tipologia	Connessioni ad incastro con l'utilizzo di giunti finger-joints e l'utilizzo di viti, chiodi e colla
Mezzi necessari	Tipologia	La realizzazione di un'abitazione classica (ad esclusione delle fondazioni), può essere realizzata da un gruppo di poche persone (4-5) con l'aiuto di martelli, sparachiodi, avvitatore, scala o trabattello.

#### 5. AUTOCOSTRUZIONE

Possibilità di autoproduzione (struttura)	SI	
Possibilità di autocostruzione	SI	(ad esclusione di fondazioni e impiantistica)

---

## IL SISTEMA COSTRUTTIVO

---

### PROGETTAZIONE

Per la progettazione, ci si avvale di software di progettazione digitali, 3D e ad alta precisione al fine di avere un completo controllo sui componenti, sulle misure e sugli incastri strutturali.

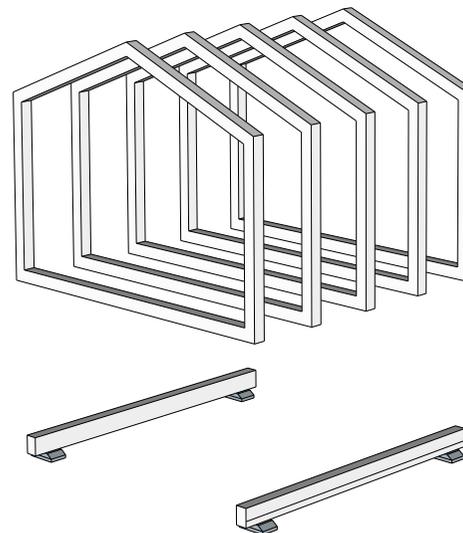
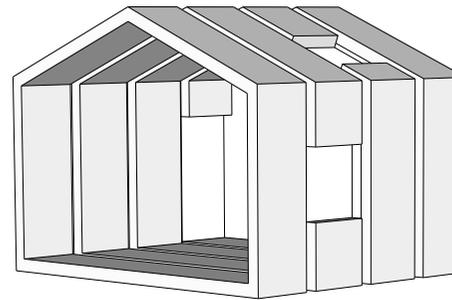
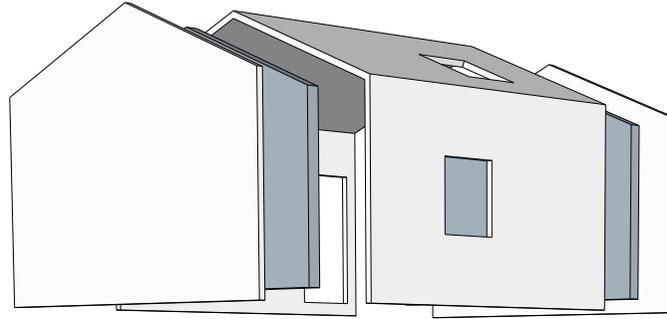
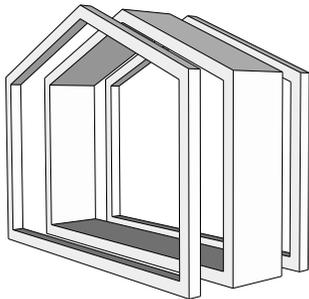
Il software maggiormente utilizzato è SketchUp.

### PRODUZIONE

La produzione dei componenti strutturali in compensato è realizzata attraverso il taglio di fogli di compensato con macchine a controllo numerico, che garantiscono alte precisioni e una riduzione degli scarti di materiale, oltre che una velocità di esecuzione non comparabile con il taglio manuale. Il taglio inoltre è effettuabile da chiunque ed in qualsiasi momento, unico requisito, possedere una fresatrice CNC che possa tradurre i file di taglio in sequenza di taglio. La produzione quindi non richiede manodopera qualificata ma sicuramente uno sforzo progettuale maggiore affinché non vi siano problemi in fase di montaggio.

### UNITÀ COSTRUTTIVA

L'unità costruttiva è rappresentata dall'unione portale-conessione-portale, infatti è la ripetizione di questa singola unità con le sue possibili variazioni a generare l'edificio.



### RIVESTIMENTO

Il rivestimento esterno può essere di tipologie diverse e comprendere anche un cappotto di isolamento oltre che di impermeabilizzazione della struttura, al fine di evitare infiltrazioni d'acqua. Gli infissi devono essere installati con cura, allo stesso modo con i quali vengono installati nelle costruzioni in legno tradizionali.

### TAMPONAMENTO

La struttura interna di tamponamento e di connessione tra i diversi portali strutturali ha il compito di stabilizzare la struttura, oltre che fornire il vano adatto per il collocamento dell'isolante. Gli impianti vengono inseriti in una controparete realizzata con listelli di legno e cartongesso oppure lasciati a vista.

### STRUTTURA

Struttura principale realizzata con portali scatolari in compensato all'interno dei quali viene posizionato dell'isolante già in fase di assemblaggio. L'assemblaggio viene realizzato attraverso incastri semplici e con l'inserimento di viti o collanti.

### FONDAZIONI

Fondazioni puntuali superficiali o profonde in relazione alla tipologia di terreno, sulle quali vengono posizionate delle travi/redice in legno lamellare appositamente protette

## 4.3.2 Sistemi costruttivi: **BOX SYSTEM**

### CARATTERISTICHE

#### 1. STRUTTURA

Materiale	Compensato, OSB, multistrato, spessori > 18 mm			
Fondazioni	Tipologia	Puntuali, profonde	Platea	Trave radice I-Joist
	Modalità di posa in opera	A secco	In opera	

#### 2. COIBENTAZIONE

	Tipologia	Sintetico	Naturale	
	Modalità di posa in opera	Insufflaggio	Incollaggio	Fissaggio
	Posizione	A cappotto interno	Interno alla struttura	A cappotto esterno
	Spessore	< 10 cm	10 < x < 20 cm	> 20 cm
	Ponti termici	Travi I-Joist e connessioni "box" in compensato		

#### 3. IMPIANTISTICA

	VMC	Presente	Assente
	Sistemi plug-and-play	Presente	Assente
	Predisposizione	In fase di progettazione	In opera

#### 4. GENERALE

Diffusione	Storica	
	Geografica	
Rapidità di costruzione		
Produzione	Tipologia	Utilizzo direttamente in cantiere di macchina a controllo numerico, prefabbricazione dei "box" che andranno a comporre la struttura
Connessioni	Tipologia	Connessioni studiate "ad hoc"
Mezzi necessari	Tipologia	La realizzazione di un'abitazione classica (ad esclusione delle fondazioni), può essere realizzata da un gruppo di poche persone (4-5) con l'aiuto di martelli, sparachiodi, avvitatore, scala o trabattello.

#### 5. AUTOCOSTRUZIONE

Possibilità di autoproduzione (struttura)	SI	Alcune problematiche in relazione alle fondazioni e alla travi I-Joist
Possibilità di autocostruzione	SI	Alcune problematiche in relazione alle fondazioni e alla travi I-Joist

---

## IL SISTEMA COSTRUTTIVO

---

### PROGETTAZIONE

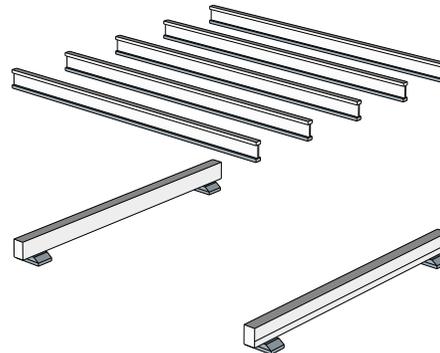
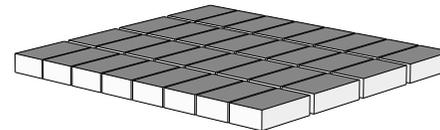
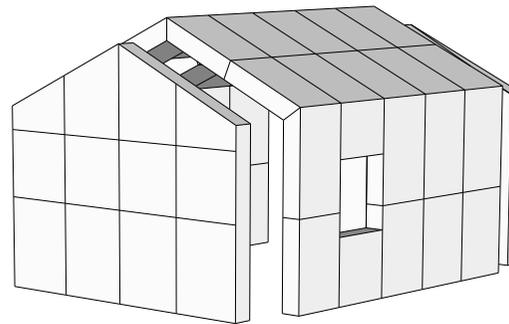
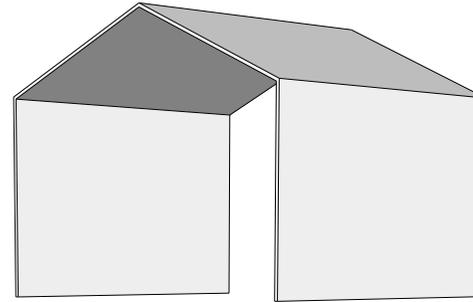
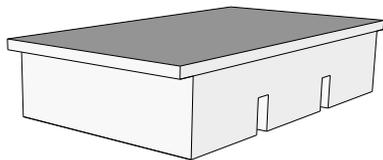
Per la progettazione, ci si avvale di software di progettazione digitali, 3D e ad alta precisione al fine di avere un completo controllo sui componenti, sulle misure e sugli incastri strutturali. Vengono inoltre progettati i fori per l'insufflaggio dell'isolante e quelli per il passaggio degli impianti.

### PRODUZIONE

La produzione dei componenti strutturali in compensato è realizzata attraverso il taglio di fogli di compensato con macchine a controllo numerico, che garantiscono alte precisioni e una riduzione degli scarti di materiale, oltre che una velocità di esecuzione non comparabile con il taglio manuale. Il taglio inoltre è effettuabile da chiunque ed in qualsiasi momento, anche direttamente in cantiere, all'interno di un container nel quale tenere al riparo la macchina di taglio. La produzione non richiede manodopera qualificata ma sicuramente uno sforzo progettuale maggiore affinché non vi siano problemi in fase di montaggio.

### UNITÀ COSTRUTTIVA

L'unità costruttiva è rappresentata da un modulo scatolare entro il quale viene insufflato il materiale isolante e vengono inseriti gli impianti.



### RIVESTIMENTO

Il rivestimento esterno può essere di tipologie diverse, assolve al compito di impermeabilizzazione della struttura, al fine di evitare infiltrazioni d'acqua. Fondamentale quindi diventa la presenza di una guaina impermeabilizzante.

### STRUTTURA e TAMPONAMENTO

Al di sopra delle travi in legno lamellare di fondazione vengono posizionate delle travi I-Joist (composte da un'anima in OSB e due ali in multistrato, a queste vengono ancorati i box prefabbricati precedentemente definiti come unità costruttiva, i quali assolvono al compito strutturale, di tamponamento, di isolamento e di vani per il passaggio degli impianti. Si parla di prefabbricazione perché, una volta tagliati i componenti, vengono assemblati prima di essere posti in opera. L'insufflaggio del materiale di riempimento, deve essere svolto con particolare attenzione per evitare che gli stessi box si aprano con conseguente rottura. Al fine di consolidamento della struttura possono essere inserite travi tipo I-Joist anche in copertura e a solaio, alle quali vengono ancorati i box strutturali.

### FONDAZIONI

Fondazioni puntuali superficiali o profonde in relazione alla tipologia di terreno, sulle quali vengono posizionate delle travi/redice in legno lamellare appositamente protette

### 4.3.3 Sistemi costruttivi: CORE SYSTEM

#### CARATTERISTICHE

##### 1. STRUTTURA

Materiale	Compensato di spessore > 18 mm			
Fondazioni	Tipologia	Puntuali	Platea	Trave radice
	Modalità di posa in opera	A secco	In opera	

##### 2. COIBENTAZIONE

	Tipologia	Sintetico	Naturale	
	Modalità di posa in opera	Insufflaggio	Incollaggio	Fissaggio
	Posizione	A cappotto interno	Interno alla struttura	A cappotto esterno
	Spessore	< 10 cm	10 < x < 20 cm	> 20 cm
	Ponti termici	Punti critici: connessioni fondazione-struttura, parete verticale-copertura		

##### 3. IMPIANTISTICA

	VMC	Presente	Assente
	Sistemi plug-and-play	Presente	Assente
	Predisposizione	In fase di progettazione	In opera

##### 4. GENERALE

Diffusione	Storica	■ □ □ □ □	
	Geografica	■ □ □ □ □	
Rapidità di costruzione		■ ■ ■ □ □	Con possibilità di disassemblaggio e riassetaggio
Produzione	Tipologia		Macchina a controllo numerico
Connessioni	Tipologia		Giunti a secco e colla
Mezzi necessari	Tipologia		La realizzazione di un'abitazione classica (ad esclusione delle fondazioni), può essere realizzata da un gruppo di poche persone (4-5) con l'aiuto di martelli, sparachiodi, avvitatore, scala o trabattello.

##### 5. AUTOCOSTRUZIONE

Possibilità di autoproduzione (struttura)	SI	
Possibilità di autocostruzione	SI	(ad esclusione di fondazioni e impiantistica)

---

## IL SISTEMA COSTRUTTIVO

---

### PROGETTAZIONE

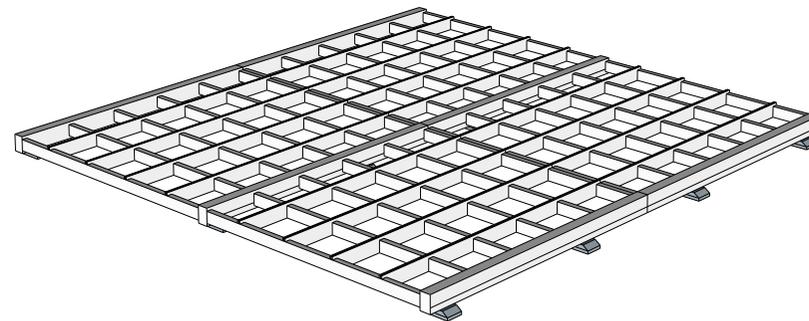
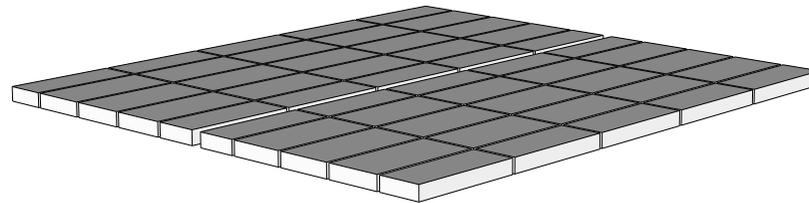
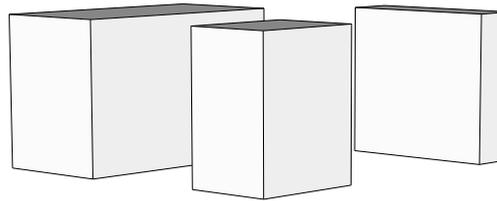
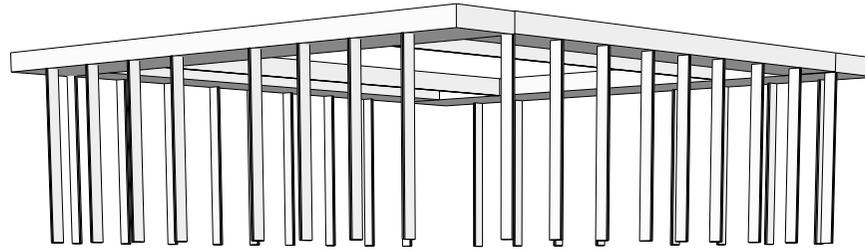
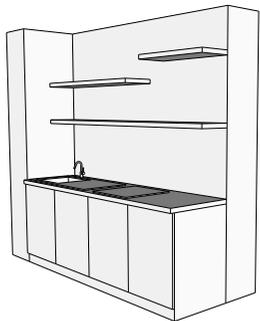
Per la progettazione, ci si avvale di software di progettazione digitali, 3D e ad alta precisione al fine di avere un completo controllo sui componenti, sulle misure e sugli incastri strutturali.

### PRODUZIONE

La produzione dei componenti strutturali in compensato è realizzata attraverso il taglio di fogli di compensato con macchine a controllo numerico, che garantiscono alte precisioni e una riduzione degli scarti di materiale, oltre che una velocità di esecuzione non comparabile con il taglio manuale. Il taglio inoltre è effettuabile da chiunque ed in qualsiasi momento. La produzione non richiede manodopera qualificata ma sicuramente uno sforzo progettuale maggiore affinché non vi siano problemi in fase di montaggio.

### UNITÀ COSTRUTTIVA

L'unità costruttiva è rappresentata da alcuni "CORE" in compensato autoportanti strutturali funzionali, cioè veri e propri corpi strutturali che ospitano al loro interno anche le funzioni tipiche di una abitazione, con i servizi ad esse connessi (cucina, vano impianti, camera da letto, guardaroba, arredo, ecc...).



### COPERTURA

La copertura poggia sui corpi strutturali centrali, definiti "CORE" e alcuni "punti" laterali in compensato, realizzati attraverso l'accoppiamento di due fogli in compensato. La funzione del piano di copertura è quella di ospitare la componente impiantistica oltre che proteggere e coibentare la struttura sottostante.

### CORE

La struttura di base viene completata con pannelli in compensato di tamponamento e pannelli isolanti in fibre naturali. Al di sopra di essa vengono poi poggiati i "CORE" strutturali autoportanti che fungono sia da appoggi centrali per la copertura, che da vere e proprie pareti attrezzate, ospitanti impianti, arredi, locali di servizio, e tutto ciò di cui l'utente possa necessitare. I vani impianti vengono studiati appositamente e il compensato interno viene lasciato a vista. Oltre ai corpi strutturali interni vengono realizzati dei tamponamenti in legno compensato al fine di chiudere a struttura e proteggere l'interno.

### FONDAZIONI

Fondazioni puntuali superficiali o profonde in relazione alla tipologia di terreno, sulle quali vengono posizionate delle travi/redice in legno lamellare, appositamente protette, a formare una rete strutturale di base, la quale viene completata con pannelli strutturali posizionati di "costa", accoppiati, in compensato.

## 4.4 Plywood for the future

Lo studio delle realizzazioni effettuate durante il 1900 e gli anni 2000, arrivando fino ad oggi, ha evidenziato alcuni aspetti che vanno sottolineati:

\_l'utilizzo del compensato inizialmente fu associato ad una tecnologia costruttiva basata su telai strutturali in legno o realizzati con altri materiali, e che quindi non sfruttava a pieno il materiale dal punto di vista della resistenza che esso effettivamente può donare se utilizzato in modo adeguato;

\_verso il compensato vi è sempre stato un grande scetticismo, non è mai stato considerato un materiale strutturale o per lo meno un materiale durevole o in qualche modo di pregio, salvo nelle sue applicazioni di rivestimento e mascheramento di qualche dettaglio scomodo;

\_le esperienze di maggior rilievo sono localizzate in America ed Europa, sponsorizzate e realizzate da Università o centri di ricerca;

\_le uniche aziende che hanno iniziato ad investire sul compensato quale materiale da costruzione per le sue qualità e vantaggi durante le fasi di progettazione e assemblaggio, sono localizzate in Inghilterra; in nessun altro paese vi è stato un investimento verso questo ma-

teriale da parte di aziende del settore legno;

\_tutt'oggi il compensato non è ritenuto un materiale affidabile e parlare all'utente medio di abitazioni con struttura in legno compensato è difficile e crea fin da subito scetticismo;

\_il fenomeno dei sistemi costruttivi in legno compensato e le applicazioni in questo campo sono in crescita grazie al fenomeno della digitalizzazione, della computerizzazione e della progettazione e modellazione digitale; ultimamente, digitalizzazione e compensato stanno avanzando insieme, si è capito che il compensato è un materiale che si adatta molto bene a lavorazioni dettate da calcoli matematici e algoritmi, alla base di strutture sperimentali, non sempre composte da elementi bidimensionali e di facile progettazione e realizzazione.

In risposta a questi differenti punti, la tesi ha fornito risposte pratiche, dando dimostrazione, con la presentazione di casi studio reali, di quanto, il compensato di legno sia stato e possa essere, se sfruttato e applicato in maniera consona alle sue caratteristiche intrinseche, un materiale resistente e valido, che può offrire soluzioni innovative soprattutto per il progettista di oggi e di domani, che dovrà, sempre più, fare i con-

ti con la necessità di avere maggior velocità di produzione, standardizzazione degli elementi, semplicità di assemblaggio e realizzazione, rapidità di posa, possibilità di riciclaggio o riuso dei materiali, possibilità di assemblaggio a secco, possibilità di disassemblaggio delle strutture, maggior precisione nella progettazione a causa di una sempre più stringente integrazione di componenti differenti quali: impiantistica, isolamento, struttura e vani tecnici.

Il futuro inoltre parla di sostenibilità, di filiera corta, di utilizzo di materie prime naturali, rinnovabili, green, a distanza 0, e il compensato potrebbe essere un materiale che unisce questi diversi aspetti, nell'era della digitalizzazione e della rivoluzione industriale 4.0.

Soffermandosi però sui sistemi costruttivi e sui concetti alla base della progettazione di costruzioni in compensato di legno, gli scenari e le prospettive applicativi futuri possono essere molteplici, dall'intervento sul costruito fino all'autoproduzione e autocostruzione di abitazioni.

Il primo scenario citato, "intervento sul costruito", oggi più che mai, può essere realizzato con precisioni millimetriche grazie a strumenti di rilievo particolarmente precisi, facendo rientrare di diritto la strut-

tura in compensato quale scelta plausibile grazie alla sua leggerezza e alla possibilità di dimensionamento dell'intervento con precisione millimetrica (dettata in realtà dalla macchina a controllo numerico utilizzata per la lavorazione dei pannelli). Un esempio di questa applicazione è stato riportato durante la trattazione e potrebbe essere argomento di nuove ricerche e sperimentazioni, visti i risultati strutturali e estetici riportati. Il compensato infatti, come già detto precedentemente può essere personalizzato fin dalla composizione, scegliendo la finitura voluta, già pensando al risultato finale.

Il secondo scenario è quello di un introduzione nel mondo delle costruzioni in legno del sistema strutturale realizzato con componenti in compensato di legno, in aggiunta ai sistemi costruttivi ad oggi utilizzati. In questa ipotesi però, bisognerebbe valutare il feedback delle persone nel momento in cui gli si offre un'abitazione in legno compensato. Per questa fase forse i tempi sono prematuri, ma nulla ci impedisce di pensare e immaginare un'introduzione di queste tipologie di abitazioni in un mercato immobiliare futuro.

Immaginando invece un nuovo mercato basato su abitazioni decomponibili, non più stazionarie, "immobili" appunto, ma trasportabili, mobili e che permettano di

evitare un ulteriore consumo di suolo e cementificazione ed impermeabilizzazione dello stesso. L'abitazione a questo punto potrebbe essere di proprietà, mentre il terreno in affitto. In un mondo dinamico come quello di oggi, dove le persone cambiano più volte città di residenza, in relazione alla famiglia, alle esperienze lavorative, alla voglia di cambiare, di spostarsi, di mettersi in gioco, potrebbe rappresentare un vantaggio, non solo per la singola persona, ma anche per comuni, proprietari di terreni edificabili invenduti, e per chiunque abbia un terreno edificabile o in questo caso "in affitto", che potrebbe così avere un guadagno temporaneo derivante dall'affitto del terreno.

Ultimo scenario, ritenuto di maggior interesse, è l'utilizzo di questi sperimentali sistemi costruttivi basati su componenti in legno compensato per l'autoproduzione e autocostruzione da parte dell'utente, della propria abitazione.

Il prossimo paragrafo illustrerà, come, questa applicazione possa essere una soluzione concreta per chiunque voglia un'abitazione di proprietà, qualitativamente valida, semplice da assemblare e con un certo risparmio economico.

Segue quindi una breve introduzione alla pratica dell'autocostruzione e una descrizione dell'iter realizzativo, oltre che un esempio applicativo, di un'abitazione autocostruita con struttura in legno compensato.



## 4.5 Plywood for Self-Build

L'autocostruzione è definita come quel processo edilizio nel quale l'abitante, o "user", è in parte o in toto un soggetto attivo nelle diverse fasi, partendo dalla progettazione, passando attraverso la costruzione, per finire poi con la gestione e la manutenzione dell'edificio.

Potremmo vederlo come un concetto poco innovativo, visto che antecedentemente al XX secolo, l'autocostruzione e il DIY erano molto sviluppati in edilizia, soprattutto per mancanza di soldi e imprese specializzate nel settore; le persone erano così spinte a realizzare piccoli o grandi interventi in autonomia sul costruito o addirittura intere abitazioni ex-novo.

Questa pratica, in parte abbandonata dagli inizi del 1900, è rimasta e rimane l'unica soluzione per i paesi in via di sviluppo, che, senza alcuna regolamentazione, vedono nell'autocostruzione tradizionale l'unico modo per realizzare la propria abitazione. Queste realizzazioni vengono effettuate, dalla popolazione locale, attraverso l'utilizzo di materiali reperibili in situ, e una tecnologia tradizionale, radicata nella società, senza però un'organizzazione e una regolamentazione della pratica stessa.

Il concetto odierno di "self-build" però, non può essere lo stesso del passato, questo perché la legislazione attuale pone diversi limiti allo svolgimento di lavori in autonomia, richiedendo alcuni standard di sicurezza e la presentazione della documentazione adeguata presso gli enti responsabili.

Oggi si possono riconoscere due tipologie distinte di autocostruzione che potremmo definire "moderna", quella innovativa, sviluppata da università, start-up, progettisti e designer al fine di realizzare prototipi sperimentali (come alcuni casi studio visti in precedenza), e quella "guidata", che prevede un'assistenza in cantiere da parte di una figura professionale esperta che possa guidare, soprattutto in fase progettuale ed esecutiva, gli autocostruttori.

Alcune regioni italiane hanno provato a legiferare e riconoscere queste nuove pratiche autocostruttive, in modo da regolamentarle, tutelando i nuovi "makers" e incentivando, o comunque tentando di non ostacolare, il DIY.

*La domanda sorge spontanea, qual'è il nesso tra autocostruzione e struttura in compensato?*

Sicuramente la struttura in compensato, realizzata attraverso l'assemblaggio a secco di componenti piani in compensato, leggeri e facilmente manovrabili, e le nuove tecnologie che permettono il taglio in autonomia dei componenti strutturali, entra di diritto nelle innovative forme di autocostruzione.

## 4.5.1 DIY: il contesto Europeo

Quando si parla di autocostruzione in Europa, si parla soprattutto di Germania, Austria, Svizzera, Olanda e infine Inghilterra, dove l'autocostruzione è una tematica attuale in risposta alla crisi abitativa odierna.

Le motivazioni che portano la singola famiglia o un gruppo comunitario ad intraprendere la pratica dell'autocostruzione di abitazioni o addirittura di interi agglomerati urbani sono molteplici; se prendiamo infatti in considerazione la singola abitazione e la singola famiglia, si parlerà di *autocostruzione individuale*, dove l'obiettivo è quello di riuscire a "creare" da zero qualcosa per sé e per la propria famiglia; se prendiamo invece in considerazione un gruppo di persone che edifica un intero agglomerato urbano di abitazioni, allora, parliamo di *autocostruzione associata*, una pratica sociale molto interessante, dal punto di vista della condivisione e della sostenibilità.

Come riportato in precedenza, questa pratica, trova spazio nello scenario inglese soprattutto in questo periodo di crisi abitativa, dove vi è un'alta domanda di alloggi ma i grandi investitori adottano una strategia per la quale non gli conviene costruire subito ma mantenere un'offerta ridotta per far sì che i prezzi di acquisto e di affitto rimangano alti, per continuare ad avere così, gli stessi guadagni. Ad una grande domanda di alloggi, gli investitori non corrispondono un'offerta che possa soddisfare questa richiesta, in modo da mantenere nel tempo, prezzi di acquisto o di affitto di nuovi abitazioni,

alti e piuttosto costanti. Questo gioco, intrapreso dagli investitori, permette loro un guadagno costante, garantito da una continua domanda di alloggi e quindi un prezzo di acquisto, a sua volta costante.

In questo scenario, l'autocostruzione è stata introdotta e vista, come un'alternativa all'edilizia convenzionale, che permette di avere delle abitazioni di alta qualità ad un costo ridotto in qualsiasi momento, riducendo così anche il *gap* societario tra persone con un reddito più alto, che continueranno ad acquistare abitazioni convenzionali a prezzi molto alti, e quelle con un reddito più basso, che comunque potranno permettersi una casa di proprietà, con standard di vivibilità e sostenibilità alla pari, se non maggiori.

Oggi in Gran Bretagna però l'autocostruzione rappresenta solamente il 10% del mercato abitativo, a causa di politiche sull'utilizzo del terreno e la pianificazione edilizia. I dati riguardanti gli altri paesi europei, parlano di un 60% di abitazioni commissionate da singoli costruttori ad aziende locali rispetto al totale, in Germania, Austria e Svizzera, mentre in Olanda la pratica dell'autocostruzione mantiene costante una quota pari al 20% delle nuove abitazioni.

La pratica dell'autocostruzione, comprende soggetti differenti in relazione alle condizioni sociali e politiche; in Inghilterra ad esempio, la pratica è seguita soprattutto da persone anziane, in pensione, mentre negli

altri stati europei precedentemente citati, viene intrapresa da giovani che vogliono realizzare la propria abitazione per il proprio, nuovo, nucleo familiare.

Recentemente, l'autocostruzione viene associata e accompagnata dal concetto di *co-housing*, fenomeno di condivisione crescente in tutto il mondo e pratica intrapresa soprattutto da giovani, e dal concetto di *Custom Build*, cioè la realizzazione di un'abitazione altamente personalizzata, sia nella sua conformazione distributiva che per quanto riguarda la sostenibilità ambientale e la riduzione dei consumi.

Vengono riportati di seguito alcuni esempi di queste nuove pratiche, sviluppate dagli anni 2000 in avanti, rappresentative di un fenomeno sostenibile, innovativo e attuale:

- **Nieuw Leyden**, in Olanda, completato nel 2013, è un intero quartiere di 670 abitazioni, alcune, autocostruite dai proprietari, esternamente molto diverse tra loro, e altre, frutto di un investimento pubblico, tutte molto simili tra loro e personalizzabili dagli utenti solo internamente, secondo layout predefiniti <sup>[1]</sup>;

- **Loretto and the French Quarter**, a Tubingen, in Germania, dove vi è stato uno sviluppo del nuovo quartiere grazie a gruppi di famiglie, amici, collaboratori, creando un modello di autocostruzione assistita, formata da una piccola cooperativa (definita "*Beaugruppe*" <sup>[2]</sup>), ba-

sata sull'autofinanziamento, senza sviluppatori esterni e con l'obiettivo di realizzare ciò di cui avevano bisogno con un supporto esterno dato solamente da architetti e municipalità. Il risultato è stato la realizzazione di un quartiere con un ampio mix di funzioni e servizi, realizzato con materiali naturali, componenti prefabbricati, e con una grande diversità architettonica creata da colori, dettagli e materiali;

- **Vauban**, a Friburgo, in Germania, dove la comunità formatasi negli anni '90 di attivisti ambientalisti, denominata in seguito "*Forum Vauban*"<sup>[3]</sup>, porta avanti un concetto di sviluppo sostenibile, a basso consumo e senza automobili, grazie anche al dialogo continuo con l'autorità municipale al fine di modificare e modellare i piani di sviluppo. Il quartiere, realizzato in autocostruzione dalle singole famiglie è una dimostrazione di quanto una pratica come l'autocostruzione possa dare una propria identità al sito, creando sin da subito dei legami all'interno della nuova comunità;

- **Ashley Vale**, a Bristol, in Inghilterra, è un nuovo complesso residenziale di 41 abitazioni, derivanti da un processo di autocostruzione, risultato di dieci anni di lavoro da parte della Ashley Vale Action Group, un gruppo di residenti, formatosi nel 2000, che inizialmente si oppose alla realizzazione di un nuovo complesso residenziale classico e in seguito sviluppò le proprie idee per nuove soluzioni abitative per i residenti. I lavori, iniziati con l'acquisto dell'area nel 2001 si sono conclusi nel

2010, con la realizzazione di 41 abitazioni con altissimi standard qualitativi e una struttura a telaio in legno;

- **Graven Hill Self Build**, in Inghilterra, è una nuova area di espansione di Bicester, una città situata vicina ad Oxford, nel distretto di Cherwell, basata sul concetto di autocostruzione della propria abitazione, con il sostegno di un team di designer e architetti pronti a dare la propria opinione e il proprio contributo<sup>[4]</sup>.

**Note:**

1. NaCSBA Research & Development Programme, [www.nacsba.org.uk](http://www.nacsba.org.uk), <https://righttobuildtoolkit.org.uk/case-studies/nieuw-leyden/#>;
2. Suzanne H. Crowhurst Lennard, *Tübingen's Loretto and the French Quarter: the original "City of Short Distances"*, Livablecities (<https://www.livablecities.org/articles/tübingen-s-loretto-and-french-quarter-original-city-short-distances/>);
3. <http://localisingprosperity.org.uk/case-studies/self-build-communities/>;
4. [www.gravenhill.co.uk](http://www.gravenhill.co.uk);

## 4.5.2 DIY: il contesto Americano

Gli Stati Uniti d'America, a partire dagli anni '30 del Novecento, videro la nascita di piani di sviluppo abitativo in autocostruzione, destinati ai ceti più poveri. Oggi, la sensibilità verso le fasce più deboli della società continua, tant'è che alcuni programmi, quali lo SHOP<sup>[5]</sup> (Self-help Homeownership Opportunity Program, autorizzato dal Housing Opportunity Program Extension Act del 1996) e il Mutual Self-Help Housing program, supportano e sovvenzionano famiglie a basso reddito nella costruzione della propria abitazione.

L'autocostruzione, negli Stati Uniti, è una pratica riconosciuta e agevolata dalle leggi, tuttavia viene intrapresa solamente da famiglie in difficoltà economica, e non può essere quindi considerata una valida alternativa alle normali pratiche costruttive eseguite da imprese di costruzione.

**Note:**

5. <https://www.hudexchange.info/programs/shop/>;

### 4.5.3 DIY: Il contesto Italiano

La nascita di imprese specializzate nel campo dell'edilizia, all'inizio del XX secolo, segnò l'abbandono delle pratiche autocostruttive a favore del lavoro specializzato di ditte esterne. In seguito alle due guerre mondiali però vi fu, soprattutto nei centri urbani minori e nelle periferie delle grandi città, un ritrovato interesse per le pratiche autocostruttive della propria abitazione, che ne portò il riconoscimento come fenomeno di massa e non più come forma di abusivismo.

Gli anni '70 accompagnati dall'industrializzazione nel campo edilizio, da nuovi standard qualitativi e di sicurezza, e norme sempre più stringenti, resero la pratica dell'autocostruzione sempre meno perseguibile e più complessa. Vi fu quindi, negli ultimi anni del 1900, un graduale abbandono della pratica, fino a che, nel nuovo millennio si ricominciò a parlare di autocostruzione soprattutto grazie alle nuove tecnologie sempre più accessibili, al ritrovato interesse verso tecniche costruttive del passato, e alla crisi economica, che determinò una minor disponibilità di denaro e una conseguente necessità di coinvolgere gli utenti nel processo costruttivo così da ridurre i costi di realizzazione.

Ad oggi, non vi sono norme nazionali indirizzate al fenomeno dell'autocostruzione, ma solo Puglia, Lazio e Toscana, si sono attivate con l'obiettivo di riconoscere e regolare una pratica che sembra essere sempre più attuale. Nonostante questa mancanza, le strade perseguibili per costruire la propria abitazione attraverso

i sistemi di autocostruzione sono essenzialmente tre:

- **Autocostruzione associata ed assistita;**

- **Lavori in economia diretta;**

- **Autocostruzione familiare.**

L'**autocostruzione associata ed assistita**, prevede la presenza di una cooperativa di autocostruttori iscritta al Registro delle Imprese supportata o meno da un Ente per l'autocostruzione assistita, avente una funzione di controllo, supporto tecnico, di mediazione tra la cooperativa e gli attori esterni, e gestione del cantiere. Intanto, alcune forme di autocostruzione associata ed assistita, quale il progetto Alisei durato dal 2003 al 2010, hanno reintrodotta l'autocostruzione in Italia, facendone risaltare pregi e difetti.

La prima problematica da affrontare è l'obbligatorietà di creare una cooperativa, la quale deve essere formata da almeno due famiglie, perciò se un singolo proprietario volesse autocostruirsi la propria abitazione, non potrebbe farlo.

Il secondo problema è dato dal fatto che solamente chi fa parte della cooperativa può lavorare in cantiere, escludendo così, qualsiasi volontario.

Il **lavoro in economia diretta** invece, è definito come una realizzazione eseguita dal proprietario stesso (aiuta-

to da parenti fino al primo grado conviventi) al fine di intervenire su di un fabbricato esistente o di realizzare un edificio ex-novo; sono esclusi i lavori relativi agli impianti, per i quali l'autocostruttore dovrà fare riferimento a tecnici specializzati. Questa tipologia di lavoro è regolamentata dal Testo Unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia (D.P.R. 380/2001 ss.mm.ii.) e prevede il rispetto delle norme edilizie e di sicurezza valide per qualsiasi altra tipologia di intervento, partendo dalla nomina di un Direttore dei Lavori e un Responsabile della Sicurezza, passando per il ritiro del Permesso di Costruire, la DIA (Denuncia Inizio Attività) o la SCIA (segnalazione Certificata di Inizio Attività), la presentazione del CIL (Comunicazione di Inizio Lavori), fino alla redazione del PIMUS (Piano di Montaggio, Uso e Smontaggio dei Ponteggi) e la predisposizione del POS (Piano Operativo di Sicurezza) in caso di ponteggi esterni.

I vantaggi di questo tipo di intervento sono soprattutto economici, in quanto si ha un risparmio significativo sulla manodopera; tuttavia vi sono alcuni svantaggi non trascurabili:

1. Nessuna detrazione delle lavorazioni;
2. L'unica spesa detraibile è quella relativa all'acquisto dei materiali, con un'IVA all'acquisto del 22% e non del 10% come per le imprese;
3. Difficoltà di gestione del cantiere;

4. Il lavoro in cantiere è permesso solamente a parenti fino al primo grado e conviventi;

5. Poco tempo da dedicare al cantiere e spesso concentrato solamente nel fine settimana, fattore che determina delle tempistiche realizzative molto lunghe.

**L'autocostruzione familiare**, "consiste nella costruzione (o nel recupero) di una o più unità immobiliari, grazie al lavoro della famiglia "committente" (quella che andrà ad abitarci) coadiuvata da un gruppo di amici-volontari" ed "è nata per dare la possibilità a piccoli gruppi di persone, di poter costruire o ristrutturare, [...] la loro abitazione"<sup>[6]</sup>.

Questa tipologia di pratica prevede la costituzione di una **Associazione di Promozione Sociale** (APS), formata da diversi individui non obbligatoriamente parenti, che rappresenteranno la forza lavoro, prevalentemente gratuita, per la realizzazione. Questa forma di associazione, a differenza di una associazione di volontariato, prevede la possibilità di stipulare un contratto con una figura professionale (**Tutor**) che può in questo modo seguire e guidare i lavori.

I soggetti che prendono parte al cantiere sono:

- L'autocostruttore;
- I volontari;
- Il Tutor;
- Soggetti esterni quali imprese e progettisti.

Anche in questo caso sarà necessaria la presentazione, come per quanto riguarda i lavori in autonomia diretta di tutta la documentazione necessaria inerente all'intervento, e non sarà possibile comunque eseguire in autonomia interventi di tipo impiantistico.

#### **4.5.3.1 Autocostruzione in Toscana**

La Toscana è stata la prima regione in Italia ad approvare, con il decreto 1945/2012 e poi con la seduta della Giunta Regionale del 16.03.2015, delle linee di indirizzo per la sicurezza nei cantieri di autocostruzione e di autorecupero. Queste linee di indirizzo sono di certo un inizio per riconoscere una pratica comunque molto complicata da regolamentare, con molte problematiche di tipo burocratico e pratico, da risolvere. Queste linee di indirizzo, non sono però prescrizioni tecniche che regolano la conduzione di un cantiere in autocostruzione o autorecupero, ma stilano solamente un elenco di indicazioni per gli autocostruttori.

Si può dire che, la regolamentazione fatta dalla regione Toscana è in linea con la pratica di autocostruzione familiare precedentemente definita. La Regione, si è inoltre attivata in questo campo, nel proporre ai co-

muni, bandi di gara, attraverso i quali viene fornito un apporto economico ai vincitori, proponenti attività di autocostruzione o autorecupero.

Non solo la regione però, ha sviluppato una certa sensibilità per il tema, sono nate infatti delle federazioni, quali A.R.I.A. familiare nel 2013 <sup>[7]</sup>, aventi il fine di promuovere progetti di autocostruzione e autorecupero attraverso una rete di solidarietà e condivisione.

#### **4.5.3.2 Autocostruzione in Puglia**

La Regione Puglia ha approvato le proprie Linee Guida per l'autocostruzione e l'autorecupero con delibera della Giunta Regionale n.1507, del 24 Luglio 2012, al fine di indirizzare i cittadini interessati a questa attività, sugli aspetti normativi e di sicurezza, da seguire. I contenuti di queste Linee Guida mirano a definire l'autocostruzione e l'autorecupero oltre che specificarne finalità, "soggetti, ruoli, responsabilità e fasi attuative utili ad attivare un processo di autocostruzione/autorecupero".

In particolare vengono definiti puntualmente:

### 1. I soggetti principali e il loro ruolo:

- La cooperativa di autocostruttori che svolgerà *“attività di cantiere per una parte dell'intero ciclo edilizio in misura non inferiore al 60% e fino ad un massimo del 70% del totale, per circa 1000/1200 ore per famiglia”*;

- L'autocostruttore, che svolge attività di manodopera quali: il tracciamento delle costruzioni e le relative aree pertinenziali, esecuzione di opere provvisoriale, realizzazione della muratura portante perimetrale e dei divisori interni, posa in opera di isolamenti, serramenti, apparecchi igienico sanitari, tegole e lattoneria, esecuzione degli intonaci, delle pavimentazioni, delle pitture e imbiancature;

- Il direttore di cantiere;

- L'ente di coordinamento che fornisce assistenza in termini tecnologici, progettuali, gestionali, esecutivi, strumentali, organizzativi, amministrativi, formativi e sociali;

- I comuni, con funzione di regolamentazione, controllo e incentivazione;

- La Regione, che si occupa di promozione e monitoraggio delle attività sul territorio;

### 2. Le fasi attuative:

- Fase 1: costituzione della cooperativa di autocostruttori e redazione del proprio statuto, seguito da un bando per la selezione degli autocostruttori emanato dal Comune;

- Fase 2: individuazione dell'ente di coordinamento;

- Fase 3: Redazione del progetto di autocostruzione/autorecupero;

- Fase 4: stipula del protocollo di intesa tra comune, Ente di coordinamento, Cooperativa di autocostruttori e Regione.

In seguito alla delibera del 24 Luglio e l'approvazione delle linee guida sopra citate, il comune di Barletta è stato il primo a tramutare la teoria in pratica, pubblicando un bando di gara per la selezione di una cooperativa per l'assegnazione di un lotto da sviluppare in autocostruzione, all'interno del "Nuovo Piano di Zona 167"<sup>[8]</sup>. Il progetto, inaugurato il 22 Luglio 2017 e in corso di realizzazione, comprende 5 palazzine a schiera su due livelli, ognuna di esse ospitante due appartamenti ad ogni piano, di circa 70 m<sup>2</sup> cadauno. Annesso alle palazzine vi sono anche un piano cantine e i box.

#### Note:

6-7. <http://www.ariafamiliare.it/nasce-la-rete-toscana-dellabitare-solidale/>;

8. Patrizia Corvasce, **Autocostruzione, il progetto di Barletta primo esempio in Puglia, Intervista all'architetto Andrea Cantini**, BarlettaNews, 22 Luglio 2017 (<https://www.barlettanews.it/autocostruzione-progetto-barletta-primo-esempio-puglia-intervista-allarchitetto-andrea-cantini/>);

9. [https://www.comune.roma.it/pcr/it/dip\\_pol\\_riq\\_per\\_aut.page](https://www.comune.roma.it/pcr/it/dip_pol_riq_per_aut.page);

### **4.5.3.3 Autocostruzione e autorecupero ai fini residenziali nel Lazio**

Il progetto, portato avanti dal comune di Roma, dalla Regione Lazio e dal Ministero delle Infrastrutture, come principali investitori, consiste nel recupero di immobili dismessi da parte di cooperative di cittadini.

Nel 2008, i dati documentavano interventi per un totale di 197 alloggi. Gli interventi effettuati, in questo caso, rientrano nelle politiche di Autopromozione del Territorio promosse dal Dipartimento Politiche per la Riqualficazione delle Periferie, con l'obiettivo di ridurre la costruzione di nuova edilizia abitativa, rispondere all'emergenza abitativa e risolvere i problemi di degrado di alcuni ambiti della città.

In questa pratica, il Comune individua gli edifici da rinnovare e redige un progetto preliminare da cui si evincono i costi per il recupero primario, riguardanti le parti comuni dello stabile, e secondario, riguardanti i singoli alloggi. Una volta effettuate queste prime operazioni, il Comune provvede a reperire i finanziamenti necessari per il recupero primario, mentre, per il recupero secondario predispone e pubblica un bando che invita cooperative di autorecupero e/o autocostruzione a fare una proposta di progetto con la relativa offerta economica.

Gli interventi già effettuati nel comune di Roma, seguendo questo iter, sono stati 11<sup>[9]</sup>, tra i quali vi sono, il recupero di una struttura comunale in Via Colimberti per la realizzazione di 10 alloggi con giardino che possono ospitare fino a 23 abitanti; il recupero di un istituto scolastico con la realizzazione di 32 abitazioni, per più di 100 persone, in Largo Monte San Giusto; la realizzazione di un edificio di 27 alloggi per un totale di 84 abitanti in Via Marica e il recupero di diverse strutture scolastiche ai fini abitativi.

## 4.6 Riflessioni sul concetto di autocostruzione

Negli approfondimenti precedenti, si è visto come, l'autocostruzione sia stata in passato la prima forma e forse anche l'unica perseguibile per chi volesse costruire da sé la propria abitazione, e come oggi, l'autocostruzione guidata possa essere una pratica costruttiva vantaggiosa dal punto di vista dei costi ma non sempre facilmente perseguibile.

Se infatti abbiamo parlato di esperimenti riusciti, di prototipi e realizzazioni effettuate in Italia e all'estero, bisogna anche ricordare che, non tutte le applicazioni sono giunte a termine senza problemi.

Le problematiche principali, sorte ad esempio a Vimodrone e Trezzo sull'Adda in Lombardia, sono legate alle cooperative e alle società che dovrebbero fornire supporto tecnico ed economico e che, in alcuni casi scompaiono, lasciando il cantiere a metà lavori, e abbandonando gli autocostruttori che si ritrovano senza materiali, senza soldi e soprattutto senza abitazione. Altri scenari, come in Campania, a Piedimonte Matese e Villaricca, e in Umbria, vedono le tempistiche di costruzione e i relativi costi di costruzione lievitare<sup>[10]</sup>.

Di certo, va fatto ordine nel sistema realizzativo degli interventi, sia con leggi regionali, già presenti in Toscana, Puglia e Lazio, sia con controlli specifici alle imprese, alle srl, alle cooperative e alle ONG, che vengono inserite nel processo.

L'obiettivo è quindi individuare la strategia, il processo ottimale per avviare un processo di autocostruzione, sfruttando i vantaggi e le caratteristiche precedentemente citate nell'analisi dei sistemi costruttivi di abitazioni con struttura in compensato.

Segue quindi una proposta per l'autocostruzione di abitazioni in compensato con struttura in legno compensato.

## 4.7 L'autocostruzione di strutture in legno compensato: la "User House"



Dopo aver fatto chiarezza e aver proposto uno scenario di partenza dal punto di vista del compensato come materiale sostenibile, averne studiato le caratteristiche, le qualità, aver raccolto grazie ad alcune timeline le principali realizzazioni in svariati campi, da quello aeronautico a quello architettonico, definendo i sistemi costruttivi principali e dopo aver introdotto il tema dell'autocostruzione in Italia e all'estero, si ritiene fondamentale soffermarsi su alcuni concetti, da tenere in considerazione al fine di proporre una soluzione innovativa e perseguibile nel campo dell'auto-costruzione di moduli abitativi con struttura in compensato.

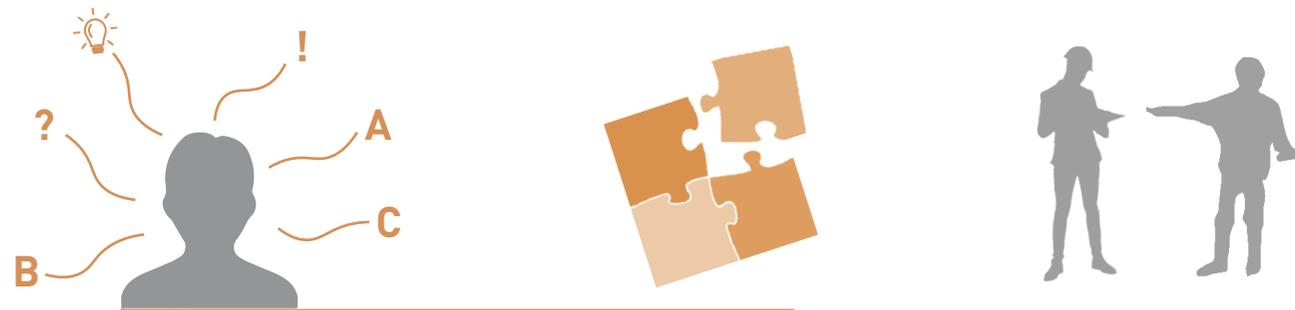
L'obiettivo è quello di definire delle linee guida per la realizzazione di una "User-House" con struttura in compensato, un'abitazione dell'utente, progettata e pensata con e per l'utente, non solo *autocostruita* ma anche *autoprodotta* dall'utilizzatore finale.

## 4.7.1 Fase progettuale

La progettazione è la fase più importante del processo nelle costruzioni in compensato, infatti essa determina la buona o cattiva riuscita dell'intervento. Soprattutto oggi, con le moderne tecnologie digitali di progettazione e simulazione 3D, essa può essere estremamente dettagliata ed efficace. La stessa, se applicata ad un sistema costruttivo innovativo, personalizzabile e adattabile alle necessità dell'utente, e accompagnata dall'esperienza tecnico-costruttiva di un professionista, risulta essere ottimale per la realizzazione di un'abitazione fatta su misura dello "user". L'idea alla base è quella di permettere a chiunque voglia realizzare la propria abitazione in autocostruzione, di farlo, con un sistema costruttivo innovativo, sostenibile e semplice da realizzare, con un'assistenza tecnica professionale e personalizzata che possa fornire consigli e supporto progettuale.

Altro tema importante, che verrà sviluppato in seguito è la gestione del cantiere, infatti vi sono diverse variabili e problematiche in gioco, tra le quali:

- Sito di progetto e realizzazione delle fondazioni (tipologia e tempi di realizzazione);
- Reperibilità di una macchina a controllo numerico;
- Tempistiche di realizzazione della struttura in compensato e sequenza di assemblaggio (processo autocostruttivo fornito da un manuale di montaggio);
- Imprese esterne per l'allaccio, la realizzazione e il collaudo degli impianti che non possono essere realizzati e certificati in autonomia dall'autocostruttore;
- Isolamento dell'abitazione al fine di raggiungere i requisiti minimi imposti dalla attuale normativa;
- Impermeabilizzazione, manto di copertura, rivestimenti, finiture, posa degli infissi e ogni altra opera accessoria utile al completamento dell'opera.



## 4.7.2 Fase di autoproduzione

Nel concetto di *“User-House”* introdotto precedentemente, troviamo il concetto di autoproduzione che sottointende la produzione in situ da parte dell'autocostruttore, nonché utente finale, dei componenti strutturali in compensato tramite una fresatrice a controllo numerico (CNC).

Grazie infatti alle dimensioni ridotte di queste tipologie di macchinari, possono essere facilmente trasportati in cantiere all'interno di un container per essere utilizzati direttamente dall'autocostruttore per la produzione degli elementi necessari alla realizzazione della struttura.

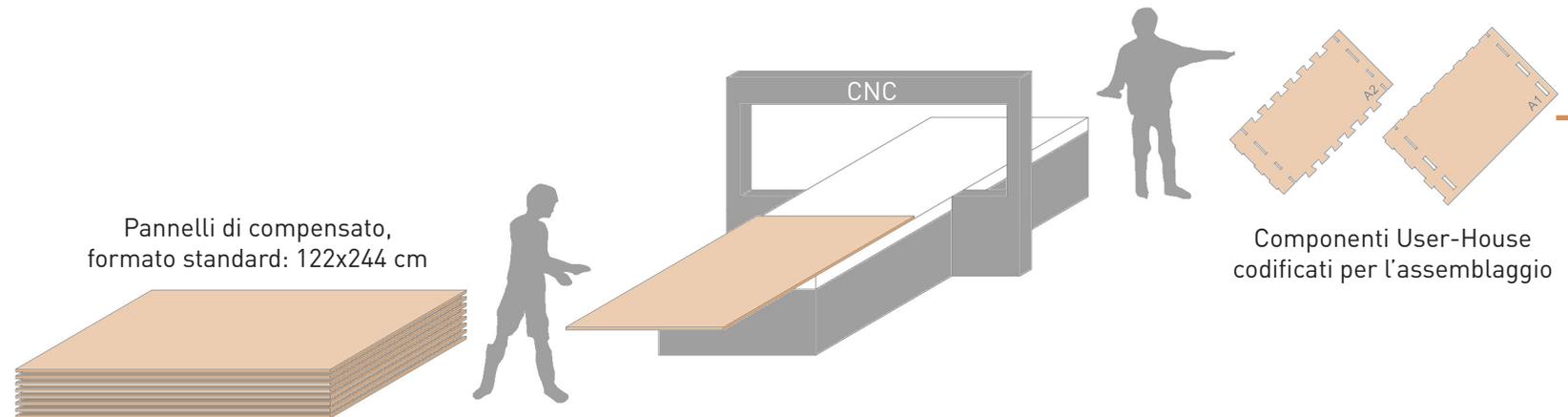
Il primo punto interrogativo, sorge ancor prima di iniziare la progettazione dei componenti, infatti, si è visto che i prezzi di acquisto di una macchina a controllo numerico per il taglio di pannelli di compensato può variare

dai 400 a 20000 euro.

*Ma quanto potrebbe costarne il noleggio?*

Infatti, se si pensa di doverla utilizzare per la realizzazione di una sola abitazione, pur complessa e grande che sia, probabilmente le lavorazioni non occuperebbero più di una settimana di lavoro. I file di taglio necessari per la realizzazione dei componenti infatti, vengono elaborati in precedenza e in cantiere vi è solo la necessità di eseguire il taglio dei pannelli di compensato, lavoro eseguibile in completa autonomia.

Se invece, l'obiettivo è quello di realizzare un nuovo agglomerato urbano di nuove abitazioni, potrebbe essere conveniente l'acquisto da parte degli autocostruttori, di una macchina a controllo numerico da poter utilizzare anche in futuro, immaginando il possibile ampliamento e sviluppo dell'agglomerato.



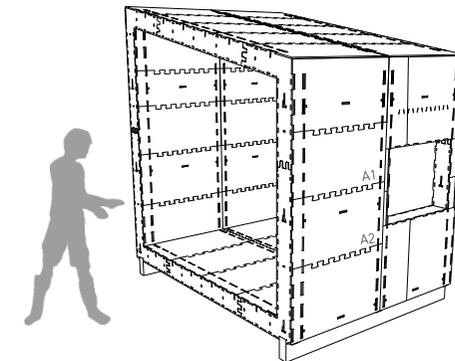
### 4.7.3 Fase di autocostruzione

L'autoproduzione, definita precedentemente come la realizzazione in autonomia dei componenti strutturali dell'abitazione, è la prima fase di una pratica ancor più complessa. Se infatti, l'autoproduzione, nel caso di una struttura in compensato è realizzata attraverso l'utilizzo di una macchina a controllo numerico (CNC) che, seguendo i file condivisi e controllati da figure professionali esperte, realizza il taglio dei componenti, l'autocostruzione prevederebbe invece, in primis l'elaborazione di linee guida per l'assemblaggio (manuale di montaggio) e una volta in cantiere, l'effettivo assemblaggio dei componenti, seguendo sequenze precise. Si deve tenere in considerazione infatti che, le linee guida, proprio come per un arredo IKEA®, dovrebbero essere sviluppate per una persona media, che non necessariamente abbia conoscenze in ambito edilizio-costruttivo. L'obiettivo infatti è quello di permettere la realizzazione di un'abitazione senza manodopera specializzata, almeno per quanto riguarda la struttura in compensato, finiture, isolamento, copertura, rivestimenti e infissi. Se le linee guida stilate ad esempio dalle regioni Puglia, Lazio e Toscana, si basano più che altro

su concetti quali la sicurezza durante l'esecuzione, la definizione delle attività realizzabili dall'utente e invece quelle non effettuabili in autonomia, le linee guida per la realizzazione di un modulo abitativo in compensato, dovrebbero puntare a definire il processo costruttivo e le modalità di assemblaggio alla base della realizzazione.

Questo comporta la definizione di:

1. Percorso progettuale e produttivo;
2. Sequenza di montaggio delle strutture in compensato;
3. Sequenza di montaggio dei componenti complementari, quali isolamento, copertura, impermeabilizzazione, tramezzi interni, rivestimenti, ecc...;
4. Tempistiche di intervento e tipologie di realizzazioni effettuate da imprese esterne.



#### 4.7.3.1 Il compromesso tra “build-control” e “self-build”

Importante è, raggiungere un compromesso tra il controllo da parte di una figura professionale sulla progettazione e realizzazione dell’opera e le volontà e i bisogni dell’utente finale.

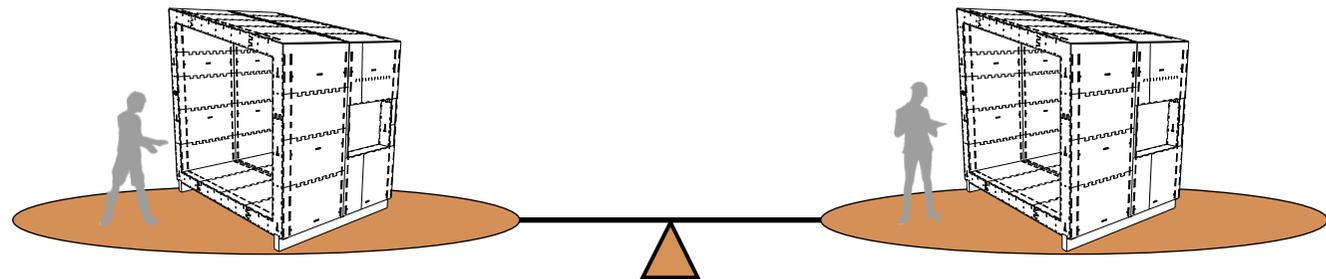
Nel concetto di “**User House**” vi deve essere alla base, un controllo preliminare effettuato da un professionista, che non sarà effettivamente il progettista dell’abitazione ma svolgerà una funzione supervisione del progetto; in questo caso infatti sarà l’utente, che avendo a disposizione un sistema costruttivo “*ready-to-build*” potrà in autonomia, realizzare il progetto della sua abitazione e sottoporlo ad una figura professionale che possa individuare eventuali errori in fase progettuale. In questo modo, le necessità e i bisogni dell’utente saranno chiari sin da subito, il professionista avrà a disposizione un sistema costruttivo pre-costituito e non dovrà far altro che controllare l’operato dell’autocostruttore.

#### 4.7.3.2 Economia diretta o autocostruzione familiare

Le strade percorribili permesse dalla regolamentazione italiana odierna, per quanto riguarda il singolo nucleo familiare, nella realizzazione della propria abitazione, come abbiamo visto in precedenza possono essere essenzialmente due:

- Economia diretta;
- Autocostruzione familiare;

due percorsi, ugualmente validi, che in una fase preliminare hanno comunque la necessità di ricevere un supporto tecnico da parte di una figura professionale, quale architetto o ingegnere.



## 4.8 Il concetto di “share” associato all’autocostruzione

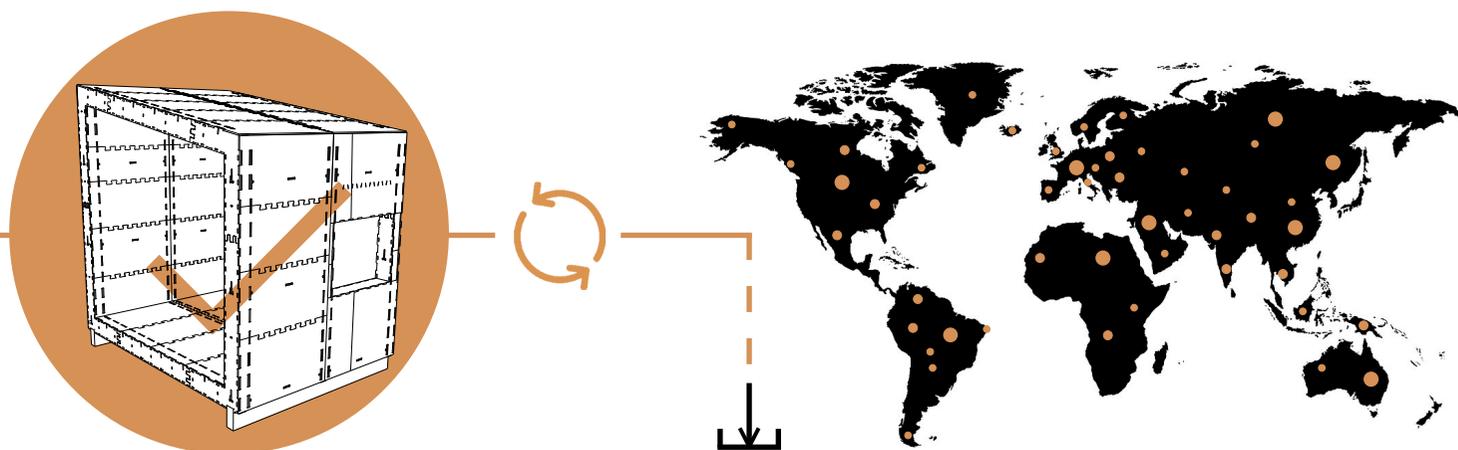
Al giorno d’oggi, tutto ha avuto un’accelerazione esponenziale, la spesa, gli acquisti, la progettazione di spazi, la rivalutazione di un ambiente, qualsiasi cosa, a pensarci bene può essere fatta con un click, unico e fondamentale requisito: la connessione ad internet.

Pensate come potrebbe essere realizzare la propria abitazione a partire da un sistema costruttivo certificato a portata di click, realizzare con un router CNC i diversi elementi progettati da qualcun’altro chissà dove e doverli solamente assemblare, proprio come si farebbe con un puzzle.

Il concetto di partenza è proprio questo, ragionamenti già effettuati da IKEA® nell’arredamento ad esempio, e ancor di più da WIKIHOUSE nella progettazione

di abitazioni in compensato, attraverso un concetto di “share”, di condivisione di informazioni, idee, progetti, e infine sistemi costruttivi, attraverso i quali chiunque potrebbe realizzare la propria abitazione in autonomia.

Nel concetto di “share” vi è intrinsecamente un concetto di “updating”, cioè un continuo aggiornamento del sistema e un continuo miglioramento dello stesso. Infatti chi si avvale del prodotto, in questo caso di un sistema costruttivo, può testarlo, modificarlo e condividere la modifica effettuata, in modo da poter rendere noti i problemi riscontrati e le soluzioni adottate in risposta ad essi.



## 4.9 Posizione nel contesto abitativo italiano

Sin dall'inizio della ricerca e ancor più giunti a questo punto, la domanda ricorrente è: *perché vi è la necessità di introdurre delle abitazioni in compensato? E perché in Italia, una nazione molto legata alle tradizioni, a sistemi costruttivi tradizionali, all'abitazione vista come nido, vista come un bene da tramandare alle generazioni future, un bene di grande valore affettivo, non qualcosa di temporaneo ne tanto meno di scarso interesse?*

In Inghilterra, ad esempio, hanno preso piede delle realizzazioni alternative in risposta alla crisi di abitazioni, in particolare a Londra, dove sono state intraprese pratiche in cui le abitazioni vengono realizzate dall'utilizzatore, e non da un'impresa, e quindi a prezzi bassi perché a prezzi di realizzazione.

L'obiettivo non è certo quello di progettare e realizzare abitazioni temporanee, come possono essere le **Veener Houses**, realizzate in Nepal e in Giappone, abitazioni in risposta ad eventi disastrosi quali terremoti o tsunami, realizzate in tempi brevi, senza manodopera specializzata, introducendo le famiglie nel processo di ricostruzione, ma al contrario, realizzare abitazioni di qualità e soprattutto durevoli nel tempo. Senza dubbio, per fare questo ci vuole lavoro, in fase progettuale e realizzativa, tempo, e una collaborazione attiva tra figura professionale-user e impresa per la fase realizzativa.

In Italia, le principali motivazioni, potrebbero essere:

1. **Sostenibilità**: utilizzo di compensato realizzato con

legno di pioppo, la cui produzione è in aumento, materia prima a km 0, rinnovabile, riutilizzabile, riciclabile;

2. **Realizzazione di abitazioni decostruibili**, leggere, ad alta efficienza e in qualsiasi ambiente e terreno, anche nei posti meno appetibili grazie alla realizzazione a secco e alle dimensioni relativamente ridotte dei componenti;

3. **Realizzazione di sopraelevazioni** di edifici esistenti per le caratteristiche di leggerezza complessiva di intervento e praticità di impiego;

4. **Semplicità di realizzazione dei componenti**, bassi costi di produzione e realizzazione;

5. **Semplicità esecutiva**, possibilità di autocostruire la propria abitazione senza l'utilizzo di grandi macchinari;

6. Incentivare la realizzazione di abitazioni decostruibili, con un basso impatto ambientale, al fine di **ridurre il consumo di suolo**;

7. **Avviare nuove pratiche** come l'affitto del terreno dove posizionare la propria abitazione assemblabile e disassemblabile, fornendo nuovi spazi dove costruire tipologie abitative leggere, decostruibili e trasportabili, che potrebbero essere fonte di guadagno sia per privati che per lo stato.

## 4.10 Principali figure del processo edilizio

Le figure in gioco, a differenza di quanto si pensi, saranno molteplici, infatti l'autocostruzione a norma di legge, almeno attualmente, ha la necessità di avvalersi comunque del supporto di alcune figure specializzate.

I partecipanti al processo di autocostruzione eseguito in autocostruzione familiare o in economia, saranno:

- **Autocostruttori**, che potranno essere familiari, amici o altre persone volontarie, purchè inserite nella APS (*Associazione di Promozione Sociale*) per quanto riguarda l'autocostruzione familiare, oppure il singolo **autocostruttore** per quanto riguarda il lavoro in economia;
- **Tutor/Figura professionale** quale geometra, architetto o ingegnere per la presentazione e il supporto nelle pratiche da esplicitare per la realizzazione dell'opera;
- Una o più **imprese esterne** per le uniche operazioni che non possono essere realizzate in autonomia da parte degli autocostruttori (es.: componenti impiantistiche).



## 4.11 Il processo edilizio

### 4.11.1 Prima fase: di concezione

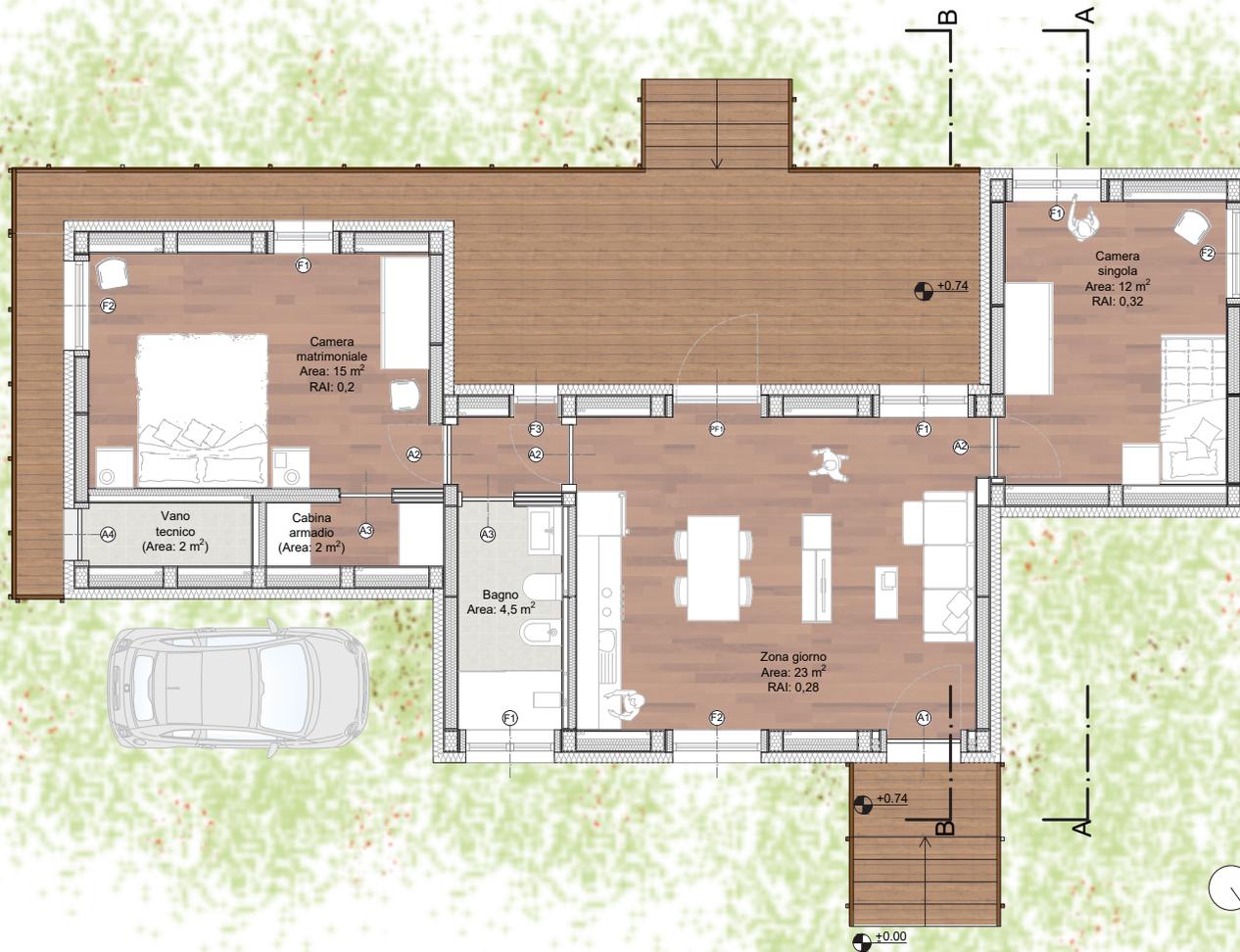
In relazione al fatto che, la “*User House*” in quanto tale, si basa sul principio della relazione con l’utente, il soddisfacimento dei bisogni e l’attenzione alle preferenze dell’utente stesso, nello studio delle linee guida per l’autocostruzione potrebbe avere poca importanza definire a priori una tipologia di abitazione. Che l’abitazione sia per una coppia o per una famiglia, di 3 o 4 persone, in questa fase non cambia; il concetto infatti deve essere più ampio, definire un processo costruttivo per la realizzazione di un’abitazione “tipo”, che potrà essere ripreso per qualsiasi realizzazione di e per un utente generico, utilizzando questo sistema costruttivo.

Se infatti ci concentrassimo sul concetto di sistema costruttivo, definito dagli Eurocodici quale “*classe di procedimenti costruttivi definita dal principale materiale strutturale*”, capiremo quanto esso sia o possa, essere in parte scollegato dal progetto in sé; o meglio, se si pensasse ad esempio di realizzare una struttura definita da una sequenza di portali, potrebbe essere necessario sviluppare solamente due portali e la loro campata di connessione se tutti i seguenti fossero esattamente uguali ai primi. Allo stesso modo quindi, potremmo dire che, se un manuale di istruzioni definisse la modalità di realizzazione e la sequenza realizzativa di un frammento di abitazione, abbastanza complesso da far sì che la sua ripetizione possa portare alla realizzazione di un’intera abitazione, qualsiasi essa sia, allora po-

trebbe essere superfluo definirne le dimensioni totali o il numero di stanze interne; sarebbe sufficiente studiare quindi un solo modulo ripetibile.

Al fine però, di avere una visione integrata di struttura in compensato (*portal-system, core-system o box-system*), pacchetto di isolamento, componente impiantistica, sistema di copertura, finiture e componenti accessori, si ritiene necessario definirne una composizione unitaria e quindi la distribuzione spaziale interna. Al fine quindi di una più facile e dettagliata comprensione, sulla base dei casi studio visti in precedenza ma anche sulla situazione abitativa italiana, si propone lo sviluppo di un progetto in autocostruzione per un’abitazione avente le seguenti caratteristiche:

- \_ n.1 zona giorno Open Space;
- \_ n.1 bagno;
- \_ n.1 camera matrimoniale;
- \_ n.1 camera singola / camera ospiti / studio;
- \_ n. 1 locale di servizio / vano tecnico.



**DATI GENERALI**  
 SUPERFICIE UTILE LORDA: 62 m<sup>2</sup>  
 SUPERFICIE TERRAZZE: 28 m<sup>2</sup>  
 PENDENZA COPERTURA: 18%

**LEGENDA FINESTRE**  
 F1\_ 110X120  
 F2\_ 210X120  
 F3\_ 60X210

**LEGENDA PORTE**  
 A1\_ 100X210  
 A2\_ 80X210  
 A3\_ 80X210 S  
 A4\_ 70X210

**LEGENDA PORTE-FINESTRE**  
 PF1\_ 120X210

 **PLANIMETRIA\_Scala 1:100**

# PROSPETTI

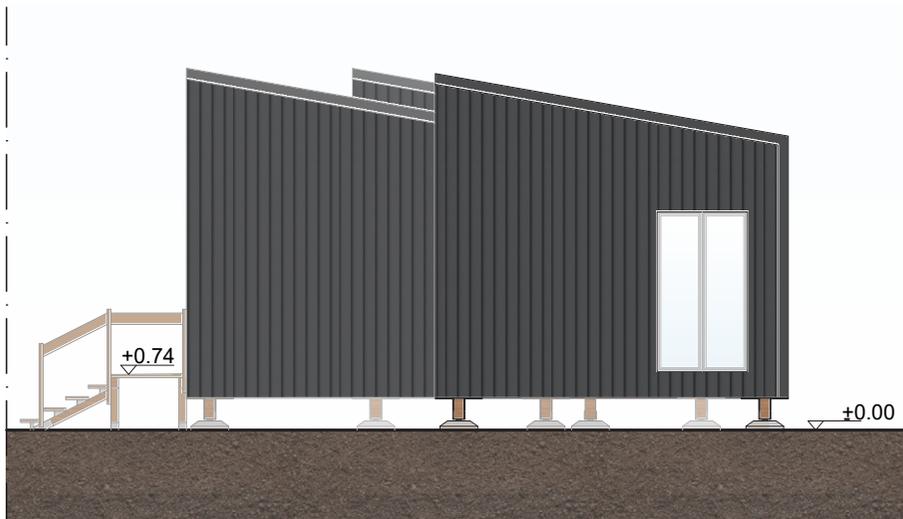


PROSPETTO NORD

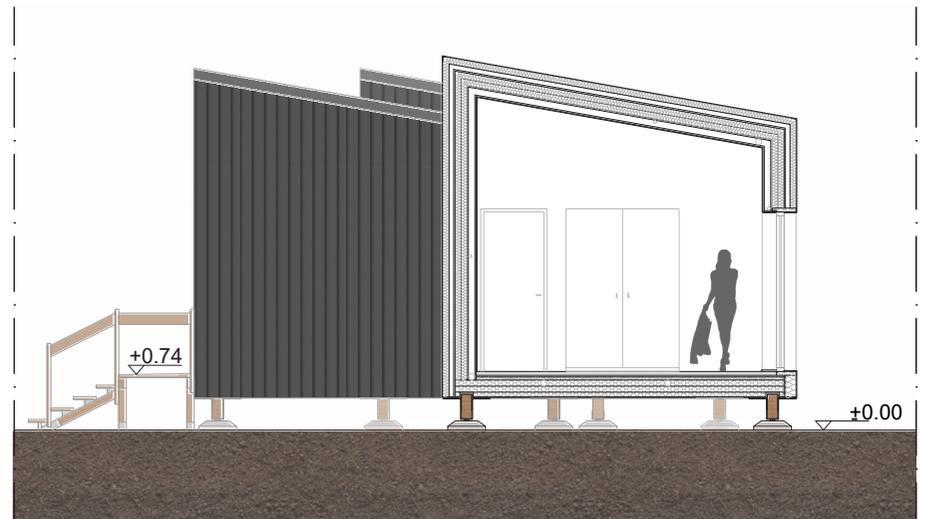


PROSPETTO SUD

PROSPETTI E SEZIONI



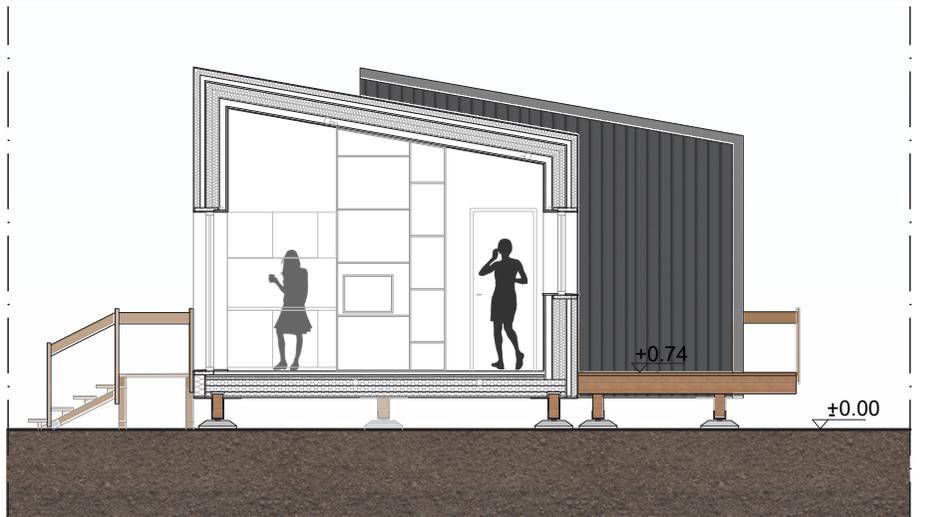
PROSPETTO OVEST



SEZIONE AA



PROSPETTO EST



SEZIONE BB

#### 4.11.1.1 Il Progetto

L'abitazione progettata per l'autoassemblaggio, è stata pensata per una giovane coppia che, spinta dalla voglia di possedere un'abitazione propria e raggiungere una propria stabilità, vede nell'autocostruzione una possibilità di risparmio economico e allo stesso tempo un processo di crescita personale e raggiungimento attraverso una collaborazione reciproca di un obiettivo, quello della realizzazione con le proprie mani della propria abitazione.

L'abitazione è stata pensata per essere realizzata anche in più lotti successivi, infatti, non si presenta come un'unica manica lunga e stretta ma in un'unità suddivisa a sua volta in tre sotto-unità tra loro "independenti".

Questi tre moduli rappresentano:

- il CORE dell'abitazione, dove trovano spazio un ampio open space di 23 m<sup>2</sup>, formato da cucina, sala da pranzo e soggiorno, e un bagno di servizio di 4,5 m<sup>2</sup>;
- il SERVICE-1 dell'abitazione, dove trovano spazio un'ampia camera matrimoniale di 15 m<sup>2</sup> con una cabina armadio di 2 m<sup>2</sup> circa e un vano tecnico accessibile esclusivamente dall'esterno;
- il SERVICE-2 dell'abitazione, uno spazio che inizialmente potrebbe essere vissuto quale uno studio, o una

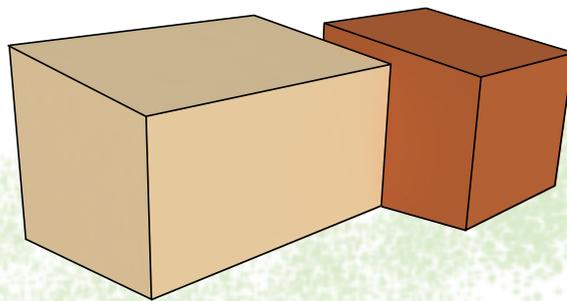
camera per gli ospiti, che si potrebbe trasformare in una futura camera singola di 12 m<sup>2</sup>.

L'abitazione, per rendere più semplici le operazioni di assemblaggio è stata pensata di un unico piano fuori terra, con una copertura ad una falda inclinata di circa 12° esposta ipoteticamente a S-SO, permettendo così il posizionamento ottimale di impianto solare e fotovoltaico.

L'abitazione, come detto in precedenza potrebbe essere realizzata in due fasi successive, come rappresentato nello schema della pagina successiva, in relazione al budget di spesa e alle tempistiche di realizzazione. Infatti, se i moduli CORE e SERVICE-1, sono i componenti principali dell'abitazione (FASE 1), il terzo modulo, definito SERVICE-2, potrebbe essere realizzato in un secondo momento (FASE 2).

L'estrema adattabilità e variabilità del sistema infatti può dare la possibilità di comporre i diversi moduli anche in tempi differenti, se appositamente studiati in fase di progettazione.

## \_FASE 1

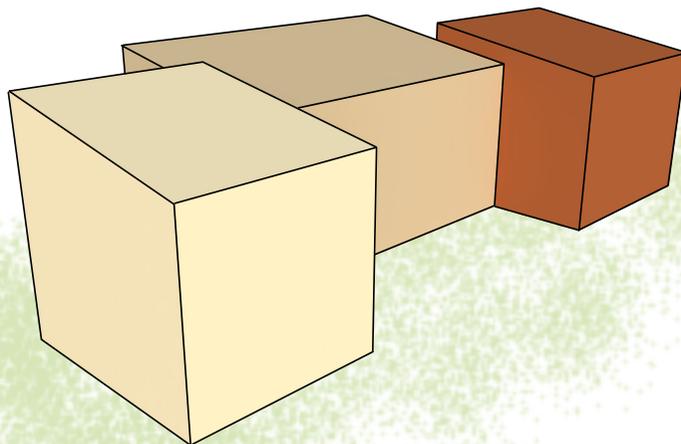


### Realizzazione CORE e SERVICE-1

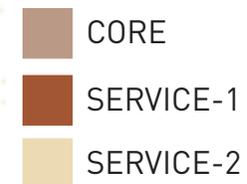


Visualizzazione schematica  
dei volumi in progetto

## \_FASE 2



### Realizzazione SERVICE-2



Visualizzazione schematica  
dei volumi in progetto

## **4.11.2 Seconda fase: esecutiva**

La seconda fase rappresenta il passaggio dal progetto all'esecuzione, iniziando dall'autoproduzione in cantiere dei componenti in compensato necessari alla realizzazione e composizione della struttura dell'abitazione.

### **4.11.2.1 Self-Production**

L'autoproduzione in cantiere prevede il taglio in autonomia, da parte dell'autocostruttore, dei componenti strutturali e non, in compensato, tramite l'utilizzo di una macchina a controllo numerico. Si è scelto di utilizzare una dimensione standard dei pannelli di compensato che ne permetta il taglio con una macchina a controllo numerico avente il piano di lavoro di dimensioni standard, 1,22x2,44 m.

**ATTENZIONE!** Questo è un limite da tenere sotto controllo anche e soprattutto in fase di progettazione dei componenti.

Ogni singolo pannello, in fase di progettazione deve essere classificato in relazione alla sua posizione, funzione, forma e caratteristiche intrinseche, in modo da poterlo identificare e posizionare, una volta in cantiere.

Il codice alfanumerico verrà riportato sul componente, dalla macchina a controllo numerico, con una leggera

incisione, in una posizione visibile e allo stesso tempo che non danneggi il componente in modo sostanziale.

### **4.11.2.1 Self-Build**

L'autocostruzione di un'abitazione di questo genere presenta sicuramente dei vantaggi ma anche delle problematiche non trascurabili. Se infatti la leggerezza dei componenti ne permette la semplice gestione in cantiere e l'altrettanto semplice assemblaggio, il processo presenta comunque alcune fasi difficili da gestire da personale non specializzato e dall'autocostruttore.

La scheda che segue viene redatta al fine di individuare le caratteristiche principali della User House in progetto, le problematiche e le operazioni effettuabili in autonomia da parte dell'autocostruttore.

Segue una schematizzazione dei passaggi principali in autocostruzione al fine di chiarire le sequenze realizzative e le scelte progettuali effettuate.

## USER HOUSE

### FASE 1: DI CONCEZIONE

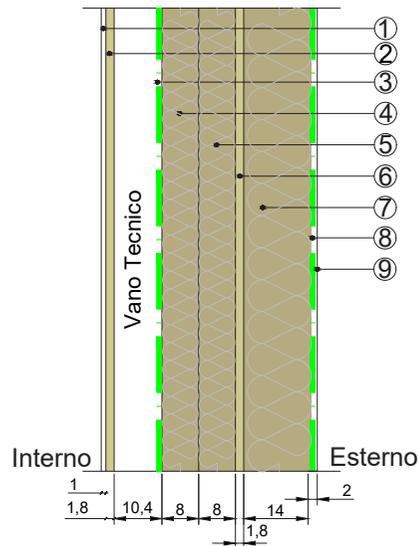
Sistema costruttivo	Compensato strutturale	Portal System	Box System	Core System
Progettazione	Integrata Soggetti inclusi	Autocostruttore	Tecnico Professionista	
Vincoli progettuali		Dimensioni pannelli standard Semplicità esecutiva No collanti	PRG Carichi massimi sollevabili Bisogni dell'utente	Legislazione No ponteggi No mezzi pesanti

### FASE 2: ESECUTIVA

Fondazioni	Tipologia Realizzazione	Puntuali - Pin Footings Impresa	A platea Autocostruttori	
Struttura in compensato	Compensato di spessore > 18 mm Realizzazione	Impresa	Autocostruttori	
Isolamento	Tipologia Modalità di posa in opera Posizione Spessore Ponti termici	Sintetico Insufflaggio A cappotto interno < 10 cm	Naturale Incollaggio Interno alla struttura 10 < x < 20 cm	Fissaggio A cappotto esterno > 20 cm
Infissi	Installazione e continuità isolamento	Connessione fondazioni-struttura principale Controtelaio isolato prefabbricato (tipo: Lybra o Elan)		
Impiantistica	Posizione Realizzazione	A parete, raddoppiando la struttura ed evitando di realizzare una controparete apposta Impresa		
Finiture	Realizzazione	Impresa	Autocostruttori	

## USER HOUSE\_STRATIGRAFIE

### PARETE 1



Stratigrafia di parete:

Interno

1. Rivestimento interno
2. Plywood
3. Membrana freno al vapore, tipo Rothoblaas Vaporvlies 120
4. Isolante in lana di roccia, pannello 226 tipo Rockwool
5. Isolante in lana di roccia, pannello 226 tipo Rockwool
6. Plywood
7. Isolante in lana di roccia, Frontrock Max, Rockwool
8. Membrana traspirante Rothoblaas Traspir EVO UV 210
9. Rivestimento esterno

Spessore

[cm]

1  
1,8  
-  
8  
8  
1,8  
14  
-  
-

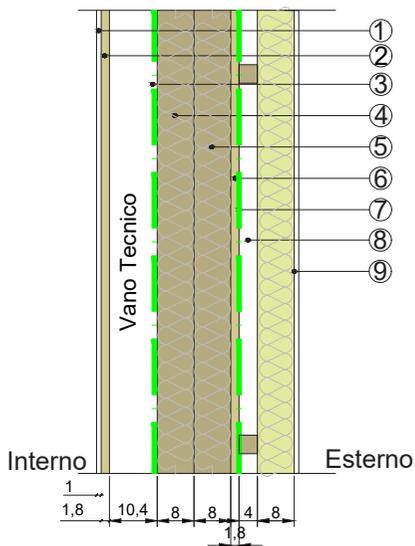
Esterno

Trasmittanza termica: 0,11 W/m<sup>2</sup>K

Massa superficiale: 68 kg/m<sup>2</sup>

Sfasamento: 12h 31'

### PARETE 1A



Stratigrafia di parete:

Interno

1. Rivestimento interno
2. Plywood
3. Membrana freno al vapore, tipo Rothoblaas Vaporvlies 120
4. Isolante in lana di roccia, pannello 226 tipo Rockwool
5. Isolante in lana di roccia, pannello 226 tipo Rockwool
6. Plywood
7. Membrana traspirante Rothoblaas Traspir EVO UV 210
8. Listellatura
9. Rivestimento esterno, pannello isolante-lamiera, tipo ISOPAN

Spessore

[cm]

1  
1,8  
-  
8  
8  
1,8  
-  
4  
8

Esterno

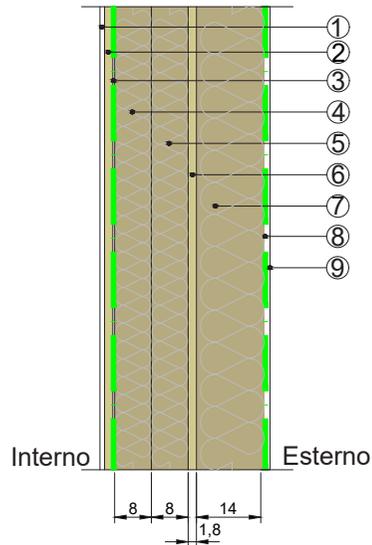
Trasmittanza termica: 0,13 W/m<sup>2</sup>K

Massa superficiale: 62 kg/m<sup>2</sup>

Sfasamento: 10h 36'

## USER HOUSE\_STRATIGRAFIE

### PARETE 2



Stratigrafia di parete:

Interno

1. Rivestimento interno
2. Plywood
3. Membrana freno al vapore, tipo Rothoblaas Vaporvlies 120
4. Isolante in lana di roccia, pannello 226 tipo Rockwool
5. Isolante in lana di roccia, pannello 226 tipo Rockwool
6. Plywood
7. Isolante in lana di roccia, Frontrock Max tipo Rockwool
8. Membrana traspirante Rothoblaas Traspir EVO UV 210
9. Rivestimento esterno

Spessore

[cm]

1  
1,8  
-  
8  
8  
1,8  
14  
-  
-

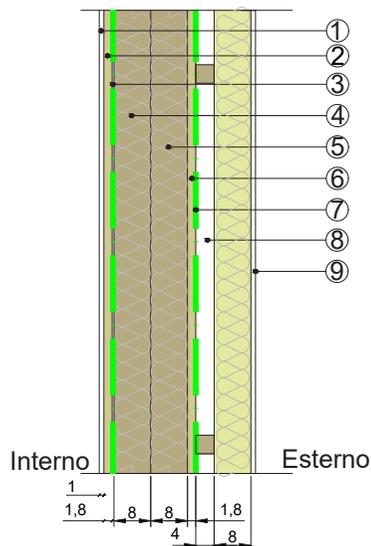
Esterno

Trasmittanza termica: 0,112 W/m<sup>2</sup>K

Massa superficiale: 67 kg/m<sup>2</sup>

Sfasamento: 12h 19'

### PARETE 2A



Stratigrafia di parete:

Interno

1. Rivestimento interno
2. Plywood
3. Membrana freno al vapore, tipo Rothoblaas Vaporvlies 120
4. Isolante in lana di roccia, pannello 226 tipo Rockwool
5. Isolante in lana di roccia, pannello 226 tipo Rockwool
6. Plywood
7. Membrana traspirante Rothoblaas Traspir EVO UV 210
8. Listellatura
9. Rivestimento esterno, pannello isolante-lamiera tipo ISOPAN

Spessore

[cm]

1  
1,8  
-  
8  
8  
1,8  
-  
4  
8

Esterno

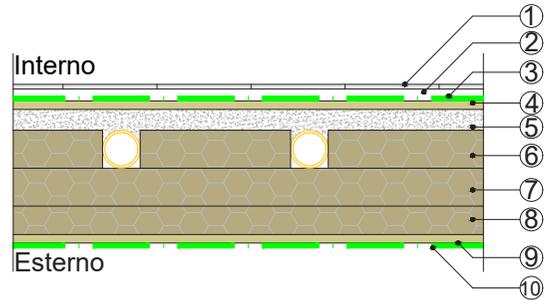
Trasmittanza termica: 0,136 W/m<sup>2</sup>K

Massa superficiale: 62 kg/m<sup>2</sup>

Sfasamento: 10h 23'

## USER HOUSE\_STRATIGRAFIE

SOLAIO 1



Stratigrafia di solaio:

Interno

1. Pavimentazione in piastrelle
2. Livellante e colla per posa della pavimentazione
3. Membrana freno al vapore, tipo Rothoblaas Vaporvlies 120
4. Plywood
5. Riempimento con argilla espansa, tipo PAVILECA
6. Isolante in lana di roccia, tipo Roulrock Kraft, Rockwool con interposti impianti
7. Isolante in lana di roccia, tipo Roulrock Kraft, Rockwool
8. Isolante in lana di roccia, tipo Roulrock Kraft, Rockwool
9. Plywood
10. Guaina impermeabilizzante

Spessore

[cm]

1
1,5
-
1,8
4
8
8
6
1,8
-

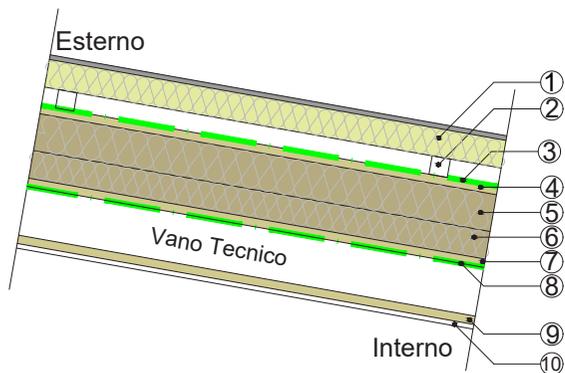
Esterno

Trasmittanza termica: 0,14 W/m<sup>2</sup>K

Massa superficiale: 60 kg/m<sup>2</sup>

Sfasamento: 10h 15'

COPERTURA



Stratigrafia tetto:

Esterno

1. Rivestimento esterno, pannello isolante-lamiera tipo ISOPAN
2. Listellatura (sez.: 4x4 cm)
3. Membrana altamente traspirante Rothoblaas Traspir Evo 300
4. Plywood
5. Isolante in lana di roccia, pannello 226 tipo Rockwool
6. Isolante in lana di roccia, pannello 226 tipo Rockwool
7. Plywood
8. Membrana freno al vapore, Rothoblaas Vapor Zenit Evo 160
9. Plywood
10. Rivestimento interno

Spessore

[cm]

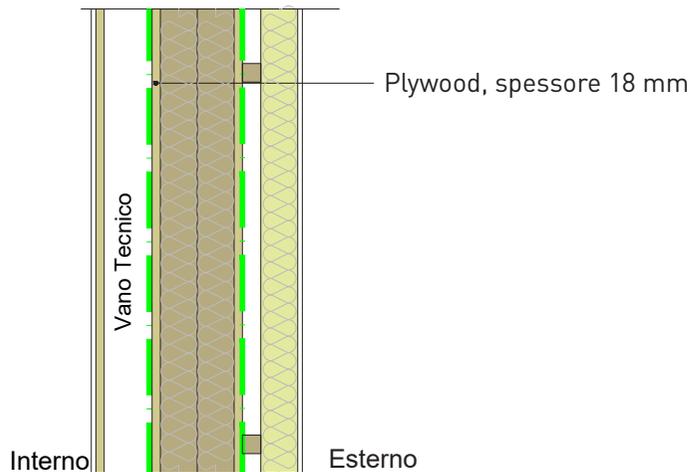
8
4
-
1,8
8
6
1,8
-
1,8
-

Interno

Trasmittanza termica: 0,17 W/m<sup>2</sup>K

Massa superficiale: 32 kg/m<sup>2</sup>

Sfasamento: 7h 10'

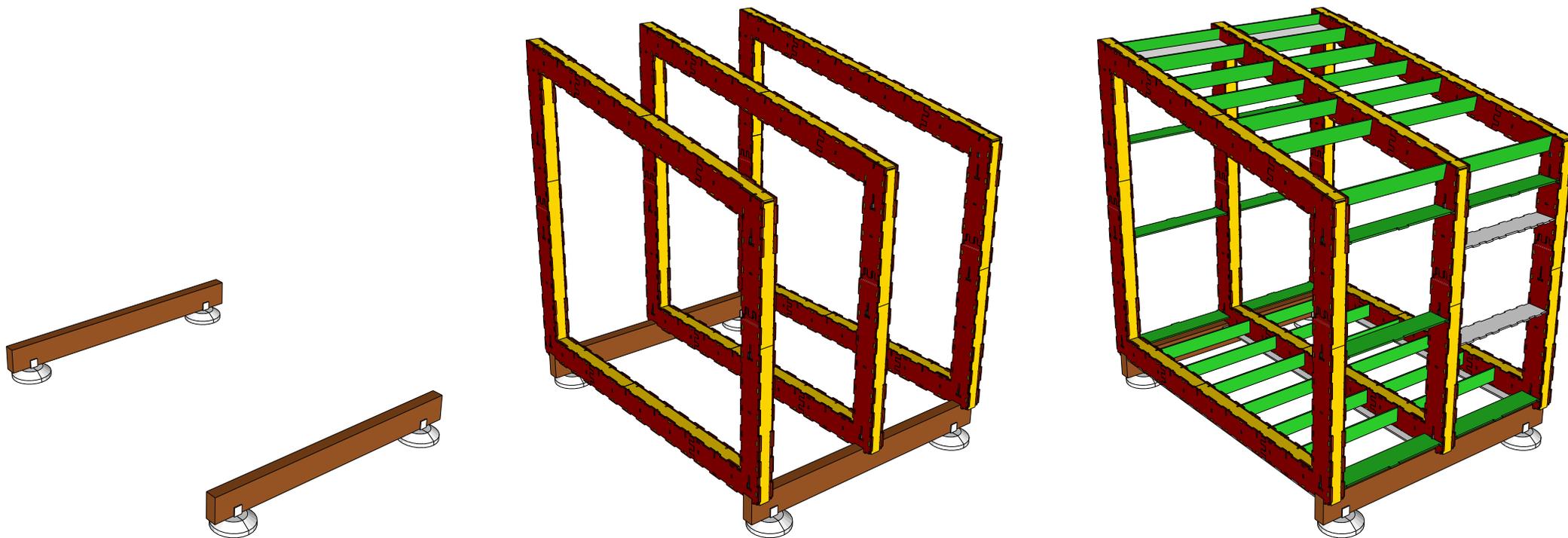


Dalle pagine precedenti si può comprendere quanto, effettivamente questo materiale, se utilizzato con intelligenza possa costituire involucro e struttura portante, ed essere integrato con qualsiasi materiale isolante. Non solo, essendo realizzato in spessori minimi, esso permette l'ottimizzazione dello spazio inerente alla struttura, conglobando impiantistica e coibentazione al suo interno.

Un particolare è stato studiato per permettere una più facile posa in opera in un'ottica autocostruttiva, l'isolante a parete e a tetto, è costipato all'interno di due pannelli di compensato, realizzando così un vano apposito per la sua installazione. Un dettaglio da non sottovalutare è quello di garantire al pannello isolante di espandersi, senza provocare danni alla struttura stessa. Non solo, questo ulteriore pannello di irrigidimento e separazione interna, permette di portare all'interno della struttura la componente impiantistica.

Rimangono molto importanti e indispensabili, come per tutte le costruzioni in legno, le nastrature di forometrie e connessioni con nastri appositi (vedi Rothoblaas).

Potrebbe essere interessante mantenere internamente, il pannello a vista, personalizzato con colori e finiture a piacere dell'utente finale, evitando la posa di una finitura interna che potrebbe portare problemi in futuro.



### FASE 1: REALIZZAZIONE FONDAZIONI

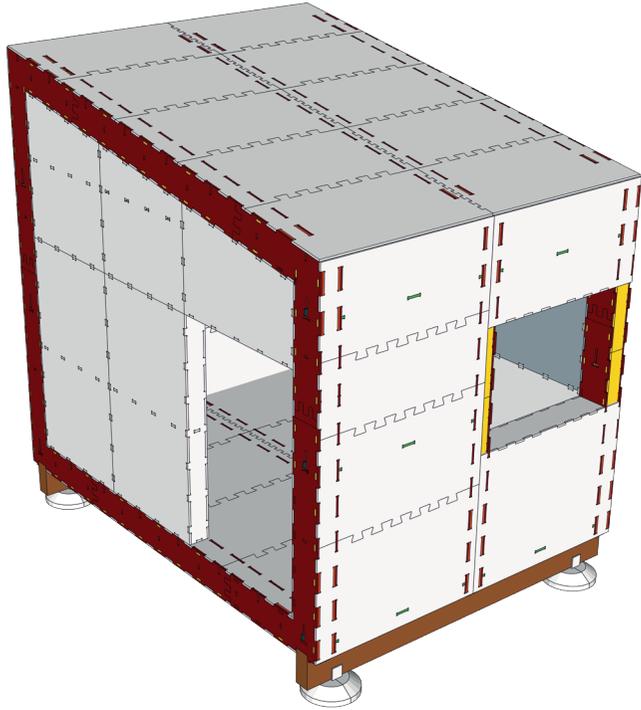
Partendo dal presupposto che il compensato deve essere adeguatamente protetto (attraverso l'utilizzo di guaine ad esempio) dall'umidità di risalita proveniente dal terreno, le fondazioni hanno il compito di sopraelevare e distaccare la struttura, dal terreno sottostante. Sono state indicate delle fondazioni puntuali, ma che non sono una scelta obbligata, infatti, dipenderà dalla conformazione stratigrafica del terreno, la scelta delle stesse. La trave radice funge da appoggio ai portali scatolari strutturali.

Una tra le problematiche incontrate già in fase di progettazione è il dislivello che si viene a creare tra livello terreno e accesso, il quale, deve essere colmato attraverso rampe o scale. Inoltre, durante la fase di autocostruzione, questo dislivello porta a delle problematiche di posa dei componenti strutturali.

### FASE 2: REALIZZAZIONE DELLA STRUTTURA A PORTALI

La struttura, realizzata con componenti in compensato, è formata da portali scatolari che vengono preassemblati a terra, completati con un riempimento isolante (esempio fibra di cellulosa, tipo ProCell, ad insufflaggio) e poi sollevata, completando, campata dopo campata, l'intera struttura. I connettori, di colore verde nello schema, fungono da irrigidimento della struttura, collaborando con la stessa all'assolvimento dei carichi. In generale i pannelli utilizzati sono da 18 mm, con alcuni pannelli di rinforzo "sottofinestra" o angolari, da 20-22 mm.

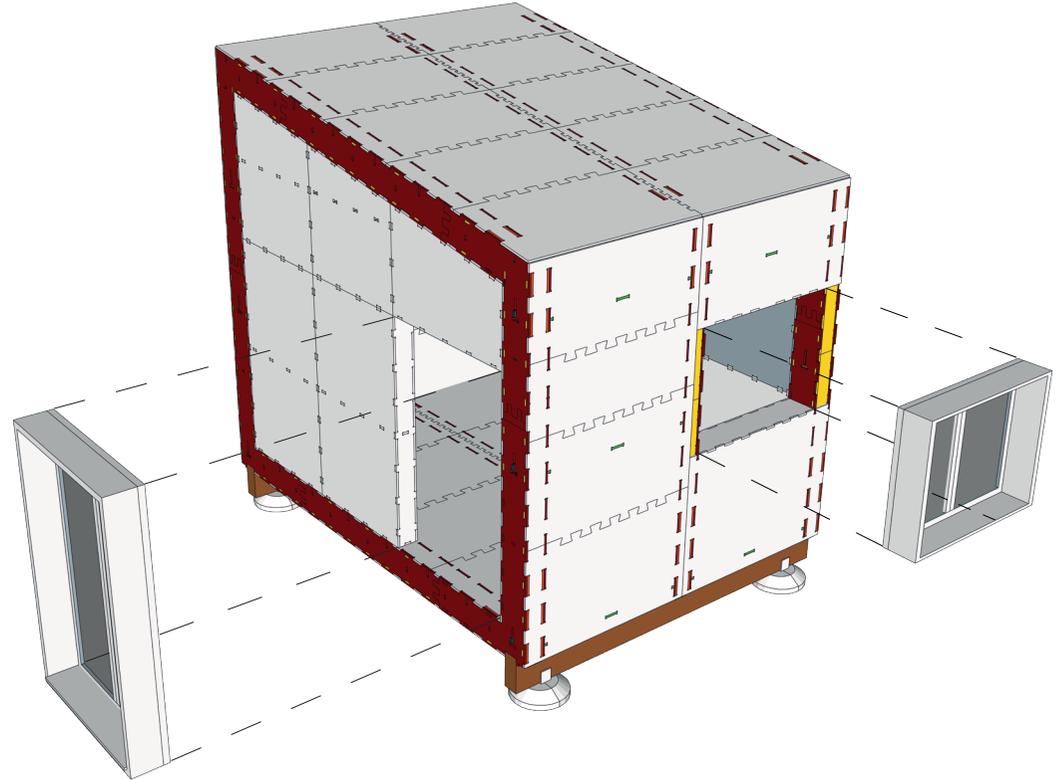
Tra le problematiche principali vi è l'insufflaggio e quindi la disposizione di un materiale isolante all'interno dei telai scatolari. La fase di autocostruzione invece, per dimensioni limitate, quali quelle in progetto, è gestibile da 3 operatori. Il montaggio dei singoli portali deve avvenire su teli, per proteggere il materiale dall'umidità, già dalla fase di costruzione.



### FASE 3: TAMPONAMENTI E ISOLAMENTO INTERNO

*Il completamento della struttura, avviene con la formazione dei diversi pacchetti, l'inserimento dei componenti di tamponamento in compensato, di diverse tipologie, in relazione se si tratta di posizione a vista, esposta, o meno. L'assemblaggio avviene a secco, unioni legno-legno e l'inserimento di viteria per ulteriore tenuta e sicurezza. La sequenza ideale sarebbe: solaio-pareti-copertura.*

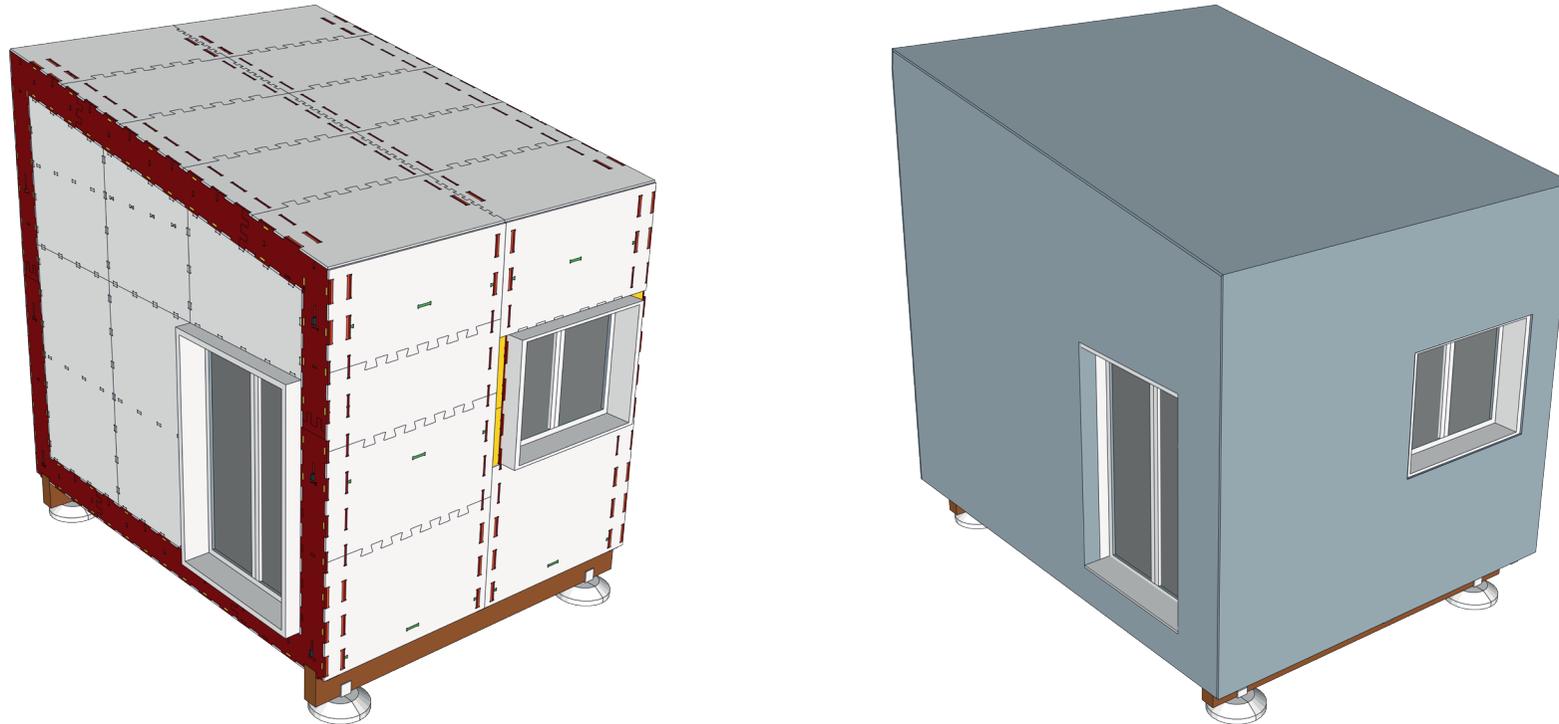
*Una tra le problematiche principali è l'inserimento dei pannelli isolanti al fine di realizzare una coibentazione senza soluzione di continuità.*



### FASE 4: INSTALLAZIONE INFISSI

*Gli infissi, possono essere inseriti nel vano apposito tramite la formazione di un controtelaio coibentato che garantisce un isolamento continuo, anche in questi punti particolarmente delicati. Diverse sono le soluzioni realizzate per le costruzioni in legno e non solo, che potrebbero essere adottate anche per questa tipologia costruttiva (vedi Elan Sistemi, oppure Libra).*

*Le problematiche in questo caso potrebbero essere proprio la giusta posa in opera del controtelaio isolante, un'operazione che richiede praticità e attenzione.*



#### FASE 6: RIVESTIMENTO ESTERNO

*Il rivestimento esterno, composto da cappotto di isolamento esterno e finitura esterna, potrebbe essere di diverse tipologie, in relazione alle preferenze dell'utente stesso. Le problematiche in questo caso sono sicuramente il peso apportato dal cappotto sulla struttura in compensato, la cui soluzione potrebbe essere posare lo stesso al di sopra ad alcune piastre metalliche collegate alla trave radice di fondazione, in modo da svincolare almeno dal punto di vista dei carichi, la struttura in compensato, ed utilizzarla solamente come ancoraggio superiore dell'isolante. Al fine di creare una ventilazione delle pareti e della copertura, si potrebbero inserire dei listelli in abete grezzo di sezione 5/6, ai quali ancorare i pannelli isolanti. Bisognerebbe quindi ridurre al minimo il peso effettivo del cappotto. Pannelli preassemblati isolante-lamiera, potrebbero rappresentare una buona soluzione. La fase impiantistica, vista la necessità di avere l'agibilità dell'abitazione, dovrà essere eseguita da una ditta esterna che dovrà certificare gli impianti.*

### **4.11.3 Terza fase: esercizio, manutenzione e recupero**

Fase di esercizio e manutenzione sono simili a quelle di un'altra abitazione. Per qualsiasi intervento impiantistico inoltre, se la struttura interna venisse lasciata a vista, non vi sarebbe alcun problema di rimozioni invasive da realizzare; questo vantaggio è dato dalla possibilità di rimuovere semplicemente un pannello di compensat per accedere al vano tecnico di parete.

Novità rispetto ad altre tipologie potrebbe essere quella di disassemblaggio e riutilizzo con un riassetto della struttura, in altro sito. Come precedentemente detto questo aspetto, apre uno scenario di sostenibilità e di mercato, nuovo, che vede un ciclo di vita dell'abitazione rinnovato. È quindi un ciclo che viene replicato, grazie alla possibilità di assemblare e disassemblare l'abitazione, a secco, senza l'utilizzo di collanti e massetti in calcestruzzo o altro materiale umido. L'umidità, in questa tipologia di abitazione è l'aspetto da tenere maggiormente controllato e già in fase progettuale devono essere verificate tutte le stratigrafie e i punti critici della struttura.

## Conclusioni e prospettive

Il percorso di tesi presentando differenti aspetti riguardanti il tema compensato, ne ha analizzato gli **impieghi**, la **crescita tecnologica**, l'**innovazione progressiva dei processi di lavorazione e produzione** dello stesso, e infine le prospettive future, con una particolare attenzione verso le applicazioni in campo architettonico.

Le caratteristiche di questo materiale, **flessibilità e volubilità** su tutte, hanno fatto sì che il compensato venisse utilizzato per diversi scopi e nei più svariati campi applicativi, apportando un'innovazione tecnologica in ogni settore; alla crescita del materiale è corrisposto inoltre un avanzamento tecnologico dei processi, delle tipologie, dei sistemi e dei macchinari di lavorazione, oltre che, un'innovazione continua dei prodotti per i quali è stato utilizzato.

In relazione al campo architettonico, si può evidenziare come, ad una attenta ricerca dei casi studio, è seguita un'analisi tipologica e tecnologica complessiva, dalla quale è nata una lettura e classificazione inedita, dal punto di vista tecnologico, costruttivo e compositivo. In particolare sono stati individuati tre differenti **sistemi costruttivi**, in continua evoluzione e ai quali vengono apportate migliorie costanti dal punto di vista tecnico, realizzativo, produttivo e progettuale.

L'obiettivo di questa prima classificazione è stato quello di fornire un'analisi di base delle possibilità tecnologiche date sia dal materiale che dal singolo sistema costruttivo, che possa indirizzare verso una più attenta e studiata progettazione futura di architetture sperimentali e moduli abitativi.

Gli ultimi progetti e le ultime realizzazioni di strutture in compensato, hanno trovato nella **Digital Fabrication** un alleato particolarmente utile alla loro progettazione e realizzazione, permettendo lo sviluppo di forme, geometrie e componenti realizzati con precisione millimetrica, prodotte grazie alla trasposizione fisico-digitale di algoritmi matematici.

Queste realizzazioni architettoniche, analizzate durante il percorso di tesi, hanno fatto rilevare alcuni aspetti importanti e di seguito evidenziati:

\_ le esperienze principali sono state realizzate nel campo della **didattica**, della **ricerca** e nell'ambito di **concorsi** progettuali per la realizzazione di **architetture sperimentali** e solamente in rari casi isolati le realizzazioni sono uscite da questo scenario di sperimentazione e prototipizzazione;

\_ i sistemi costruttivi in legno compensato e le appli-

cazioni stesse in campo architettonico, nell'ultimo ventennio, sono in crescita;

\_il fattore determinante e scatenante di questo interesse verso le strutture sperimentali in compensato, è stato sicuramente l'introduzione di sistemi digitali e software di calcolo, per la progettazione, la modellazione, la simulazione dei comportamenti statici e dinamici, e la realizzazione delle strutture in campo virtuale, rendendo possibile, la modellazione tridimensionale preventiva di strutture anche mediamente complesse e la riduzione dei singoli componenti a semplici elementi piani ottenibili attraverso il taglio con macchina a controllo numerico;

\_la **progettazione** rappresenta la fase più importante del processo realizzativo, infatti non vi è la possibilità di intervenire manualmente in fase di esecuzione, se non per piccole operazioni;

\_le tempistiche progettuali si allungano al fine di ridurre quelle relative alla posa in opera, che deve tendere ad essere una semplice e ripetibile sequenza costruttiva da eseguire senza difficoltà;

\_ ad oggi, anche se le normative in campo architettonico, puntano ad uno sviluppo sostenibile di nuove ti-

pologie costruttive ecosostenibili, utilizzando materiali riciclabili, riutilizzabili, rinnovabili e aventi cicli di vita a basso impatto ambientale, nessuna azienda ha investito in questa tipologia costruttiva che sfrutta il compensato di legno e la **Digital Fabrication** al fine di realizzare moduli abitativi;

***\_ non esiste ancora una Wikihouse Italia;***

\_ gli scenari e le prospettive di impiego futuri sono rintracciabili, in relazione alle possibilità progettuali, autoproduttive, di condivisione delle esperienze, dei file di taglio, date dalle moderne tecnologie digitali, nella pratica di **autocostruzione (DIY)** di moduli abitativi;

\_ ulteriori sviluppi in questo campo potrebbero essere rappresentati dalla redazione di **linee guida** e **schemi di montaggio** per l'autoproduzione e autocostruzione di abitazioni in compensato;

\_ un ulteriore campo d'applicazione di questi sistemi costruttivi, è rappresentato dall'**intervento sul costruito**, reso possibile e favorito sia dal basso peso specifico del compensato, sia dal livello di precisione raggiunto dalla progettazione digitale e dalle innovative tecnologie di rilievo (laser scanner, fotogrammetria digitale, rilievi da drone, rielaborazione in ambiente tridimen-

sionale e virtuale delle nuvole di punti).

L'evoluzione di un materiale ha quindi determinato un progresso tecnologico a 360 gradi, interessando svariati ambiti e giungendo fino all'architettura, oggi attraversata da una rivoluzione digitale importante e significativa, grazie alla quale, è possibile, sin da una fase preliminare, avere un controllo totale sul progetto in fase di elaborazione.

In conclusione quindi, la tesi ha voluto indagare i sistemi costruttivi, le tecnologie produttive, realizzative, la storia, i diversi campi di applicazione, giungendo sino alla svolta in campo architettonico, fornita dalla Digital Fabrication, al fine di introdurre nuovi scenari e prospettive percorribili in campo architettonico. Tuttavia **sarebbero necessari ulteriori indagini al fine di apportare un'ottimizzazione strutturale e una migliore integrazione tra struttura, coibentazione, sistemi impiantistici, e opere accessorie, oltre che uno studio accurato delle modalità di posa in opera con la redazione di schemi costruttivi dettagliati e linee guida per l'autocostruzione, un'analisi economica con l'obiettivo di evidenziare i vantaggi dell'utilizzo del compensato di legno in sostituzione di materiali costruttivi tradizionali e indagini strutturali al fine di verificare la durabilità dei componenti e delle relative connessioni, nel tempo.**

Si può quindi affermare che ***i sistemi costruttivi in compensato sono lontani da un mercato abitativo reale, non rappresentando, per lo meno attualmente, un'alternativa concreta ai sistemi costruttivi tradizionali.***

***Meritevole di ulteriori sviluppi è la pratica, introdotta nel percorso di tesi, di autoproduzione e autocostruzione di moduli abitativi e in particolare, del concetto di User House.***



### CAPITOLO 1

**Apprendimento:** capacità di “utilizzare le esperienze precedenti per modificare il proprio comportamento in modo tale da raggiungere un miglior adattamento”.

(Fonte: Cesa-Bianchi, Massimini, Poli, 1989)

“L'apprendimento comporta sempre una trasformazione attiva e dinamica della struttura cognitiva, una parte della quale si riorganizza completamente per permettere ai nuovi concetti di inserirsi e connettersi con il resto delle conoscenze”.

(Fonte: Carli, 1996)

**Bakelite:** resina artificiale ottenuta in laboratorio, a struttura macromolecolare. Fu inventata e brevettata nel 1907 dal chimico inorganico belga Leo Baekland, che visse in America, a New York, il quale le diede il nome.

(Fonte: <http://www.bakelite.it/>)

**Derive:** definita anche “imbarcazione a deriva mobile”, definisce un gruppo eterogeneo di classi di imbarcazioni di piccole dimensioni non cabinate.

(Fonte: Wikipedia)

**Dragamina:** nave militare di piccolo tonnellaggio, attrezzata specificamente per il dragaggio delle mine su-

bacquee, dotata di speciali caratteristiche di protezione passiva (scafo resistente all'onda d'urto di un'esplosione subacquea, e costruito con l'impiego di materiali amagnetici e riduttori di rumore).

(Fonte: Vocabolario Treccani Online)

**GRP** (Glass reinforced plastic): “...is a composite material that consists of a polymer matrix and glass fibers. The polymer matrix is usually an epoxy, vinylester, or polyester thermosetting resin. The resin brings the environmental and chemical resistance to the product, is the binder for the fibers in the structural laminate and defines the form of a GRP part. The glass fibers add strength to the composite...”

(Fonte: <https://www.hobas.com/grp-pipe-material/>)

**Longherone:** membratura resistente disposta in senso longitudinale rispetto alla struttura di cui fa parte. In particolare, nel telaio dei veicoli, sono così chiamate le travi di fiancata; nelle costruzioni aeronautiche le travi portanti della struttura alare; nei ponti metallici, le travi secondarie disposte parallelamente all'asse del ponte.

(Fonte: Enciclopedia Treccani)

**Paratia:** nelle costruzioni aeronautiche, elemento trasversale di separazione tra compartimenti della fusoliera destinati a funzioni diverse, quale, per es., la p. parafiamma, che separa la parte contenente il motore da quelle contigue.

(Fonte: Vocabolario Treccani Online)

## CAPITOLO 2

**Legno massello:** per legno massello o legno massiccio si intendono i prodotti di legno la cui struttura e composizione, rispetto alla materia prima “tondame”, ha subito solo leggere modifiche. (...) un'altra caratteristica che risulta da questo concetto è il fatto che dalla materia prima si ricavano, in linea di principio, solo prodotti a prevalente sviluppo longitudinale.

(Fonte:[http://www.canducci.net/schede\\_prodotti\\_ita/5\\_LE-GNO-MASSICCIO.pdf](http://www.canducci.net/schede_prodotti_ita/5_LE-GNO-MASSICCIO.pdf))

**Pannello multistrato:** composto da una sovrapposizione multipla di sottili fogli di legno, ricavati con particolari macchine, dai tronchi. Questi fogli vengono incollati tra loro con le fibre poste in senso alternato e sono sempre in numero dispari (3, 5, 7, ecc.): si ottiene così un pannello particolarmente robusto in cui le tensioni

e le deformazioni sono appunto “compensate” dalla disposizione alternata delle fibre.

(Fonte: [www.tuttolegno.eu](http://www.tuttolegno.eu))

**Resistenza al fuoco (R):** “capacità portante in caso di incendio, per una struttura, per una parte di struttura o per un elemento strutturale nonché la capacità di compartimentazione rispetto all'incendio per gli elementi di separazione sia strutturali, come muri e solai, che non strutturali, come porte e tramezzi”.

(Fonte: DM 09/03/2007)

**Reazione al fuoco:** grado di partecipazione di un materiale combustibile al fuoco al quale è sottoposto.

(Fonte: p. 89, Studiodeda, 2012)

**Veneering:** rivestimento esteriore usato per nobilitare un legno di scarso valore: una pellicola che mascherava la reale natura di una cosa.

(Fonte: WILK, 2017)

**Veneers:** sfogliati di legno solitamente di spessore minore o uguale a 3 mm (Fonte: Woodwork: A Step-by-Step Photographic Guide to Successful Woodworking, DK Pub, 2010). Indica il piallaccio, cioè il singolo foglio di legno.

(Fonte: WILK, 2017)

## CAPITOLO 3

**DIB** (Do it Better): realizzare qualcosa in autocostruzione, ma realizzarlo meglio, senza pensare che non lo si possa fare, vi è sempre una strada per fare qualcosa in modo migliore.

**DIY**: “Do it Yourself”, lessicamente “Fallo da solo”, è il nostro “Fai da Te” (traduzione).

**Digital Fabrication**: “*Fabrication processes where the numerical controls and computers transforms digital information into real physical products*”.

(Fonte: Lena-Acebo F. J., García-Ruiz M. E., *Organizational Transformation and Managing Innovation in the Fourth Industrial Revolution*. Business Science Reference, 2018)

**Giunto**: Luogo dove due o più elementi costruttivi si incontrano, sono fissati o uniti, con o senza prodotti di giunzione.

(Fonte: ISO 2444:1998)

**HVAC**: acronimo inglese che sta per “Heating, Ventilation and Air Conditioning”, dunque, l’acronimo HVAC racchiude tutti i sistemi di riscaldamento, ventilazione e condizionamento dell’aria. In questa categoria appartengono le apparecchiature che dissipano una gran quantità di energia elettrica. Talvolta l’acronimo può essere affiancato da una R (HVAC-R), in tal caso si parlerà

anche di refrigerazione.

(Fonte: [http://www.enipro.it/it/it\\_come\\_hvac.html](http://www.enipro.it/it/it_come_hvac.html))

**Icosaedro**: è un qualsiasi poliedro con 20 facce. In particolare, l’icosaedro regolare è un solido platonico con 20 facce triangolari, trenta spigoli e 12 vertici.

(Fonte: <https://www.youmath.it/formulari/formulari-di-geometria-solida/1909-icosaedro.html>)

**Industrializzazione edilizia**: “il termine industrializzazione edilizia si riferisce a tutta una gamma di diversi metodi o procedimenti di costruzione che si basano, in maggiore o minore misura, sulla standardizzazione e l’impiego di materiali standardizzati”

(Fonte: Nardi G. (1976), *Progettazione architettonica per sistemi e componenti*. Contributi didattici.)

## CAPITOLO 4

**Autocostruzione**: processo edilizio in cui l’abitante è, in parte o in tutto, soggetto attivo nelle diverse fasi, dalla progettazione alla gestione dell’edificio, passando attraverso la costruzione.

(2014, Andrea Bocco, Gianfranco Cavaglià, *Cultura Tecnologica dell’architettura, pensieri e parole, prima dei disegni*, p. 33, Carocci Editore, Roma)

**Autocostruzione Associata:** intervento di autocostruzione promosso da gruppi di persone, anche facenti parte di famiglie diverse, riuniti in cooperative al fine di realizzare le loro future abitazioni rendendosi disponibili per le ore necessarie al lavoro;

**Autocostruzione Individuale:** il promotore dell'intervento in questo caso è il singolo; propone la realizzazione di un'opera destinata a sé stesso, con la possibilità di includere nel processo realizzativo parenti, e volontari;

**Autocostruzione Totale:** l'intera opera viene realizzata dall'autocostruttore senza alcun ausilio da parte di imprese esterne;

**Autocostruzione Parziale:** autocostruzione con interventi puntuali di imprese specializzate;

**Autocostruzione Assistita:** l'autocostruttore è affiancato da un ente che lo supporta nelle fasi burocratiche e amministrative;

**Autocostruzione Spontanea:** l'autocostruttore non si avvale di un ente esterno ma si fa carico dell'intera parte organizzativa e burocratica necessaria all'avvio del cantiere;

**Self-build:** 'where the first occupants arrange for the building of their own dwelling and, in various ways, participate in its production'.

(Fonte: Duncan and Rowe, 1993)

**Autopromozione:** si intende la pianificazione e la realizzazione di servizi, attrezzature ed infrastrutture da parte dell'Amministrazione Comunale, con il coinvolgimento diretto dei cittadini che si fanno promotori nell'attuazione delle opere pubbliche nelle zone ex-abusive.

(Fonte: [https://www.comune.roma.it/pcr/it/dip\\_pol\\_riq\\_per\\_zone.page](https://www.comune.roma.it/pcr/it/dip_pol_riq_per_zone.page))

**Prefabbricazione:** produzione fuori opera [...] di parti di edificio o di edifici completi.

(Fonte: Canavesio, Ceragioli, 1978)

**Progettazione partecipata:** processi progettuali che coinvolgono gli utenti degli oggetti o luoghi che vengono progettati.

(Fonte: Wates, 2000)

### CAPITOLO 1

\_ WILK C., BISLEY E., *Plywood: a material story*. United Kingdom: Thames and Hudson, 2017;

\_ WEINAND Y., *Advanced Timber Structures: Architectural Designs and Digital Dimensioning*, Birkhauser Architecture. Svizzera: The Arts, 2016;

\_ Morfus UK, *Meditations on a Mosquito – A Lesson in Smart Engineering and Assembly, Modular Design*. UK Design, 2016;

\_ CANEPARO L., *Fabbricazione digitale dell'architettura: il divenire della cultura tecnologica del progettare e del costruire*. Milano: Angeli, 2012;

\_ FIRRONE T., *Il legno. Tradizione e innovazione*. Aracne Editrice, 2010;

\_ SINOPOLI N., TATANO V., *Sulle tracce dell'innovazione. Tra tecniche e architettura*. Franco Angeli Editore, 2008;

\_ ENGELBRECHT L. C. , *Wood, Plywood and Veneer, Cranbrook, the New Bauhaus and the W. P. A.: the Origins of the Eames Chair of 1946*, 1987;

\_ MANZINI E., *La materia dell'invenzione*. Milano : Arcadia, 1986;

\_ DICKENS C., *Our Mutual Friend*. Londra: Wordsworth Editions Ltd, 1864-1865;

### CAPITOLO 2

\_ WILK C., BISLEY E., *Plywood: a material story*. United Kingdom: Thames and Hudson, 2017;

\_ PICCARDO C., presentazione di BERNASCONI A., *Sostenibilità degli edifici in legno: indirizzi per la progettazione: valutazione ambientale, sistemi costruttivi, processi di filiera, normativa e casi di studio*. Milano: Angeli, 2015;

\_ GIACHINO D. M., *Legno: manuale per progettare in Italia*. Torino: UTET Scienze tecniche, 2013;

\_ STUDIODEDA, *Sustainable design by Networking, Edifici a struttura di legno, progettazione e realizzazione*. Cologno Monzese (MI): Lampi di Stampa, 2012;

\_ WOODLAB, *Il compensato di pioppo*. Torino: Politecnico di Torino, 2012;

\_ CALLEGARI G., ZANUTTINI R., *Boislab: il legno per un'architettura sostenibile*. Firenze: Alinea, 2010;

\_ FIRRONE T., **Il legno. Tradizione e innovazione**. Aracne Editrice, 2010;

\_ Cosmit S.P.A., Federlegno - Arredo, **Sintesi dei sistemi di classificazione delle emissioni di formaldeide dai pannelli a base di legno, in vigore in vari ambiti geografici**. Cosmit S.P.A. e Federlegno - Arredo, 2008;

\_ SCHICKHOFER G., BERNASCONI A., **Pannelli di legno: prestazioni, misure, impieghi nell'edilizia**. Milano: Pro-mo legno, 2008;

\_ DM 10/10/2008, **Disposizioni atte a regolamentare l'emissione di aldeide formica da pannelli a base di legno e manufatti con essi realizzati in ambienti di vita e soggiorno**.

\_ Federlegno-Arredo, COSMIT, **Sintesi dei sistemi di classificazione delle emissioni di formaldeide dai pannelli a base di legno, in vigore in vari ambiti geografici**. Federlegno-Arredo, COSMIT, 2008;

\_ BERTA L., BOVATI M., **Progettare con il legno : prestazioni, materiali, tecniche costruttive, progetti e realizzazioni**. Santarcangelo di Romagna: Maggioli Editore, 2007;

\_ ALLEGRO G., BISOFFI S., VIETTO L., COALOA D., CA-

STRO G., FACCIOTTO G., GIORCELLI A., **PIOPPICOLTURA, produzioni di qualità nel rispetto dell'ambiente**. Casale Monferrato: Istituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura, 2000-2006;

\_ ADELIZZI D., **Manuale dei semilavorati: semilavorati di legno naturale e pannelli a base legno**, Reggio Emilia: Consorzio Legnolegno, 1999;

\_ NUTSCH W., BUZZELLI G. E., **Manuale tecnico del legno : guida pratica per l'edilizia e gli interni : progettazione e costruzione: materiali e tecniche di lavorazione**, Napoli: Sistemi Editoriali, 2006;

\_ LAVISCI P., PESI I., ZANUTTINI R., **Guida all'uso del compensato in conformità alla normativa UNI EN**, Milano: Assopannelli - Federlegno Arredo, 1997;

\_ FRISON G., **Origine e caratteristiche delle principali specie di pioppo**. Casale Monferrato, 1995;

\_ CASTRO G., PAGANINI F., **Caratterizzazione fisico meccanica del legno di pioppo. Indagini condotte sui cloni di Populus x Euramericana 'I-214' e 'BL Costanzo'**, Milano: Xilon, 1993;

\_ GIORDANO G., **Tecnologia del legno - Volume I La materia prima**. Torino: UTET, 1983;

## CAPITOLO 4

\_ GIORDANO G., *Tecnologia del legno – Volume II le utilizzazioni industriali*. Torino: UTET, 1983;

\_ SHEA J. G., *Plywood working for everybody*. Princeton: Van Nostrand, 1963;

\_ MITCHELL P. J., *New Housing and its materials 1940-1956*. Washington: U.S.D. of Labor, 1958;

## CAPITOLO 3

\_ WILK C., BISLEY E., *Plywood: a material story*. United Kingdom: Thames and Hudson, 2017;

\_ WEINAND Y., *Advanced Timber Structures: Architectural Designs and Digital Dimensioning*, Birkhauser Architecture. Svizzera: The Arts, 2016;

\_ CANEPARO L., *Fabbricazione digitale dell'architettura: il divenire della cultura tecnologica del progettare e del costruire*. Milano: Angeli, 2012;

\_ VAN ZIJL I., KUPER M., *Rietveld Gerrit: The Complete Works*. Utrecht: Princeton Architectural Press, 1992;

\_ HERBERT G., *The Dream of the Factory-Made House*. US: MIT Press, 1984;

\_ BENSON M., HAMIDUDDIN I., *Self-Build Homes. Social Discourse, Experiences and Directions*. Londra: UCL Press, 2017;

\_ BOCCO A., CAVAGLIÀ G., *Cultura Tecnologica dell'architettura, pensieri e parole, prima dei disegni*. Roma: Carocci Editore, 2014;

\_ CANEPARO L., *Fabbricazione digitale dell'architettura: il divenire della cultura tecnologica del progettare e del costruire*. Milano: Angeli, 2012;

\_ BENEDETTI C., *Costruire in legno: edifici a basso consumo energetico*. Bolzano: Bolzano University Press, 2009;

\_ MANCIA P. G., *Architecture PC: la rivoluzione digitale in architettura*. Milano: Hoepli, 2004;

\_ DUNCAN S.S., ROWE A., *Self-provided Housing: The First World's Hidden Housing Arm*. Urban Studies, 1993;

\_ BENEDETTI C., BACIGALUPI V., *Legno architettura: il futuro della tradizione*. Roma: Kappa, 1991.

## TESI CONSULTATE

\_ GHIETTI A., ***Soluzioni innovative per migliorare gli impatti ambientali di una poltrona.*** Relatore: COMINO E.; Corelatore: BIANCO I., Politecnico di Torino, 2018;

\_ DE JONGE M., ***The Wikihouse Experiment: An Analysis of the Challenges and Opportunities for Future Scaling-Up.*** Relatore: PINEDA REVILLA B., Amsterdam University, 2018;

\_ EDWARD D.F. A., ***Building Open-source, To what extent does WikiHouse apply the open-source model to architecture?*** Tutor: NIKOLOPOULOU M., School of Architecture, University of Kent, 2018;

\_ AIMONE GIGGIO M., RONCO V., ***Architettura in compensato: il caso WikiHouse: studio della fattibilità economica e ambientale finalizzato alla progettazione di un modulo per cicloturisti realizzato con elementi piani.*** relatore Guido Callegari, Corrado Carbonaro, Manuela Rebaudengo, Politecnico di torino, 2017;

\_ GILLKVIST O., HENRIKSSON V., POULSEN E., ***Digital Wood Design & Fabrication of a Full-scale Exhibition Structure in Plywood.*** Examiner & supervisor: Norell D. & Lundgren J., Chalmers Architecture, 2016;

\_ MAURIZI D., ***Releasing Architecture, tooling communities with open-source architecture.*** Jonas Lundberg,

2016;

\_ NOVARA C., ***Veneer house project: a prototype construction in Nepal: sviluppo e costruzione di un progetto umanitario di abitazione post-emergenziale in Nepal.*** relatore ALESSIO L.; correlatore CALLEGARI G.; supervisor KOBAYASHI H., TULLIANI J. M., Politecnico di Torino, 2016;

\_ REBSTOCK F., ***A New concept to Join Members in Frame Construction with CNC-Fabricated Timber Beams and LVL Nodes.*** Supervisors: SANDBERG D., SCHMID V. Technical University of Berlin, 2015;

\_ BOTTA S., ***Costruire in legno: le radici dell'innovazione: evoluzione storica e prospettive dei sistemi di prefabbricazione leggera in edilizia.*** relatore: CALLEGARI G., Politecnico di Torino, 2015;

\_ VISCHER L., ***SHAPING CNC-CUT PLYWOOD STRUCTURES.*** Menthors: Klein T., STOUTJESDIJK P., BORGART A., Delft University, 2015;

\_ WAGNER M. E., ***Structural Connections in Plywood Friction-Fit Construction.*** Relatore: Oahsendorf J. A., 2014;

\_ REGNSTRÖM I., ***Glider's Plywood House.*** Tutor: MÄÄTTÄ M., 2014;

\_ MCNICHOLAS J., ***Dynamic System***. Masters Thesis produced in collaboration with: Chetty A., Mtakwa S. Unitec Institute of Technology, 2013;

\_ SPINELLI A., ***Costruire in legno nell'architettura contemporanea: il sistema costruttivo a pannelli di compensato strutturali di legno regionale: un contributo per la valorizzazione della filiera piemontese***. relatore CALLEGARI G.; correlatori ROCCO V. M., ZANUTTINI R., Politecnico di Torino, 2009.

## CAPITOLO 1

[\\_http://barcheautocostruite.forumattivo.com/t85-barca-fondo-piatto-4-x-155;](http://barcheautocostruite.forumattivo.com/t85-barca-fondo-piatto-4-x-155)

[\\_https://www.youtube.com/watch?v=Jek-LPPErtk;](https://www.youtube.com/watch?v=Jek-LPPErtk)

[\\_www.raute.com/plywood-and-veneer;](http://www.raute.com/plywood-and-veneer)

[\\_http://madeupinbritain.uk/Plywood;](http://madeupinbritain.uk/Plywood)

[\\_www.vam.ac.uk/articles/a-history-of-plywood-in-ten-objects;](http://www.vam.ac.uk/articles/a-history-of-plywood-in-ten-objects)

[\\_http://thetimberpanel.blogspot.com/2013/09/nobel-plywood.html](http://thetimberpanel.blogspot.com/2013/09/nobel-plywood.html)

[\\_http://patentplaques-blog.com/invention-of-plywood/](http://patentplaques-blog.com/invention-of-plywood/)

[\\_www.thillmann-collection.de/webe/kollektion/sperholz/index.html;](http://www.thillmann-collection.de/webe/kollektion/sperholz/index.html)

[\\_www.lozidesigns.com/new-blog/2017/10/2/plywood-material-of-the-future;](http://www.lozidesigns.com/new-blog/2017/10/2/plywood-material-of-the-future)

[\\_http://it.thonet.de/chi-siamo/designer/marcel-breuer.html;](http://it.thonet.de/chi-siamo/designer/marcel-breuer.html)

[\\_www.sapere.it/enciclopedia/Paul%2C+Bruno.html;](http://www.sapere.it/enciclopedia/Paul%2C+Bruno.html)

[\\_www.holland.com/it/turismo/storie-dolanda/mon-drian-e-de-stijl/gerrit-rietveld-11.htm;](http://www.holland.com/it/turismo/storie-dolanda/mon-drian-e-de-stijl/gerrit-rietveld-11.htm)

[\\_https://studioarchihouse.wordpress.com/2014/09/23/la-sedia-rossa-blu-di-gerrit-rietveld-1919/;](https://studioarchihouse.wordpress.com/2014/09/23/la-sedia-rossa-blu-di-gerrit-rietveld-1919/)

[\\_www.furniturecityhistory.org/company/3391/berkey-and-gay-furniture-co](http://www.furniturecityhistory.org/company/3391/berkey-and-gay-furniture-co)

[\\_www.moma.org/collection/works/92879](http://www.moma.org/collection/works/92879)

[\\_www.wonderwoodstore.nl/en/aalto-cantilever-chair-nr31.html](http://www.wonderwoodstore.nl/en/aalto-cantilever-chair-nr31.html)

[\\_www.mvsevm.it/en-us/designers/gerald-summers](http://www.mvsevm.it/en-us/designers/gerald-summers)

[\\_www.eamesoffice.com/the-work/dcm/](http://www.eamesoffice.com/the-work/dcm/)

[\\_www.interactiongreen.com/butterfly-stool-sori-yana-gi-60th/](http://www.interactiongreen.com/butterfly-stool-sori-yana-gi-60th/)

[\\_www.quotidiano.net/magazine/tempo%20libero/ant-chair-1.3422439](http://www.quotidiano.net/magazine/tempo%20libero/ant-chair-1.3422439)

[\\_http://collections.vam.ac.uk/item/O48606/3107-chair-arne-jacobsen/](http://collections.vam.ac.uk/item/O48606/3107-chair-arne-jacobsen/)

[\\_https://collections.vam.ac.uk/item/O1359610/chair-tendo-mokko/](https://collections.vam.ac.uk/item/O1359610/chair-tendo-mokko/)

[\\_https://www.settemuse.it/arte\\_bio\\_J/Judd\\_Donald.htm](https://www.settemuse.it/arte_bio_J/Judd_Donald.htm)

[\\_www.opendesk.cc](http://www.opendesk.cc)

[\\_www.ikea.com/es/en/p/overallt-easy-chair-plywood-30429057/](http://www.ikea.com/es/en/p/overallt-easy-chair-plywood-30429057/)

[\\_www.vam.ac.uk/articles/a-history-of-plywood-in-ten-objects](http://www.vam.ac.uk/articles/a-history-of-plywood-in-ten-objects)

[\\_www.vam.ac.uk/exhibitions/plywood-material-of-the-modern-world](http://www.vam.ac.uk/exhibitions/plywood-material-of-the-modern-world)

[\\_www.lockheedmartin.com/content/dam/lockheed-martin/eo/documents/ebook/Innovation-with-Purpose.pdf](http://www.lockheedmartin.com/content/dam/lockheed-martin/eo/documents/ebook/Innovation-with-Purpose.pdf)

[\\_https://morfusuk.com/blog/meditations-on-a-mosquito-a-lesson-in-smart-engineering-and-assembly/](https://morfusuk.com/blog/meditations-on-a-mosquito-a-lesson-in-smart-engineering-and-assembly/)

[\\_www.uasvision.com/2019/03/28/us-marines-plywood-supply-drone-in-flight-tests/](http://www.uasvision.com/2019/03/28/us-marines-plywood-supply-drone-in-flight-tests/)

[\\_www.youtube.com/watch?v=1w3vp5ylVts](http://www.youtube.com/watch?v=1w3vp5ylVts)

[\\_www.youtube.com/watch?v=8dyuaw\\_guhY](http://www.youtube.com/watch?v=8dyuaw_guhY)

[\\_www.nycsubway.org/wiki/Beach\\_Pneumatic\\_Transit](http://www.nycsubway.org/wiki/Beach_Pneumatic_Transit)

## **CAPITOLO 2**

[\\_www.merriam-webster.com/dictionary/plywood](http://www.merriam-webster.com/dictionary/plywood)

[\\_www.raute.com](http://www.raute.com) (RAUTE, ***Plywood production and consumption***, 2017)

[\\_www.panguanetaplywood.com](http://www.panguanetaplywood.com)

[\\_www.teknoring.com/news/materiali-da-costruzione/pannelli-in-legno-compensato-le-caratteristiche-di-un-materiale-fatto-a-strati/](http://www.teknoring.com/news/materiali-da-costruzione/pannelli-in-legno-compensato-le-caratteristiche-di-un-materiale-fatto-a-strati/)

[\\_www.ingenio-web.it/5517-pannelli-a-base-di-legno-le-novita-introdotte-dalla-uni-en-139862015](http://www.ingenio-web.it/5517-pannelli-a-base-di-legno-le-novita-introdotte-dalla-uni-en-139862015)

[\\_www.xylon.it/it/2017/11/06/il-mercato-del-pannello-in-italia/](http://www.xylon.it/it/2017/11/06/il-mercato-del-pannello-in-italia/)

[\\_www.cascinabosco.com/pagine/ita/l-214\\_pianificazione\\_coltivazione\\_pioppo.lasso](http://www.cascinabosco.com/pagine/ita/l-214_pianificazione_coltivazione_pioppo.lasso)

[\\_www.ibl.it/it/aspetti-tecnici/classi-di-qualita/](http://www.ibl.it/it/aspetti-tecnici/classi-di-qualita/)

[\\_www.ibl.it/it/aspetti-tecnici/normative/](http://www.ibl.it/it/aspetti-tecnici/normative/)

[\\_www.store.uni.com/catalogo/index.php/uni-en-13986-2015.html](http://www.store.uni.com/catalogo/index.php/uni-en-13986-2015.html)

[\\_www.cima-srl.com/processo-produttivo/](http://www.cima-srl.com/processo-produttivo/)

[\\_www.benecasa.it/faidate/compensato-tipi-di-legno-compensato.html](http://www.benecasa.it/faidate/compensato-tipi-di-legno-compensato.html)

[\\_www.greendistrict.it/classi-di-emissione-di-formaldeide-in-europa/](http://www.greendistrict.it/classi-di-emissione-di-formaldeide-in-europa/)

[\\_www.risponde.promolegno.com/domanda/data/esiste-una-tabella-che-indichi-le-classi-di-reazione-al-fuoco-dei-materiali-lignei-in-base-alla-nuov/](http://www.risponde.promolegno.com/domanda/data/esiste-una-tabella-che-indichi-le-classi-di-reazione-al-fuoco-dei-materiali-lignei-in-base-alla-nuov/)

[\\_www.certifico.com/prevenzione-incendi/6472-reazione-al-fuoco-dei-materiali-quadro-normativo-it-eu](http://www.certifico.com/prevenzione-incendi/6472-reazione-al-fuoco-dei-materiali-quadro-normativo-it-eu)

[\\_www.vigilfuoco.it/asp/ReturnDocument.aspx?IdDocumento=22](http://www.vigilfuoco.it/asp/ReturnDocument.aspx?IdDocumento=22)

[\\_www.bricoliamo.com/bricoverde/conoscere-il-pioppo/](http://www.bricoliamo.com/bricoverde/conoscere-il-pioppo/)

[\\_skepticalscience.com/translation.php?a=16&l=17](http://_skepticalscience.com/translation.php?a=16&l=17)

[\\_www.pefc.it/about-pefc/introduzione](http://_www.pefc.it/about-pefc/introduzione)

[\\_www.greenme.it/approfondire/speciali/1757-certificazioni-per-la-carta-come-funziona-il-pefc](http://_www.greenme.it/approfondire/speciali/1757-certificazioni-per-la-carta-come-funziona-il-pefc)

### **CAPITOLO 3**

[\\_www.facit-homes.com](http://_www.facit-homes.com)

[\\_www.veneerhouse.com](http://_www.veneerhouse.com)

[\\_www.world-architects.com/en/architecture-news/reviews/veneer-house](http://_www.world-architects.com/en/architecture-news/reviews/veneer-house)

[\\_www.italian-architects.com/sv/projects/view/veneer-house-project](http://_www.italian-architects.com/sv/projects/view/veneer-house-project)

[\\_www.flickr.com/photos/128141339@N04/15946773315/in/photostream/](http://_www.flickr.com/photos/128141339@N04/15946773315/in/photostream/)

[\\_www.ilsole24ore.com/art/cultura/2017-07-29/volare-compensato-133750.shtml?uuid=AEhgX4rB&refresh\\_ce=1;](http://_www.ilsole24ore.com/art/cultura/2017-07-29/volare-compensato-133750.shtml?uuid=AEhgX4rB&refresh_ce=1;)

## **CAPITOLO 4**

[\\_https://righttobuildtoolkit.org.uk/case-studies/nieuw-leyden/#](https://righttobuildtoolkit.org.uk/case-studies/nieuw-leyden/#)

[\\_https://www.livablecities.org/articles/tübingen's-lorretto-and-french-quarter-original-city-short-distances](https://www.livablecities.org/articles/tübingen's-lorretto-and-french-quarter-original-city-short-distances)

[\\_http://localisingprosperity.org.uk/case-studies/self-build-communities/](http://localisingprosperity.org.uk/case-studies/self-build-communities/)

[\\_www.gravenhill.co.uk](http://www.gravenhill.co.uk)

[\\_www.hudexchange.info/programs/shop/](http://www.hudexchange.info/programs/shop/)

[\\_www.ariafamiliare.it](http://www.ariafamiliare.it)

[\\_www.barlettanews.it/autocostruzione-progetto-barletta-primo-esempio-puglia-intervista-allarchitetto-andrea-cantini/](http://www.barlettanews.it/autocostruzione-progetto-barletta-primo-esempio-puglia-intervista-allarchitetto-andrea-cantini/)

[\\_www.comune.roma.it/pcr/it/dip\\_pol\\_riq\\_per\\_aut.page](http://www.comune.roma.it/pcr/it/dip_pol_riq_per_aut.page)

[\\_https://inchieste.repubblica.it/it/repubblica/rep-it/2016/02/17/news/i\\_truffati\\_dell\\_autocostruzione-133034857/?refresh\\_ce](https://inchieste.repubblica.it/it/repubblica/rep-it/2016/02/17/news/i_truffati_dell_autocostruzione-133034857/?refresh_ce)

\*Data ultima consultazione: 8.12.2019

## CAPITOLO 1

### 1.3 Interior design

Fig. 1-2: Thomas Sheraton, “The Cabinet-maker and upholsterer’s drawing-book”, 1791;

Fig.3: [www.liveauctioneers.com/item/5395150\\_180-rare-john-henry-belter-laminated-rosewood-bed](http://www.liveauctioneers.com/item/5395150_180-rare-john-henry-belter-laminated-rosewood-bed);

Fig. 4: [www.lozidesigns.com/new-blog/2017/10/2/plywood-material-of-the-future](http://www.lozidesigns.com/new-blog/2017/10/2/plywood-material-of-the-future);

Fig. 5: <https://collections.vam.ac.uk/item/O1282899/chair-gardner-co/>;

Fig. 5A: [www.worthpoint.com/worthopedia/gardner-company-doll-pet-rocking-20688052](http://www.worthpoint.com/worthopedia/gardner-company-doll-pet-rocking-20688052);

Fig. 6: [www.moma.org/collection/?classification-s=3&include\\_uncataloged\\_works=1&locale=en&page=205](http://www.moma.org/collection/?classification-s=3&include_uncataloged_works=1&locale=en&page=205);

Fig 7: [www.smow.com/blog/2017/07/plywood-material-of-the-modern-world-at-the-va-museum-london/plywood-material-of-the-modern-world-va-london-hatboxes-bags-suitcases-luterma/](http://www.smow.com/blog/2017/07/plywood-material-of-the-modern-world-at-the-va-museum-london/plywood-material-of-the-modern-world-va-london-hatboxes-bags-suitcases-luterma/);

Fig. 8: <http://mailgate.geffrye-museum.org.uk/object29320>;

Fig 9: <https://collections.vam.ac.uk/item/O115798/chair-rietveld-gerrit-thomas/>

Fig 10: [www.moma.org/collection/?classification-s=3%2C+4&locale=zh&page=190](http://www.moma.org/collection/?classification-s=3%2C+4&locale=zh&page=190);

Fig 11: <http://furnitureanddecorny.com/>;

Fig 12: <http://collections.vam.ac.uk/item/O121394/paimio-armchair-armchair-aalto-alvar/>;

Fig 13: <http://www.mvsevm.it/fr/produits/art-565>;

Fig 14: <https://collections.vam.ac.uk/item/O70961/short-chair-chair-breuer-marcel-lajos/>;

Fig 15: <http://collections.vam.ac.uk/item/O1325211/table-breuer-marcel-lajos/>;

Fig 16: [www.moma.org/artists/1671](http://www.moma.org/artists/1671);

Fig 17: [www.pamono.com/dcm-dining-chair-by-charles-ray-eames-for-herman-miller-1955](http://www.pamono.com/dcm-dining-chair-by-charles-ray-eames-for-herman-miller-1955);

Fig 18: [www.christies.com/lotfinder/Lot/rudolph-m-schindler-1887-1953-a-side-chair-6125881-details.aspx](http://www.christies.com/lotfinder/Lot/rudolph-m-schindler-1887-1953-a-side-chair-6125881-details.aspx);

Fig 19: [www.wonderwoodstore.nl/en/eiermann-model-se-42.html](http://www.wonderwoodstore.nl/en/eiermann-model-se-42.html);

Fig 20: [www.artnet.com/artists/ray-komai/stuhl-939-Hi-MapJslX7IKr5mKpABbw2](http://www.artnet.com/artists/ray-komai/stuhl-939-Hi-MapJslX7IKr5mKpABbw2);

Fig 21: [www.artsy.net/artwork/carlo-mollino-lattes-chair](http://www.artsy.net/artwork/carlo-mollino-lattes-chair);

Fig 22: [www.artnet.fr/artistes/carlo-mollino/4](http://www.artnet.fr/artistes/carlo-mollino/4);

Fig 23: [www.christies.com/lotfinder/Lot/carlo-mollino-1905-1973-an-important-and-5157800-details.aspx?lid=3&sc\\_lang=zh](http://www.christies.com/lotfinder/Lot/carlo-mollino-1905-1973-an-important-and-5157800-details.aspx?lid=3&sc_lang=zh);

Fig. 24: <https://collections.vam.ac.uk/item/O76033/q-stak-chair-day-robin/>;

Fig. 25: [www.vitra.com/en-br/living/product/details/butterfly-stool](http://www.vitra.com/en-br/living/product/details/butterfly-stool);

Fig. 26: [https://fritzhansen.com/en/products/chairs/3101\\_ant\\_clear\\_lacquer](https://fritzhansen.com/en/products/chairs/3101_ant_clear_lacquer);

Fig. 27: <http://collections.vam.ac.uk/item/O48606/3107-chair-arne-jacobsen/>;

Fig. 28: [www.pinterest.ru/pin/40884309104164648/?amp\\_client\\_id=CLIENT\\_ID\(&mweb\\_unauth\\_id={{default.session}}&simplified=true](http://www.pinterest.ru/pin/40884309104164648/?amp_client_id=CLIENT_ID(&mweb_unauth_id={{default.session}}&simplified=true);

Fig. 29: <http://collections.vam.ac.uk/item/O1363233/chair-jalk-grete/>;

Fig. 30: <https://judd.furniture/product/standing-writing-desk-4041/>;

Fig. 31: <https://fineart.ha.com/itm/furniture/american-abbott-miller-american-20th-century-bolivian-plywood-chair-black-2010benefitting-the-nature-conservancy-/a/524-25.s>;

Fig. 32-33: [www.opendesk.cc](http://www.opendesk.cc);

Fig. 34: [www.ikea.com](http://www.ikea.com);

Fig. 35: [www.archdaily.com](http://www.archdaily.com);

Fig. 36: [www.archdaily.com](http://www.archdaily.com);

Fig. 37: [www.archdaily.com/880802/students-design-temporary-furniture-for-victims-of-displacement](http://www.archdaily.com/880802/students-design-temporary-furniture-for-victims-of-displacement);

Fig. 38: [www.dezeen.com/2018/01/13/ab-rogers-interior-design-19-square-metre-london-flat-apart](http://www.dezeen.com/2018/01/13/ab-rogers-interior-design-19-square-metre-london-flat-apart)

ment-birch-plywood-space-saving-furniture-uk/;

Fig. 39: [www.dezeen.com/2018/03/03/archmon-gers-architecture-house-extension-london-plywo-od-stoke-newinton/](http://www.dezeen.com/2018/03/03/archmon-gers-architecture-house-extension-london-plywo-od-stoke-newinton/);

Fig. 40: [www.homemade-modern.com/ep99-diy-c-nc-spiral-staircase/](http://www.homemade-modern.com/ep99-diy-c-nc-spiral-staircase/);

#### **1.4 Aeronautica**

Fig. 41-42: 2013, Lockheed Martin Corporation, Innovation with purpose. Lockheed Martin's first 100 years; (<https://www.lockheedmartin.com/content/dam/lockheed-martin/eo/documents/ebook/Innovation-wi-th-Purpose.pdf>);

Fig. 43: [www.europeanairlines.no/imperial-airways-and-the-most-beautiful-speedbird-of-the-sky/](http://www.europeanairlines.no/imperial-airways-and-the-most-beautiful-speedbird-of-the-sky/);

Fig. 44: <https://morfusuk.com/blog/medita-tions-on-a-mosquito-a-lesson-in-smart-enginee-ring-and-assembly/>;

Fig. 45: <https://fineartamerica.com/featured/hu-ghes-h-4-hercules-spruce-goose-airplane-blueprint-drawing-plans-for-the-hughes-h-4-hercules-jose-e->

[lias-sofia-pereira.html](http://lias-sofia-pereira.html);

Fig. 46: <https://edition.cnn.com/2017/05/31/us/wor-lds-largest-airplane-rolled-out-paul-allen/index.html>;

Fig. 47-48: [www.uasvision.com/2019/03/28/us-mari-nes-plywood-supply-drone-in-flight-tests/](http://www.uasvision.com/2019/03/28/us-mari-nes-plywood-supply-drone-in-flight-tests/)

#### **1.5 Campo nautico**

Fig. 49: [www.vam.ac.uk/articles/a-history-of-plywood-in-ten-objects](http://www.vam.ac.uk/articles/a-history-of-plywood-in-ten-objects);

Fig. 50: <http://narrowboatsforsalenorthwest.blogspot.com/2018/12/vosper-model-boat-plans.html>;

Fig. 51: [www.eneews.tech/higgins-boat-plans.html](http://www.eneews.tech/higgins-boat-plans.html);

Fig. 52: [www.zona-militar.com/foros/threads/us-na-vy-fotos-no-tan-conocidas.31341/page-205](http://www.zona-militar.com/foros/threads/us-na-vy-fotos-no-tan-conocidas.31341/page-205);

Fig. 53: [www.ibiblio.org/hyperwar/OnlineLibrary/pho-tos/sh-usn/usnsh-w/ams39.htm](http://www.ibiblio.org/hyperwar/OnlineLibrary/pho-tos/sh-usn/usnsh-w/ams39.htm);

Fig. 54: [www.warhistoryonline.com/instant-articles/steel-ruled-waves-wooden-boats.html](http://www.warhistoryonline.com/instant-articles/steel-ruled-waves-wooden-boats.html);

Fig. 55: <https://owips.com/drawn-boat/drawn-boat-vietnam-boat>;

Fig. 56: [www.wagemakerwolverineboats.com/wolverine\\_wooden\\_boats.html](http://www.wagemakerwolverineboats.com/wolverine_wooden_boats.html);

Fig. 57-58: [www.riva-yacht.com](http://www.riva-yacht.com);

Fig. 59: <https://forums.maslowcnc.com/t/boat-builders-projects/2536/54>;

Fig. 60: <http://buonvento-boat.com>;

## 1.6 TRASPORTO SU TERRA

Fig. 61: [www.damninteresting.com/the-remarkable-pneumatic-people-mover/](http://www.damninteresting.com/the-remarkable-pneumatic-people-mover/);

Fig. 62-63: <http://heinkelscooter.blogspot.com/2011/02/dkw-germanys-wonder-car.html>;

Fig. 64-65: <https://www.hemmings.com/blog/2010/04/20/plywood-cars-and-hydraulic-drive-the-wartime-cars-of-ray-russell/>;

Fig. 66: <https://www.hemmings.com/blog/2017/11/28/>

[the-class-of-25-part-three-meet-tilly/](http://www.theautomobile.co.uk/january-2016-issue/);

Fig. 67: <http://bertrandgoldberg.org/projects/unicel-prefab-freight-cars/>;

Fig. 68: [www.marcosxylon.com/technical-specification/](http://www.marcosxylon.com/technical-specification/);

Fig. 69: [www.marcos-oc.com/models/flyingsplinter.html](http://www.marcos-oc.com/models/flyingsplinter.html);

Fig. 70: <http://www.theautomobile.co.uk/january-2016-issue/>;

Fig. 71: <https://motori.virgilio.it/auto/non-puo-comprarsi-lamborghini-la-costruisce-in-compensato/95081/>;

Fig. 72: <https://newatlas.com/innovative-uses-of-cardboard/30533/>;

Fig. 73: <https://newatlas.com/flat-pack-cardboard-plywood-car/23328/>;

## CAPITOLO 3

### 3.1 PLYWOOD ARCHITECTURE

Fig. 74: <https://chicagology.com/centuryprogress/1933fair19/>;

Fig. 75: <https://calisphere.org/item/0fc1e432124bc2e5d2f312029a79fc98/>;

Fig. 76: [www.1939nyworldsfair.com/worlds\\_fair/wf\\_tour/town\\_tomorrow/House-02.htm](http://www.1939nyworldsfair.com/worlds_fair/wf_tour/town_tomorrow/House-02.htm);

Fig. 77: <https://ecolededesignfinlande.wordpress.com/2016/02/29/mobilier-alvar-aalto/>;

Fig. 78, 79, 80: R. F. Luxford, Prefabricated House System Developed by the Forest Products Laboratory, FPL, Forest Service U.S. Department of Agriculture, 1958 (<https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplr/fplr1165.pdf>);

Fig. 77, 78: The GENERAL PANEL system locks together like a Chinese puzzle." From (Architectural Forum, February, 1947): 116;

Fig. 79: <http://bertrandgoldberg.org/projects/unishelter/>;

Fig. 80: <http://bertrandgoldberg.org/projects/snyder-house-2/>;

Fig. 81: R.B. Fuller, Self-Strutted Geodesic Plydome, Patent no. 2905113, 1959;

Fig. 82: [http://www.shigerubanarchitects.com/works/1995\\_furniture-house-1/index.html](http://www.shigerubanarchitects.com/works/1995_furniture-house-1/index.html);

Fig. 83: Russell Wicke, Airmen at Bagram Move From Tents to Huts, American Forces Information Service, News Articles, October 2003 (<https://www.globalsecurity.org/military/library/news/2003/10/mil-031023-afps03.htm>);

Fig. 84: Lawrence Sass, Digitally Fabricated House for New Orleans, MIT, 2014 (<http://ddf.mit.edu/news/2014/project-summary>);

Fig. 85, 86, 87: <http://gauthierarchitects.com/burst008.html>;

Fig. 88: [facit-homes.com](http://facit-homes.com);

Fig. 89: [www.archdaily.com/264572/villa-asserbo-a-sustainable-printed-house-that-snaps-together](http://www.archdaily.com/264572/villa-asserbo-a-sustainable-printed-house-that-snaps-together);

Fig. 90: <https://ddf.mit.edu/news/2014/project-summary>;

Fig. 91: Bruce Haumann, Frameless Geodesic Dome,

2013 (<https://rigsomelight.com/2013/09/09/frameless-geodesic-dome.html>);

Fig. 92, 93: [www.fablabhouse.com](http://www.fablabhouse.com);

Fig. 94: [willbehouse.ru](http://willbehouse.ru);

Fig. 95: [www.chopshopcnc.com/work](http://www.chopshopcnc.com/work);

Fig. 96: <https://medium.com/wikihouse-stories/an-incomplete-list-of-wikihouse-projects-bf934c29ed04>;

Fig. 97: [www.wikihouse.cc](http://www.wikihouse.cc);

Fig. 98 - 112: [www.veneerhouse.com/projects-en](http://www.veneerhouse.com/projects-en);

Fig. 113: [www.researchgate.net/figure/Render-of-SIMPLY-Tiny-Village\\_fig4\\_316054114](http://www.researchgate.net/figure/Render-of-SIMPLY-Tiny-Village_fig4_316054114);

Fig. 114: <https://newsstand.clemson.edu/mediarelations/clemson-institute-secures-usda-grant-to-expand-use-of-wood/>;

Fig. 115: [www.architetturaecosostenibile.it/architettura/progetti/accupoli-edificio-compensato-portante-278](http://www.architetturaecosostenibile.it/architettura/progetti/accupoli-edificio-compensato-portante-278);

Fig. 116: [www.archdaily.com/872317/arthurs-cave-mil-](http://www.archdaily.com/872317/arthurs-cave-mil-ler-kendrick-architects)

[arter-kendrick-architects](http://www.arter-kendrick-architects);

Fig. 117: [www.solardecathlon.gov/2017/competition-team-switzerland.html](http://www.solardecathlon.gov/2017/competition-team-switzerland.html);

Fig. 118: <https://smsarquitectos.com/>

Fig. 119: [www.sowelotinyhouses.com.au/](http://www.sowelotinyhouses.com.au/);

Fig. 120: <http://ddf.mit.edu/node/86>;

Fig. 121-122: <https://woodarchitecture.wordpress.com/woodtechnology/summer-wood-design-pavillion/>;

Fig. 123: <https://5osa.com/572>;

Fig. 124, 125: <https://woodarchitecture.wordpress.com/woodtechnology/summer-wood-design-pavillion/>;

Fig. 126, 127: [www.arch2o.com/icditke-research-pavilion-2010/arch2o-icd-itke-research-pavilion-2010-16/](http://www.arch2o.com/icditke-research-pavilion-2010/arch2o-icd-itke-research-pavilion-2010-16/);

Fig. 128 - 130: [www.domusweb.it/en/architettura/2010/10/27/digital-tea-houses.html](http://www.domusweb.it/en/architettura/2010/10/27/digital-tea-houses.html);

Fig. 131: <http://anneromme.com/wordpress/?p=210>;

Fig. 132: [www.archdaily.com/147948/za11-pavilion-di-](http://www.archdaily.com/147948/za11-pavilion-di-)

mitrie-stefanescu-patrick-bedarf-bogdan-hambasan;

Fig. 133: [www.domusweb.it/en/news/2012/07/29/best-of-the-week.html](http://www.domusweb.it/en/news/2012/07/29/best-of-the-week.html);

Fig. 134: [www.archdaily.com/134992/aero-pavilion-department-for-architecture-design-and-media-technology/5014521528ba0d5b490009f3-aero-pavilion-department-for-architecture-design-and-media-technology-image](http://www.archdaily.com/134992/aero-pavilion-department-for-architecture-design-and-media-technology/5014521528ba0d5b490009f3-aero-pavilion-department-for-architecture-design-and-media-technology-image);

Fig. 135: [www.archdaily.com/161894/2011-matr-project-the-passage](http://www.archdaily.com/161894/2011-matr-project-the-passage);

Fig. 136: [www.promotedesign.it/bacheca.php?tipo=NEWS&id=0000000966](http://www.promotedesign.it/bacheca.php?tipo=NEWS&id=0000000966);

Fig. 137: [www.archdaily.com/135302/winnipeg-skating-shelters-patkau-architects](http://www.archdaily.com/135302/winnipeg-skating-shelters-patkau-architects);

Fig. 138: [www.mvrdv.nl/projects/189/beagle-house](http://www.mvrdv.nl/projects/189/beagle-house);

Fig. 139: [www.archdaily.com/215249/dragon-skin-pavilion-emmi-keskisarja-pekka-tynkkynen-lead](http://www.archdaily.com/215249/dragon-skin-pavilion-emmi-keskisarja-pekka-tynkkynen-lead);

Fig. 140: [www.archdaily.com/221650/pavilion-emtech-aa-eth](http://www.archdaily.com/221650/pavilion-emtech-aa-eth);

Fig. 141: [www.woodlab.polito.it/?p=2297](http://www.woodlab.polito.it/?p=2297);

Fig. 142: [www.archdaily.com/520897/landesgartenschau-exhibition-hall-icd-itke-iigs-university-of-stuttgart/53ab66eec07a8037b3000149-landesgartenschau-exhibition-hall-icd-itke-iigs-university-of-stuttgart-image](http://www.archdaily.com/520897/landesgartenschau-exhibition-hall-icd-itke-iigs-university-of-stuttgart/53ab66eec07a8037b3000149-landesgartenschau-exhibition-hall-icd-itke-iigs-university-of-stuttgart-image);

Fig. 143: <https://parametric-architecture.com/the-porthole-by-toma/>;

Fig. 144: [www.archdaily.com/786874/icd-itke-research-pavilion-2015-16-icd-itke-university-of-stuttgart/572b6108e58ece8975000015-icd-itke-research-pavilion-2015-16-icd-itke-university-of-stuttgart-photo](http://www.archdaily.com/786874/icd-itke-research-pavilion-2015-16-icd-itke-university-of-stuttgart/572b6108e58ece8975000015-icd-itke-research-pavilion-2015-16-icd-itke-university-of-stuttgart-photo);

Fig. 145: AD Editorial Team, The Best Student Design-Build Projects Worldwide 2016, ArchDaily, 2016 (<https://www.archdaily.com/794566/the-best-student-design-build-projects-worldwide-2016/>);

Fig. 146: Isabella Baranyk, PRODUCE Workshop Debuts Plywood-based "Fabricwood" Pavilion for Herman Miller's Shop-in-Shop, ArchDaily, 2017 (<https://www.archdaily.com/804590/produce-workshop-debuts-plywood-based-fabricwood-pavilion-for-herman-millers-shop-in-shop/>);

Fig. 147: [www.margincollective.com/ephemeralneigh](http://www.margincollective.com/ephemeralneigh)

bourhood;

Fig. 148: <https://icd.uni-stuttgart.de/?p=20983>;

Fig. 149: [www.domusweb.it/en/architecture/2017/12/12/experimental-pavilion-in-tallin.html](http://www.domusweb.it/en/architecture/2017/12/12/experimental-pavilion-in-tallin.html);

Fig. 150: [www.archdaily.mx/mx/805012/oficina-parabolic-plywood-raw-architecture/58872ad5e58ece50910001f8-parabolic-plywood-office-raw-architecture-photo](http://www.archdaily.mx/mx/805012/oficina-parabolic-plywood-raw-architecture/58872ad5e58ece50910001f8-parabolic-plywood-office-raw-architecture-photo);

Fig. 151: <https://inhabitat.com/aces-treehouse-in-colorado-is-perfect-for-wildlife-observation/>;

Fig. 152: <https://inhabitat.com/robotically-fabricated-wander-wood-pavilion-pops-up-in-just-over-three-days/>;

Fig. 153, 154: [www.archdaily.com/887326/digital-manufacturing-to-experience-real-scale-architecture-quickly-and-with-limited-resources](http://www.archdaily.com/887326/digital-manufacturing-to-experience-real-scale-architecture-quickly-and-with-limited-resources);

Fig. 155-159: immagini proprie.



## Ringraziamenti

Il primo ringraziamento va al professor Guido Callegari, che ha saputo indirizzarmi verso un'ottimizzazione del percorso di tesi, fornendomi consigli e spunti indispensabili per la redazione dell'elaborato.

Un ringraziamento speciale va alla mia famiglia che ha saputo accompagnarmi e sostenermi durante tutto il percorso di studi all'interno del Politecnico di Torino, supportando ogni scelta da me intrapresa, dal giorno dell'iscrizione, al giorno di chiusura della mia carriera universitaria.

Un grazie, d'obbligo, va inoltre a tutti coloro con cui ho condiviso questi cinque anni di vita, compagni di università, amici, coinquilini e colleghi.

