



Il giunto nel progetto di architettura
Una tassonomia di connessioni nell'architettura
prefabbricata dall'800 ad oggi

Andrea Zegna



POLITECNICO DI TORINO
Laurea magistrale Architettura Costruzione Città
A.a. 2021/2022

Il giunto nel progetto di architettura
Una tassonomia di connessioni nell'architettura
prefabbricata dall'800 ad oggi

Candidato
Andrea Zegna

Relatore e correlatore
Guido Callegari
Paolo Simeone

Dedico questo lavoro ai miei genitori che hanno creduto in me e hanno permesso tutto questo.

A mio fratello Federico che mi ha sempre strappato un sorriso e fatto svagare durante questo percorso.

Alla mia compagna di vita Ottavia che mi dà la forza, il coraggio e la saggezza per affrontare ogni difficoltà.

Ai miei amici, pronti ad ascoltare e divertirsi.

#Indice

Abstract	P. 2
1. Introduzione	P. 6
2. Brevetti e progetti dall'800 ad oggi	P. 10
Industrializzazione e standardizzazione	
Meccanizzazione e produzione di massa	
Automazione	
Digitalizzazione	
Verso la sostenibilità	
Stampa 3D	
Matrice dei ruoli	
Abaco dei giunti	
3. I motori dell'innovazione	P. 155
L'assenza della rete di sostegno nello sviluppo della prefabbricazione	
Un nuovo approccio alla lavorazione-produzione: DfMA	
La tecnologia: i componenti e la rete di sostegno	
4. Giunti nella contemporaneità	P. 178
La domanda sostenibile e il ritorno del legno	
I giunti innovativi	
Matrice innovazione - tradizione - sostenibilità	
Sviluppi futuri	
5. Conclusione	P. 234
6. Riferimenti	P. 238
Bibliografia	
Sitografia	
Risorse Online	

#Abstract

La seguente tesi nasce dalla passione personale per il disegno di dettaglio e l'architettura prefabbricata. Negli anni ho avuto modo di confrontarmi ripetutamente con questi due grandi temi e in particolare è nato l'interesse per i giunti, nodi e sistemi di connessione nell'architettura, in particolare nel contesto della prefabbricazione. Al giunto vengono assegnati diversi ruoli all'interno di una struttura, può assumere una funzione strutturale o collaborante; sono elementi chiave che possono permettere alte performance strutturali, energetiche, ma soprattutto determinano un'ottimizzazione dei processi grazie ad una maggiore facilità di montaggio, gestione del processo e sicurezza nella messa in opera, fino a permettere il futuro smontaggio delle strutture.

Attraverso una tassonomia di giunti, questo elaborato intende analizzare in termini storico-tecnologici l'evoluzione del giunto nell'architettura prefabbricata, grazie al ridisegno e ad una rilettura di brevetti e progetti dall'Ottocento ad oggi. L'analisi del tema si sviluppa nella relazione tra innovazione tecnologica e progetto. Partendo da una panoramica complessiva nella storia recente, a partire dai primordi della Seconda Rivoluzione Industriale fino ad oggi, ci sono stati dei pionieri/innovatori del processo che con obiettivi diversi si

sono confrontati con il giunto in architettura, quest'ultimo ha dettato il successo o l'insuccesso stesso di progetti e brevetti. Il seguente ambito verrà analizzato seguendo una precisa metodologia che parte dalla costruzione di un catalogo di casi studio, che non intende osservare solo progetti di architettura ma anche brevetti; la ricerca è permessa da un'attenta scelta e analisi di testi e documenti senza aver come riferimento una bibliografia che tratti direttamente questi giunti. Inoltre, non verranno studiati e descritti in ambito tecnologico e materico attraverso il ridisegno e la reinterpretazione dei dettagli stessi, ma bensì all'interno del loro contesto specifico: sociale, politico, tecnico, indagando tutte le dimensioni che hanno sostenuto e permesso lo sviluppo dell'architettura. Attraverso questi venticinque casi studio si cercheranno di ricostruire delle possibili traiettorie di lavoro a cui si può ricondurre lo scenario attuale dei sistemi prefabbricati: quali giunti e in quali sistemi tecnologici permettono all'architettura di meglio rispondere alle esigenze attuali e di soddisfare il mercato?

Nell'analisi verranno esaltati alcuni lavori che hanno determinato sviluppi per decenni nella storia, rispondendo a determinate domande e necessità da parte di stati e popolazioni in situazioni specifiche, o altri che hanno cambiato la concezione stessa del giunto dandone una forma pratica segnando delle milestones

nel processo di innovazione.

In ciò non si comprende solo il processo di evoluzione del giunto ma di tutti gli aspetti che hanno concorso all'evolversi della tecnologia: nuovi processi produttivi, nuovi materiali e macchinari per la lavorazione degli stessi. Risulta quindi indispensabile una lettura della tecnologia perché attraverso questa analisi si comprende come il progresso, o l'insuccesso dell'evoluzione, a volte sia stato determinato dall'approfondimento di una delle componenti della tecnologia e della rete stessa che la supporta. Inoltre, essendo l'industria uno degli attori principali, che varia all'interno del processo e si relaziona costantemente con il progetto, ne verranno considerati i possibili approcci attuali dovuti alla necessità di un impegno su più fronti, portando all'unione di diversi processi di produzione, come nell'approccio DfMA. La progettazione per la manifattura e per l'assemblaggio nascono proprio a supporto di una maggiore facilità di produzione e costruzione durante la fase di progettazione, ma soprattutto per massimizzare i processi riducendo errori, intoppi e sprechi di materiale; all'interno di questi processi il giunto assume un ruolo chiave e, a completare questi cicli, si è sviluppato recentemente il Design for Assembly, al fine di ottimizzare lo smontaggio delle parti per un eventuale riciclo o smaltimento dei materiali riducendo l'inquinamento e i costi/tempi

di tali processi, favorendo gli sviluppi dell'economia circolare.

Lo scenario attuale è frutto dell'innovazione tecnologica e della domanda sostenibile determinata da interessi politici e ambientali. Queste due componenti fanno sì che all'interno dei sistemi prefabbricati vi sia una preponderanza ad utilizzare il legno rispetto ad altri materiali: in relazione a ciò sono stati progettati e brevettati giunti che danno possibilità, non solo connettere elementi, ma di esaltare l'innovazione stessa e migliorare la risposta alla domanda ambientale.

Il processo di analisi, quindi, si concluderà analizzando sistemi costruttivi e soluzioni progettuali contemporanee in legno, con i relativi giunti di diversa matrice:

- In elementi pre-tagliati ed incastrati in materiali di matrice legnosa
- In legno per sistemi legno – legno
- In acciaio per strutture a telaio
- In acciaio per strutture x-lam
- In ferro per viti per strutture miste x-lam e legno lamellare.

L'analisi di questi giunti permetterà di comprendere come il legno sia una risposta efficace alla domanda sostenibile, non solo ambientale, ma anche economica, produttiva e sociale; inoltre, un'analisi parallela di come questi giunti si evolvano permetterà una riflessione sui possibili scenari futuri che si dividono tra forme e processi che si basano

fedelmente su una cultura secolare artigianale e processi e forme innovative che nascono dal processo di innovazione. Il passaggio dall'artigianato agli elementi di fissaggio come viti e piastre è stato accentuato dalla riduzione del lavoro e la facilità della messa in opera delle strutture, ma d'altra parte, oggi, grazie alle macchine CNC e processi migliorati di lavorazione del legno vi è un ritorno alle forme della tradizione artigianale e un'integrazione con gli elementi di fissaggio di carpenteria rendendo i sistemi di connessione altamente performanti.

1# Introduzione

“Tutto ruota tanto sul modo esatto in cui qualcosa viene realizzato quanto su una manifestazione palese della sua forma. Questo non significa negare l’ingegnosità spaziale, ma piuttosto esaltarne il carattere attraverso la sua precisa realizzazione”.

(Frampton, 1995)

Il giunto, sinonimo di connessione, collegamento, incontro, dettaglio, assume un ruolo centrale nell'architettura contemporanea e del passato. Principalmente viene considerato come quel luogo dove convergono le forze o si mettono in relazione diversi elementi di una struttura o di un oggetto, ad esempio un mobile; in realtà ha il compito di "portare" ulteriori valori, infatti, dando espressione ad un'architettura determinata dalle parti e non dal tutto, si fa portatore di valori storici ed etici. Il giunto è un elemento di condensazione, di incontro dei piani che genera spazi e volumi, di elementi con diverse forme, di pareti e orizzontamenti o ancora diversi materiali e texture: indipendentemente che questo sia un chiodo, un incastro o un bullone, assume centralità nei progetti. All'interno dei valori sopra citati ritroviamo quello storico, poiché bisogna considerare i giunti non solo come un elemento tecnico e formale-funzionale, ma come portatori di innovazione che si fondano su tradizioni artigianali ed una sapiente consapevolezza dei sistemi passati e del progresso che ci ha guidato e tutt'ora ci guida. Inoltre, se consideriamo l'importanza dei sistemi di connessione, ed il relativo disegno, notiamo come questo ci permetta di controllare i progetti in più momenti e a differenti scale: il primo attraverso la costruzione di un particolare dobbiamo anche progettare la sua realizzazione avvalendoci della tecnica,

creando un continuum tra progettazione e realizzazione. In seconda battuta, il disegno dei giunti ci permette di controllare a più scale la dispersione degli elementi e delle forme di una struttura. Il giunto, quindi, ci permette di definire il disegno dello spazio e questo ha subito grandi evoluzioni nella storia, se consideriamo che nell'antichità un giunto ideale era dettato dal capitello di un tempio che mediava tra colonne e architravi, definendo uno spazio chiuso, finito. Oggi siamo di fronte ad un'euritmia della struttura e della costruzione, generata dalla loro interdipendenza per mezzo dei sistemi di connessione. L'architettura si fa spazio e si estende in una maniera, idealmente, infinita. Considerando l'architettura industriale, se il risultato finale sembra essere un continuum, in realtà dobbiamo osservare che è sotteso un ritmo costante orchestrato dalle campate per mezzo dai sistemi di connessione che possono collegare elementi in diversi assi e direzioni e questi, possono emergere a differenti scale, sia che siano delle staffe o delle viti.

Il giunto prende forma e progredisce in relazione alle strutture e ai materiali grazie a due componenti fondamentali dell'architettura la tecnologia e l'innovazione. La prima permette grazie alla tecnica, o meglio, alla *techne* greca, di dare forma e la possibilità di manifestarsi all'architettura, grazie ai materiali. Frutto delle culture, conoscenze, circostanze

e lavorazioni attraverso cui il mondo si evolve, trattiamo indubbiamente della tecnologia. La *techne*, deriva dal greco *tikto*, da noi tradotto con "produrre" e porta con sé sia l'arte che l'artigianato; questo comprende quindi la conoscenza portando ad un rapporto inestricabile il conoscere ed il fare. In questo senso si può affermare che la conoscenza e la *techne* collaborano nel far emergere dalla materia, l'architettura. Il progredire dei materiali, delle tecniche e delle forme porta inevitabilmente a confrontarsi con l'innovazione che a sua volta si rapporta con il passato. Infatti, è necessario, come cita Kenneth Frampton con le parole di Gianbattista Vico, "che noi comprendiamo la storia non semplicemente perché la facciamo, ma anche perché essa ci ha fatto; le apparteniamo nel senso che ereditiamo la sua esperienza, proiettiamo un futuro sulla base della situazione che il passato ci ha creato e agiamo alla luce della nostra comprensione di questo passato, che tale comprensione sia esplicita o meno."¹ Ciò implica che, macchinari e materiali a parte, l'innovazione è in stretta relazione con un'attenta rilettura e comprensione della tradizione, nonché si pone come unico mezzo per rivitalizzare la tradizione. Tecnica, artigianato, innovazione, materia ed architettura al meglio riescono ad esprimersi nel giunto, come citato da Gregotti "i dettagli non dovrebbero mai essere considerati come un insignificante

mezzo tecnico con cui l'opera viene realizzata. Il pieno potenziale tettonico di qualsiasi edificio deriva dalla sua capacità di articolare sia gli aspetti poetici che quelli cognitivi della sua sostanza. Questa doppia articolazione presuppone che si debba mediare tra la tecnologia come procedimento produttivo e la tecnica artigianale"².

1. Frampton K., *Studies in Tectonic Culture: The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture*, Massachusetts Institute of Technology, Chicago, 1995

2. *Ibidem* 1

2# Brevetti e progetti dall'800 ad oggi

“Il giunto non è soltanto un sito spaziale privilegiato, ma è un fatto plastico, la cui possibilità di funzione è affidata a una struttura, all'incastro e allo slittamento dei piani, al gioco delle superfici”.

(Wachsmann, 1940)

L'evoluzione del giunto nel progetto di architettura prefabbricata è stata avviata, a partire dall'Ottocento, da diversi fattori in ambito tecnico, politico, sociale che verranno considerati per raccontare e contestualizzare l'evolversi di tale elemento. Le motivazioni di questo processo sono molteplici così come le figure che vi hanno partecipato, producendo brevetti e/o progetti all'interno dei quali la connessione tra due o più elementi, strutturali e non, avveniva in maniera controllata, progettata e prefabbricata, determinando ogni volta una diversa concezione e importanza del giunto all'interno del progetto d'architettura. Se facciamo un piccolo passo indietro, possiamo notare come le basi della prefabbricazione moderna, con sistemi leggeri prefabbricati e apposite giunzioni, iniziarono ad essere concepite a partire dal 1600, quando i coloni, principalmente inglesi, necessitavano di strutture facilmente montabili, leggere e assemblabili senza specifiche competenze per poter conquistare e affermarsi in nuove terre. Iniziarono a nascere i primi valori della prefabbricazione: leggerezza, tempo, facilità di messa in opera, trasportabilità; in questo contesto, il giunto inizia ad assumere una maggiore padronanza nei sistemi costruttivi di architettura prefabbricata. Fu successivamente l'evoluzione dell'industria, a partire dalla prima metà dell'800, che determinerà una rivoluzione nei sistemi costruttivi e fece

da catalizzatore nel processo di innovazione: questo periodo pone le basi per l'inizio della ricerca dell'evoluzione dei giunti nei sistemi prefabbricati. Benché in un primo momento del periodo analizzato dall'Ottocento ad oggi, troviamo singoli "episodi" che testimoniano un nuovo approccio industriale-standardizzato nella produzione di edifici industriali o padiglioni come il Crystal Palace. In realtà l'architettura che principalmente venne ricercata da diversi protagonisti era l'abitazione prefabbricata. I primi brevetti erano accomunati dall'uso del legno e dei chiodi per i sistemi di connessione. Le ridotte possibilità di variazione formale condussero queste "Portable House" a delle effettive baracche o capanni per attrezzi con una limitata produzione di esemplari; subirono variazioni formali e strutturali con l'avvento della Prima e Seconda Guerra Mondiale e successivamente con la scoperta del calcestruzzo armato. Successivamente, grazie agli sviluppi delle lavorazioni dell'acciaio e dei diversi metalli si ebbero diversi brevetti che miravano a modificare concettualmente il giunto all'interno di questi sistemi costruttivi; dapprima Walter Gropius con la sua Copper House gettò solo le basi di un'idea limitata a produrre un paio di esemplari, che venne poi rimaneggiata grazie all'incontro con Konrad Wachsmann e la fondazione del General Panel System: un'azienda che mirava a costruire case prefabbricate in

pannelli di legno con un connettore universale. L'idea di avere un elemento architettonico che permettesse di connettere più elementi, in diverse posizioni, senza dover cambiare formalmente è ciò che accomuna i due architetti con Buckminster Fuller, che ideò diverse fasi del brevetto della Dymaxion House e il relativo bagno prefabbricato. Nel medesimo periodo, in territorio francese, troviamo Jean Prouvé che si fece portatore del concetto struttura-rivestimento, che pose le basi per i suoi studi futuri per i curtain-wall. Questi brevetti sopra citati, purtroppo, ebbero solo un grande impatto evolutivo concettuale e strutturale, ma non riuscirono a determinare una prolungata produzione di questi edifici poiché carenti sotto alcuni aspetti della tecnologia intesa come struttura a supporto dell'architettura. Successivamente alle due guerre, il settore fu fortemente caratterizzato dalle scoperte in ambito chimico con la produzione di plastica, isolanti e migliorie legate al calcestruzzo armato, dall'altra nuove politiche urbanistiche e sociali portarono ad una ricerca della qualità abitativa interna ed esterna, fino alla ricerca degli ultimi che anni che venne fortemente determinata dagli aspetti ambientali ed ecologici. A garantire un primo rispetto di questi parametri e ideali vi furono i sistemi a S/R (struttura e rivestimento) che grazie a pacchetti di tamponature fortemente sviluppati sotto l'aspetto

energetico e giunti appositamente dedicati, permettevano (e permettono tuttora) una riduzione dei consumi di energia. A concludere questo processo evolutivo, l'attenzione verrà posta alla produzione tramite stampanti 3D per comprendere quali siano le tecnologie che si stanno sviluppando e potrebbero permettere un supporto alla produzione di giunti per l'architettura prefabbricata.

In questa prima parte, verranno quindi analizzati i casi studio che hanno determinato il percorso evolutivo dei sistemi di connessione dall'Ottocento ad oggi. Questi, grazie all'ingegno e alla lungimiranza di individui e aziende, insieme ad ulteriori fattori che verranno analizzati nel secondo capitolo, hanno permesso questa evoluzione fino ad oggi.

Nell'analisi storico - tecnologica sarà fondamentale mantenere fissa l'attenzione al contesto storico-sociale per capire quali siano stati i motori di necessità di ideare per la popolazione delle strutture prefabbricate, e con sé, dei sistemi di connessione adeguati. Parallelamente, il focus verterà sull'evoluzione dei sistemi di produzione delle strutture, a partire dalla scelta della materia prima, la tipologia di lavorazione e produzione; inerente a ciò si devono considerare le evoluzioni della produzione industriale dettate da scoperte ed innovazioni in ambito tecnologico ed economico. In particolare possiamo ritrovare quattro fasi principali: dal XIX secolo

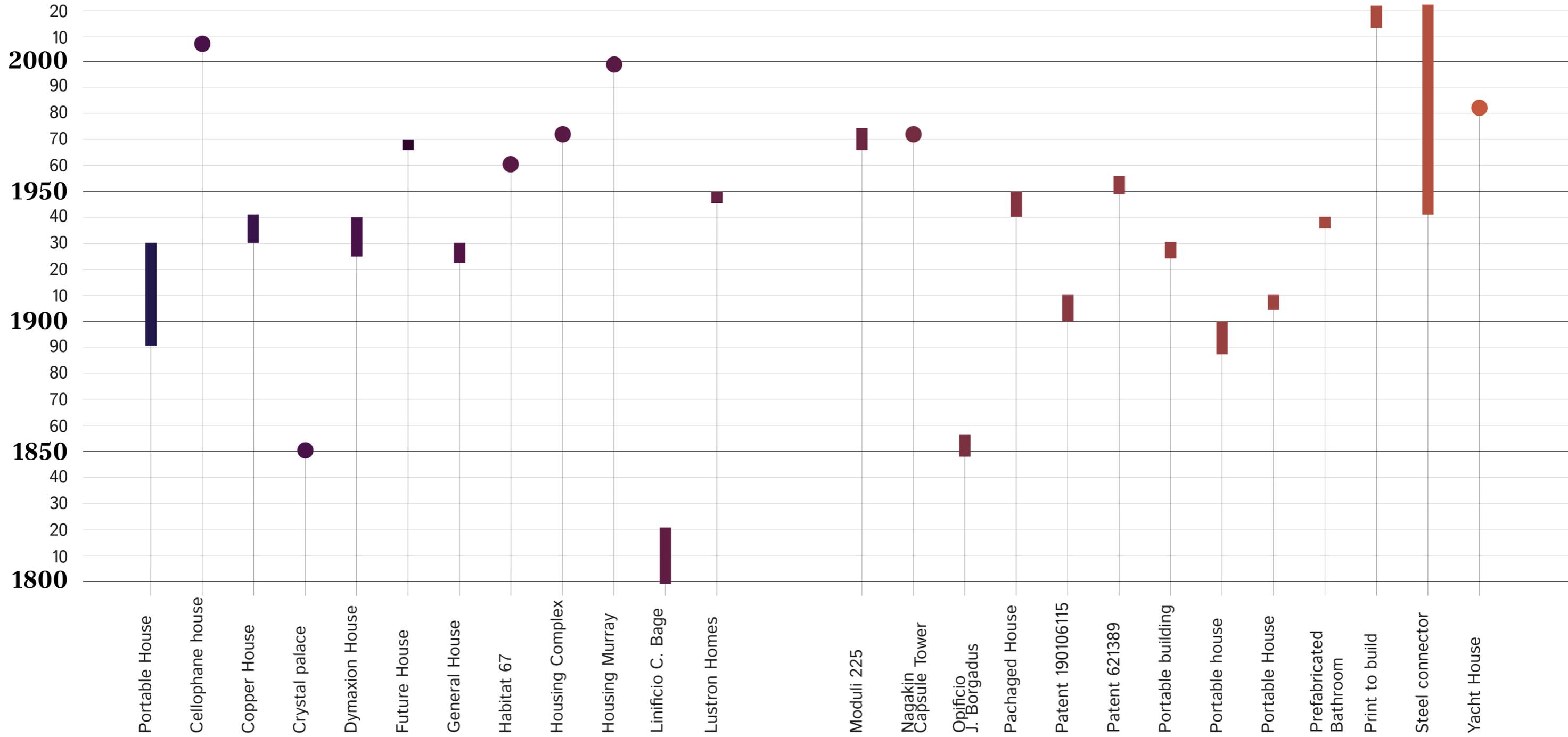
produzione industriale, con la prima metà XX secolo produzione di massa, dalla seconda metà XX secolo produzione digitale e, dalla fine del XX ad oggi produzione robotica. Concluderanno questo percorso i giunti ed i relativi sistemi che sono stati permessi, e ideati, grazie alle scoperte in ambito chimico, per quanto riguarda le costruzioni a secco; in campo tecnologico-industriale per la stampa 3D. Quest'ultimi due contesti si pongono come possibili basi per gli sviluppi attuali.

I dettagli, per tanto, prenderanno parte alle seguenti fasi storiche:

- XVII - XIX secolo
- Dal XIX secolo
- Anni 30/40 del XIX secolo
- Anni 40/50/60 del XIX secolo
- Anni 70/80 del XIX secolo
- Anni successivi agli anni 80 del XIX secolo

Nel excursus storico, degna di nota, inoltre, è la collocazione di questi casi studio; considerando gli anni di analisi è imprescindibile l'influenza della globalizzazione; inoltre, vedremo come nei periodi delle due Guerre Mondiali, i territori che furono maggiormente impegnati nei fronti bellici saranno coloro che maggiormente ricorreranno all'uso della prefabbricazione in fase di guerra e di ricostruzione post-bellica. L'analisi geografica, storica e dell'evoluzione dell'industria introdurranno i

casi studio dei giunti al fine di comprendere in maniera chiara ed esaustiva il contesto di sviluppo dell'analisi.



Brevetti Portable House
Cellophane House
Copper House
Crystal Palace
Dymaxion House
Future House
General House
Habitat 67
Housing complex
Housing Murray
Linificio C.Bage
Lustron Homes
Moduli 225
Nagakin Capsule Tower
Opificio J. Borgadus
Packaged House System
Patent 190106115
Patent 621389
Portable building
Portable House
Portable House 355441
Prefabricated Bathroom
Steel connector
Quonset Hut
The portable Cottage
Yacht House



Unicità degli elementi, imprecisioni e quantità contenuta di produzione

Introduzione di macchinari, nuovi materiali competenze a supporto dell'industria

Uso di catene di montaggio, prefabbricazione degli elementi e montaggio in stabilimento

Robot ed automazione a supporto dell'uomo, uso di materiali per rendere migliore l'architettura

Software e nuovi linguaggi a supporto della produzione con maggior precisione e meno sprechi/errori

Rivalutazione dei processi produttivi, uso di materiali a basse emissioni e pianificazione della vita dell'edificio

Produzione artigianale

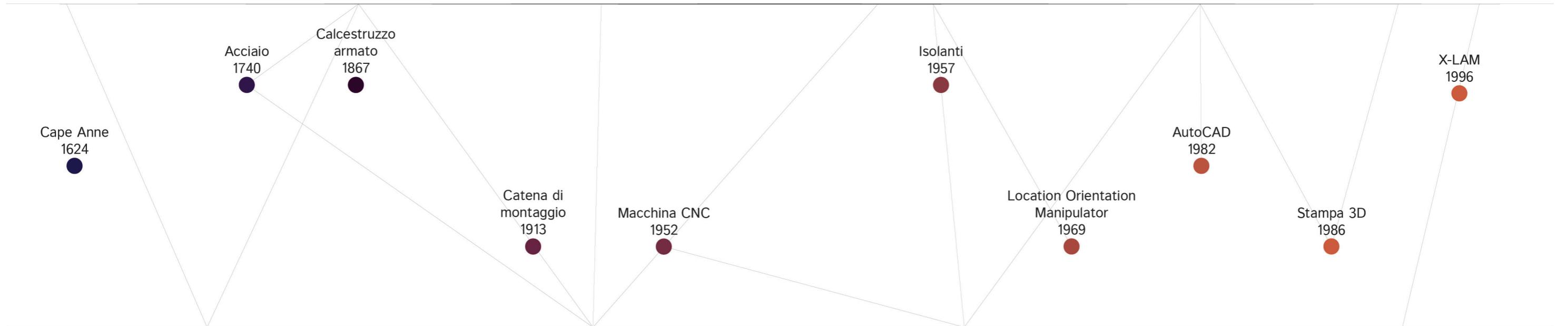
Produzione industriale

Produzione di massa

Produzione robotica e nuove tecnologie

Produzione digitale

Produzione sostenibile



Domanda espansionistica

Richiesta di edifici leggeri, facilmente trasportabili e montabili senza specifiche competenze

Domanda quantitativa

Richiesta di edifici a supporto della guerra e successiva necessità di ricostruzione post distruzione

Domanda qualitativa

Necessità di edifici energeticamente più performanti e ricerca di una maggiore qualità abitativa

Domanda sostenibile

Ricerca di rispettare l'ambiente e preoccupazione per l'inquinamento ambientale durante la produzione e la vita dell'edificio



Industrializzazione e standardizzazione

“Il termine industrializzazione edilizia si riferisce a tutta una gamma di diversi metodi e procedimenti di costruzione che si basano, in maggiore o minore misura, sulla standardizzazione e l'impiego dei materiali standardizzati”³. L'industrializzazione, nei suoi primordi, risultò innovativa perché permise, grazie alla standardizzazione, di rendere interscambiabili dei componenti al fine di ottenere un risultato finale un oggetto, come un fucile, un macchinario o un edificio, con la maggior facilità e il minor impiego di tempo e risorse. Inizialmente questo nuovo processo di produzione non prevedeva la meccanizzazione del processo, benché la consapevolezza che sarebbe servita arrivò molto presto. In particolare, nel primo periodo di sviluppo, l'industrializzazione fu molto dispendiosa per i singoli imprenditori e ciò portò al fallimento di aziende in assenza di agevolazione da parte dei governi. I pionieri di industrie per supportare questi processi di produzione inventarono macchinari che andassero a supporto, creando un sistema strategico che favorì, in primis, lo sviluppo di nuove tecniche e competenze da parte di chi manovra i suddetti macchinari e, inoltre, queste produzioni furono trasmesse a larga scala su tutto il settore meccanizzato.

All'interno del contesto edilizio, i sistemi di connessione furono influenzati dal contesto

della standardizzazione come nel caso della produzione della carpenteria e dei chiodi per completare i giunti delle strutture in legno, o diversamente, potevano esser ad incastro con serraggio per mezzo di bulloni e viti quando il materiale utilizzato era l'acciaio o il ferro, previo stampaggio e formatura degli elementi strutturali.

Le strutture che giovarono di queste produzioni furono da una parte, abitazioni prodotte per soddisfare la domanda quantitativa per l'espansione; dall'altra, edifici industriali per incrementare la produzione nei nascenti settori.

3. Nardi G., Progettazione architettonica per sistemi e componenti, Franco Angeli, Milano, 1977

XVII - XIX secolo

La prefabbricazione iniziò ad inserirsi nella progettazione di edifici e per la produzione di elementi strutturali a partire dalla metà del 600 in diversi contesti dell'architettura inglese. La necessità di costruire velocemente e con materiali facilmente trasportabili condussero i coloni inglesi a progettare e trasportare cottages dall'Inghilterra alle coste australiane; dall'altra, la scoperta del ferro e il suo impiego in strutture quali fabbriche e serre ad una prima produzione industriale, ma con stampo artigianale, richiedevano la produzione di travi, colonne ed archi.



Ditherington Flax Mill Maltings

📅 Anno

1797

📍 Progettista

Charles Bage

📍 Luogo

Inghilterra

🏭 Processo di produzione

Produzione artigianale - industriale degli elementi con stampi

🔗 Giunto

L'edificio, benchè fosse in muratura, prevedeva l'inserimento di travi e colonne in ferro appositamente disegnate e prodotte in stampi, prevedendo nel getto della tracce e dei pilastri anche la forma del "capitello" di giunzione tra gli elementi. Le parti sono congiunte in cantiere per mezzo di viti, dadi e bulloni a serrare l'incastro tra le due strutture, con l'ausilio di piastre in metallo. Particolare la connessione tra le travi e la muratura in laterizio che vede l'ancoraggio dell'elemento metallico ad un mattone per mezzo di una piastra in legno e di una vite. Il giunto risulta esser quindi composto sia da un incastro che imbullonato.

📌 Contesto

Il linificio, appartenuto a John Marshall, fu costruito a seguito dell'incendio dello stabilimento precedente. Il progetto è da considerarsi come la base della storia degli edifici multipiano e delle strutture future in acciaio. Bage, si trovò a dover soddisfare tre requisiti principali:

- Ideare un edificio che potesse ospitare diversi mulini e degli alberi di trasmissione
- Utilizzare un materiale per la costruzione che sostenesse il grande peso dei macchinari
- Prevedere, in caso di incendio, una maggiore sicurezza e resistenza al fuoco da parte della struttura.

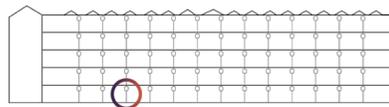
Seguendo gli studi e i test dell'epoca optò per l'inserimento di una struttura portante in ghisa, in modo tale che la lega potesse garantire un'alta resistenza a compressione. Venne inserita "un'anima" all'edificio fatta da travi doppie nella lunghezza e colonne portanti disposte a tre campate per piano con l'impiego di tamponature in mattone. Le travi erano sagomate in stampi con una sezione circolare ad anima cruciforme, considerata la forma con maggiore resistenza all'epoca; al fine di convogliare in maniera corretta i carichi dall'alto verso il basso, le colonne erano disposte in corrispondenza in ogni piano.⁴⁻⁵

4. Shrewsburyflaxmillmaltings

5. Anya-Burakowski-Question-1-Ditherington-Flax-Mill-Essay

Il giunto

Collocazione



Funzione

Struttura portante interna

Elementi connessi

Travi e pilastri

Sistema di unione

Incastro e imullonato

Performance

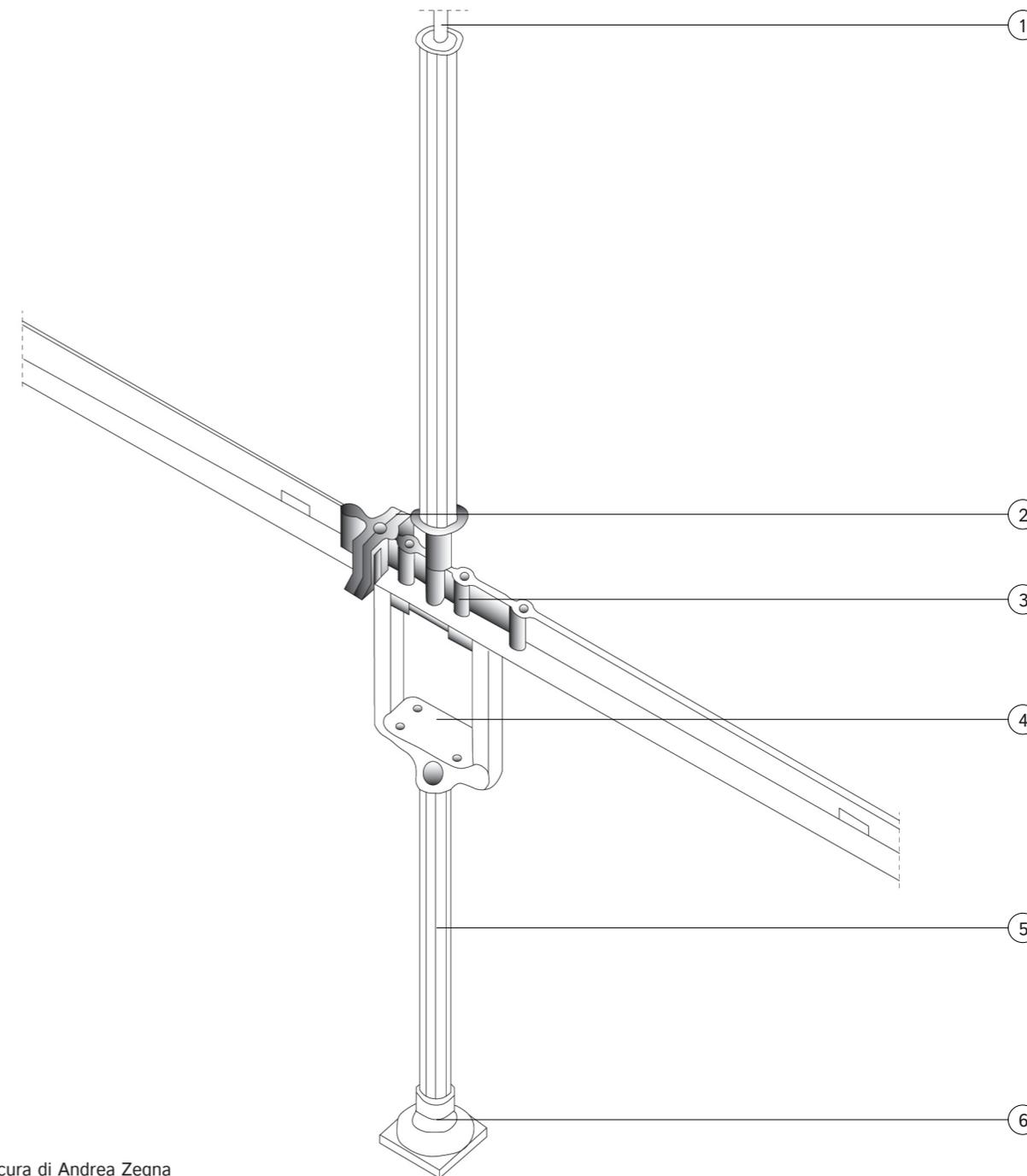
Efficace e durevole strutturalmente, inefficace termicamente

Innovazione

Scelta del materiale e del concetto strutturale

Descrizione

- ① Collo della colonna per potersi inserire nel solaio e connettersi direttamente all'elemento del piano superiore.
- ② Piatto di connessione tra le due travi nella stessa campata.
- ③ Sistemi cilindrici stampati nelle colonne e travi per accogliere dadi e bulloni si serraggio tra gli elementi.
- ④ Sagoma ad U stampata in fase di preparazione della colonna, con funzione di "capitello".
- ⑤ Colonna cruciforme per maggiore resistenza dell'elemento nel trasmettere i carichi.
- ⑥ Bicchiere alla base della colonna del piano terra per fornire appoggio alla struttura.



Produzione a cura di Andrea Zegna



The Portable Cottage

📅 Anno

1830

🏠 Progettista

H. John Manning

📍 Luogo

Inghilterra

🏭 Processo di produzione

Produzione artigianale - industriale degli elementi

🔗 Giunto

La struttura prevedeva due diverse tipologie di giunto:

- Incastro tra i montanti portanti della struttura e i pannelli di rivestimento.
- Bulloni e viti per serrare i giunti sopra citati o per collegare i montanti al tetto e alla base.

In particolare bulloni e viti, in ferro, erano utilizzati per permettere una facilità di messa in opera grazie ad una sola chiave inglese; diversamente sarebbe successo se fossero stati previsti giunzioni di altri materiali o uso di chiodi; risultava accessibile agli emigranti nelle colonie con strumenti e competenze limitati.

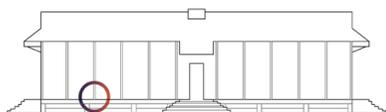
📍 Contesto

Il cottage portatile fu ideato e progettato dal falegname londinese John Manning, per il proprio figlio che doveva trasferirsi in Australia. La struttura doveva essere facilmente montabile e trasportabile, di conseguenza partendo dai brevetti esistenti utilizzati nelle altre colonie inglesi, migliorò il rapporto tra struttura e rivestimento. Nel dettaglio, il cottage si componeva di elementi portanti fatti da montanti scanalati e presagomati costituenti la struttura portante delle pareti, e da capriate lignee triangolari per la struttura portante del tetto. Il sistema di rivestimento si completava con dei pannelli in legno, incastrati e successivamente fissati tra un montante e l'altro; la peculiarità dei pannelli era quella di essere intercambiabili e standardizzati. Dovendo affrontare viaggi in barca e successivamente essere trasportato in luoghi dove le infrastrutture non erano ancora sviluppate, il peso della struttura era la variabile chiave del progetto: leggerezza e facilità di montaggio erano permessi dall'uso del legno. Manning dichiarò "poiché nessuno dei pezzi è più pesante di quanto un uomo o un ragazzo potrebbe facilmente trasportare per diverse miglia, potrebbe essere portato anche a distanza senza l'aiuto di alcuna bestia da soma"⁶.

6. Il cottage coloniale portatile Manning (1833)

Il giunto

Collocazione



Funzione

Collaborante con struttura portante esterna

Elementi connessi

Montante - trave

Sistema di unione

Imbullonato

Performance

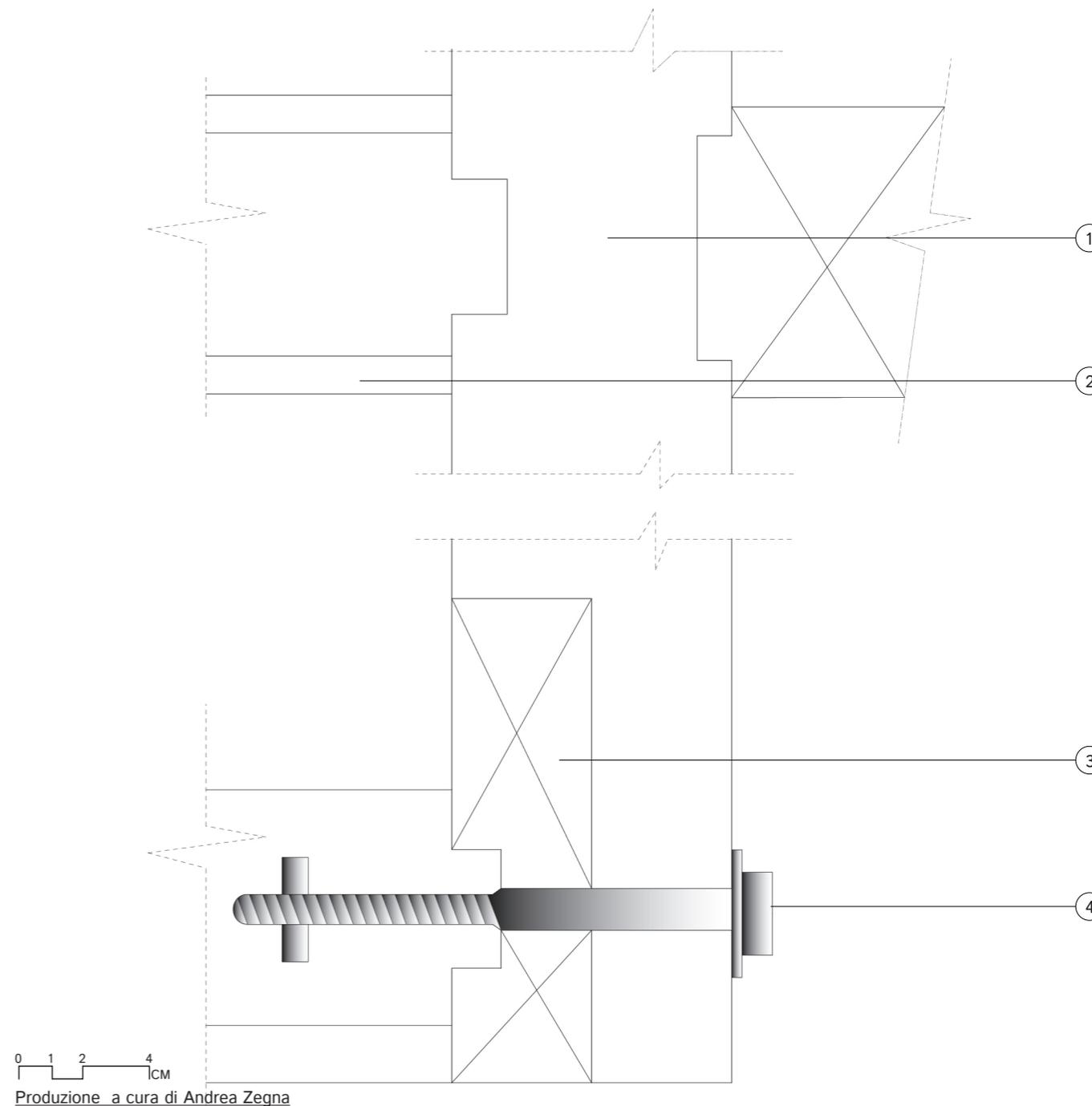
Poco durevole strutturalmente e termicamente

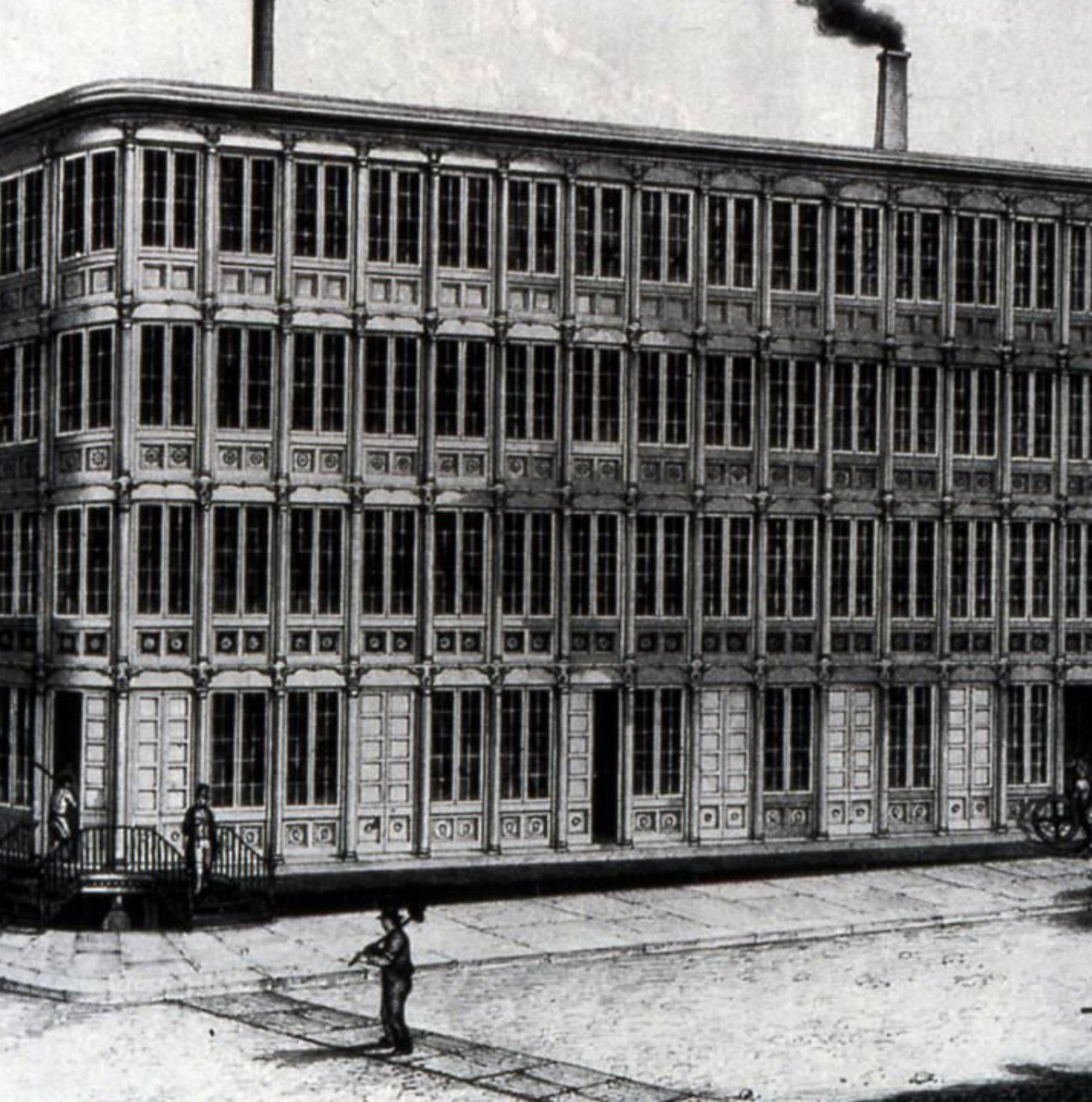
Innovazione

/

Descrizione

- ① Montante della struttura principale sagomato per permettere l'incastro dei pannelli di tamponatura.
- ② Pannello in legno presagomato; dimensioni variabile intercambiabili
- ③ Montante raddoppiato negli anelli coperto dalla parte esterna dal pannello.
- ④ Sistema di fissaggio degli elementi per mezzo di viti e bulloni facilmente impiegabili con una chiave inglese.





Opificio Centre e Duane Streets

📅 Anno

1848

🏠 Progettista

James Bogardus

📍 Luogo

Stati Uniti

🏭 Processo di produzione

Produzione artigianale - industriale degli elementi con stampi

🔗 Giunto

La struttura esterna si componeva di tre elementi in ghisa: colonne, montanti e pannelli sotto finestra. La continuità strutturale e tra gli elementi era permessa da incastri tra gli elementi orizzontali ai quali per mezzo di viti erano connessi quelli verticali. Completava la finitura il pannello sottofinestra, connesso per mezzo di viti agli elementi verticali. La prefabbricazione di questi elementi con questa tipologia di giunzioni permetteva la facilità di messa in opera ma anche la possibilità di smontare e spostare la struttura stessa.

📌 Contesto

L'edificio progettato dall'architetto americano Bogardus è considerato un'opera pionieristica per due motivi: il primo, perché utilizzava uno scheletro interno come struttura portante e non una muratura in mattoni; secondo, le facciate, nonchè il rivestimento esterno di tamponatura era costituito da elementi in ghisa. Fu uno dei primi progettisti ad utilizzare questo materiale che gli permise di ottenere un brevetto nel 1850 per la produzione e stampaggio degli elementi per edifici. Questo suo approccio proto-industriale derivava anche da altre invenzioni che stava attuando, ad esempio, nella produzione di francobolli producendoli con macchine automatiche per lo stampaggio, o in altri settori, introdusse macchinari per la pressatura del vetro o il taglio della gomma. Sagomare, stampare e profilare gli elementi della facciata permetteva di introdurre la prefabbricazione per edifici industriali: lo stoccaggio e la produzione in stabilimento permettevano di dover solo assemblare in sito le parti della struttura e della finitura di questo edificio a cinque piani. Oggi, non più esistente, ma all'epoca era considerato una premonizione di ciò che sarebbero stati i grattacieli e i futuri sviluppi in seguito alla scoperta dell'acciaio.⁷

7. Mid 19th century commercial building by James Bogardus

Il giunto

Collocazione



Funzione

Finitura esterna

Elementi connessi

Pannello - colonna
- montante

Sistema di unione

Incastro ed imbullonato

Performance

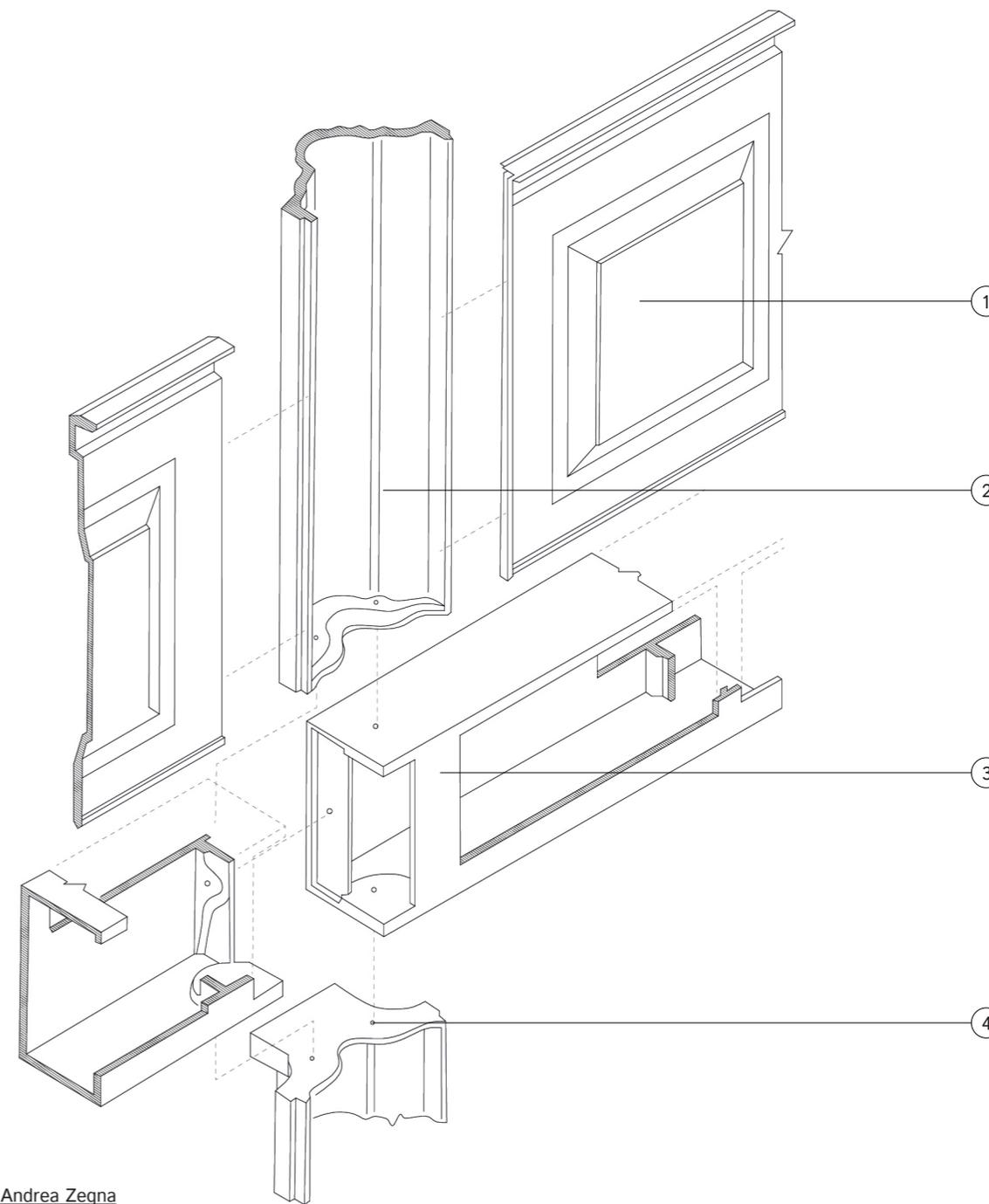
Efficace e durevole strutturalmente, inefficace termicamente

Innovazione

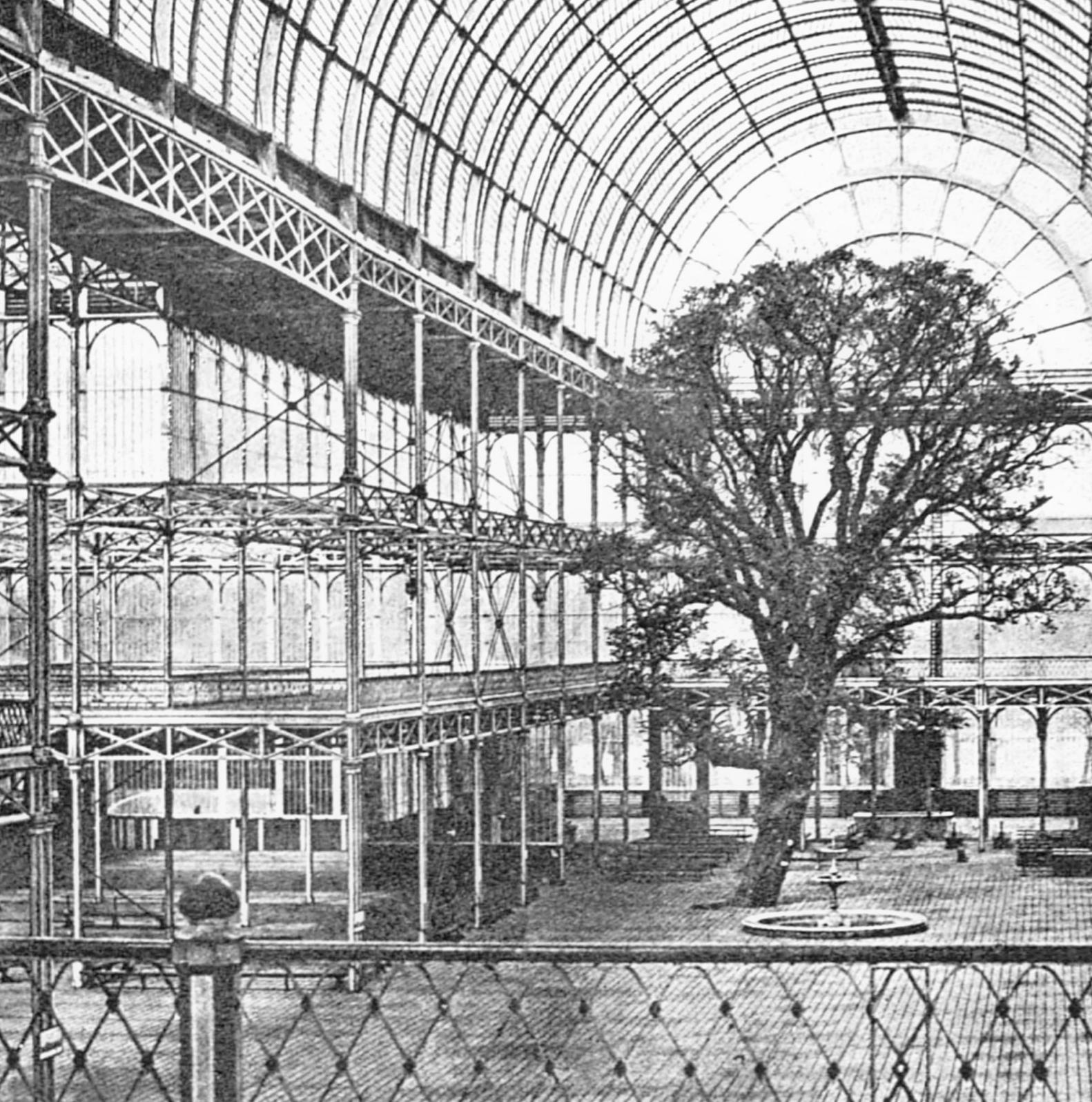
Processo di stampaggio degli elementi

Descrizione

- ① Pannello di finitura impiegato come sotto finestra e decorato per mezzo di diversi livelli di estrusione del materiale.
- ② Colonna verticale della facciata sagomata e connessa ai montanti orizzontali.
- ③ Montante orizzontale connesso per mezzo di incastro e viti.
- ④ Fori previsti per le viti di serraggio degli incastri e permettere la connessione tra elementi verticali e orizzontali.



Produzione a cura di Andrea Zegna



Crystal Palace

📅 Anno

1851

🏗️ Progettista

Johseph Paxton

📍 Luogo

Inghilterra

🏭 Processo di produzione

Produzione industriale degli elementi

🔗 Giunto

La struttura prevedeva una particolare connessione tra le travi piatte e le colonne cave. Questa avveniva per mezzo di incastri e cunei di due diversi materiali: quelli trasversali erano in ghisa, come la struttura principale, quelli lungo la lunghezza erano in quercia, , ad eccezione delle tre campate ad ogni estremità e su entrambi i lati del transetto. I cunei era impiegati per ottenere un giunto rigido e il legno permetteva alla struttura qualche possibilità di movimento longitudinale collaborando e controllando con l'espansione e la contrazione del materiale in seguito alle variazioni di temperatura. Inoltre, la connessione tra colonna superiore ed inferiore avveniva per mezzo di viti e bulloni.

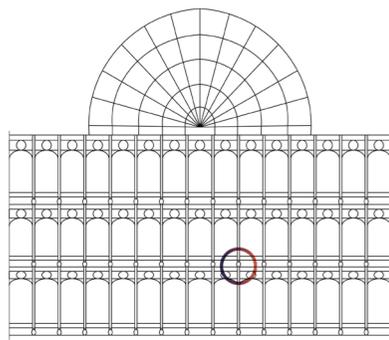
🏠 Contesto

L'enorme serra, costituita da elementi prefabbricati e standardizzati in ferro e vetro, fu progettata da Paxton per ospitare l'Esposizione Universale del 1851 a Londra. La struttura venne progettata ed eretta in soli quattro mesi, costituita da una pianta libera e una copertura voltata; la necessità di sviluppare diverse altezze con anche un transetto era dettata dalla volontà di preservare gli olmi presenti nel parco. Inoltre, la natura, venne richiamata nella decorazione del "rosone" della facciata principale: essendo Paxton un giardiniere traeva grande ispirazione dalle piante poichè considerate il più alto livello di ingegneria. La prefabbricazione, oltre a fornire una struttura esile e permettere l'impiego del vetro rendendo l'edificio luminoso, facilitò le fasi di smontaggio, trasporto e rimontaggio successivi in diverse località. Gli elementi principali dello scheletro strutturale erano colonne, di due diverse altezze e cave per ospitare gli scarichi, e tre travi piatte di diverse lunghezze. La fondazione era in cemento mentre il pavimento del piano rialzato era sostenuto da travi in ferro e diagonali che dividessero in maniera corretta i carichi della struttura. L'edificio, come è noto, subì diversi incendi e modifiche fino all'incendio fatale del 1936.⁸

8. Domus, 2020

Il giunto

Collocazione



Funzione

Struttura portante esterna
Angolo portante esterno

Elementi connessi

Colonna - trave

Sistema di unione

Incastro con cuneo

Performance

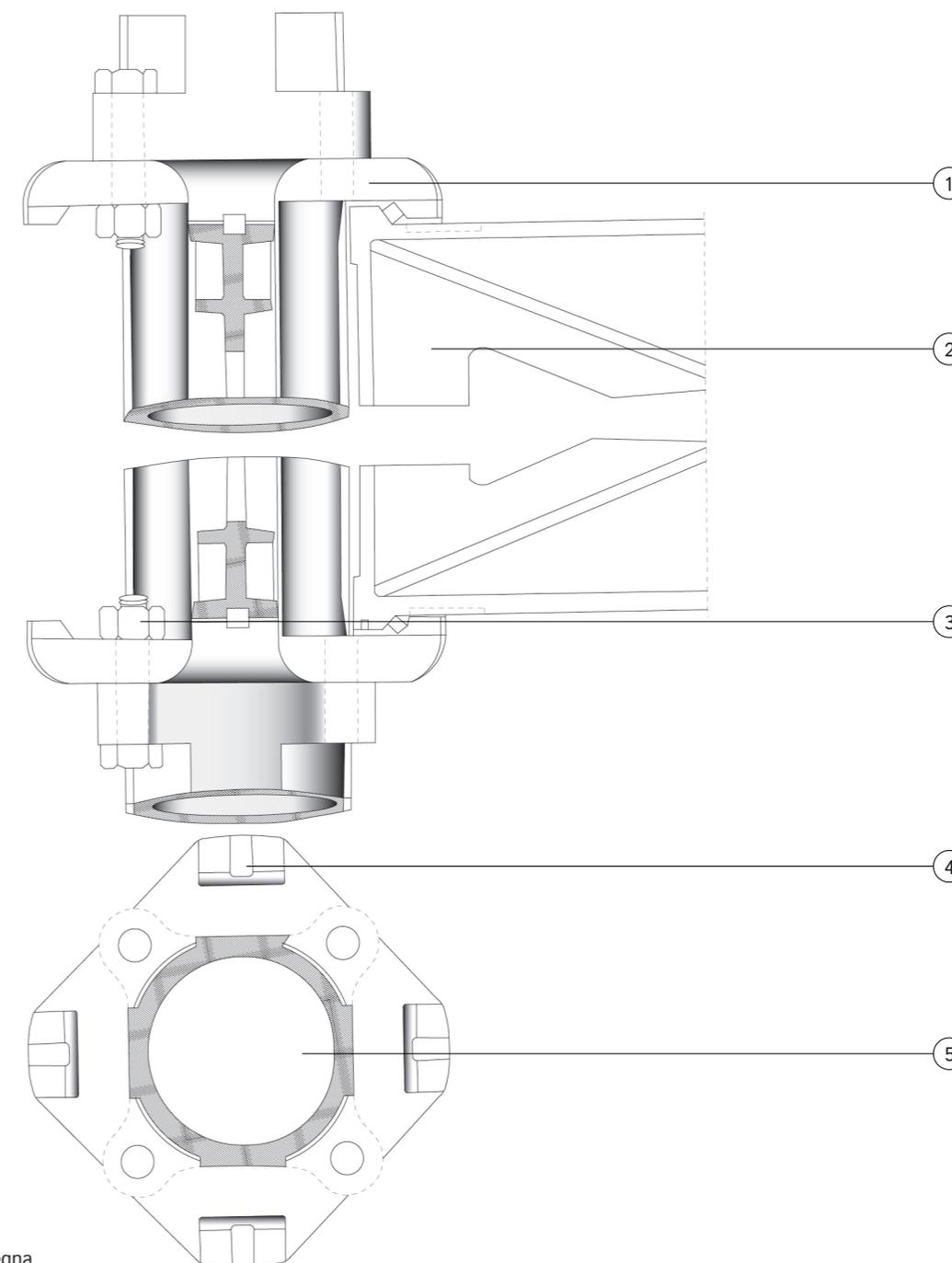
Efficace e durevole strutturalmente, inefficace la resistenza al fuoco

Innovazione

Uso dell'acciaio

Descrizione

- ① Cuneo tra l'incastro tra colonna e trave piatta, in base alla direzione varia tra legno o ghisa.
- ② Trave strutturale con sezione piatta e sagomatura per maggiore resistenza.
- ③ Dadi e bulloni per serrare i cunei e l'incastro tra colonna superiore ed inferiore.
- ④ Sezione dell'estremità della colonna pretagliata per ospitare l'inserimento dei cunei in quattro posizioni.
- ⑤ Sezione cava della colonna per permettere l'inserimento degli scariche e la raccolta delle acque meteoriche.

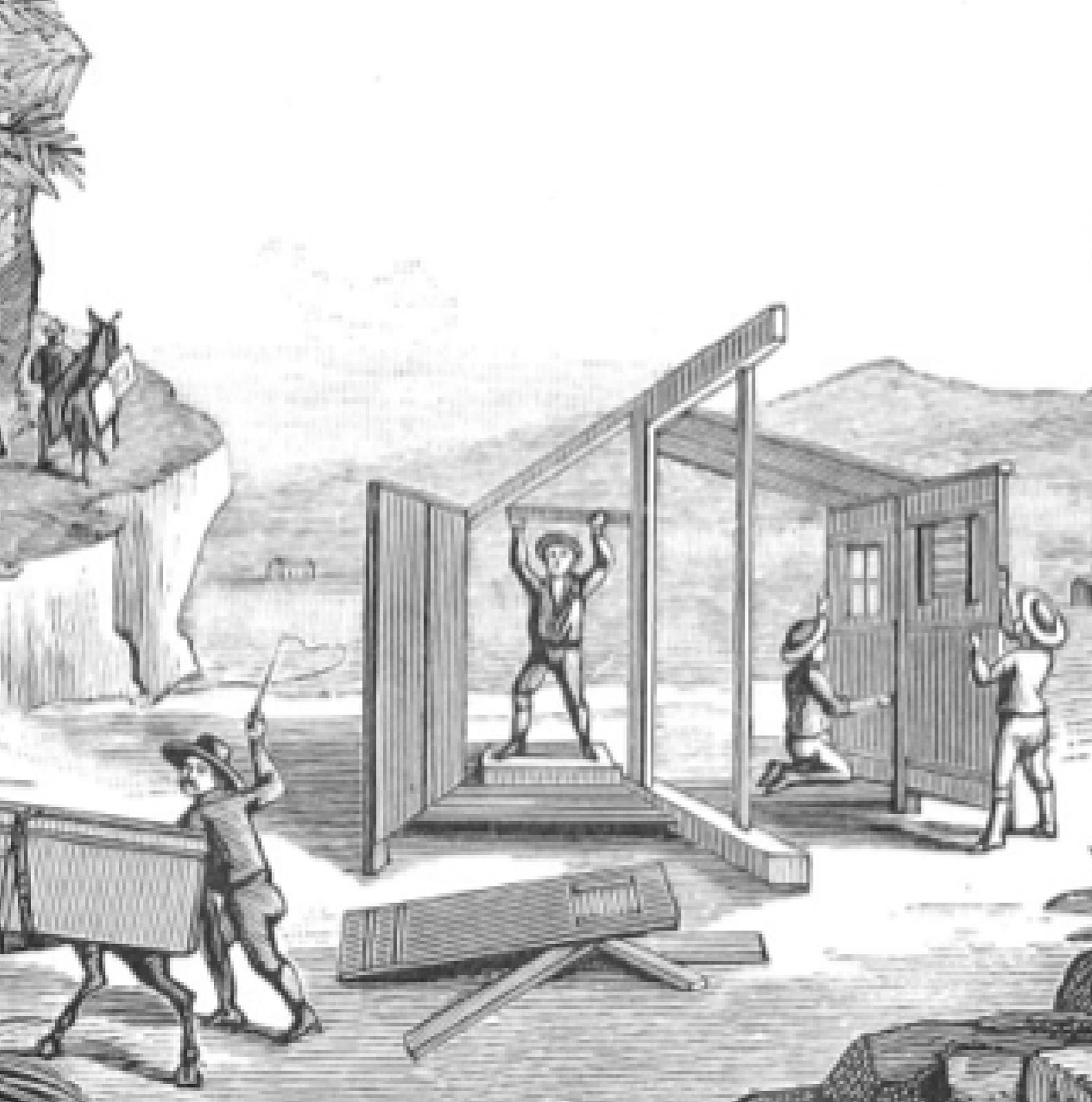


0 2 4 8
1CM

Produzione a cura di Andrea Zegna

Dal XIX secolo

L'architettura fu fortemente influenzata dalla produzione industriale di massa e dalla catena di montaggio di Henry Ford. Architetti, designer e ingegneri ricercarono assiduamente la casa industriale: facile da costruire in ogni luogo, trasportabile, facilità di produzione attraverso i nuovi macchinari e materiali e soprattutto a basso costo. I materiali utilizzati per le strutture venivano scelti e sfruttati in relazione alle risorse del luogo, principalmente legno e metallo (acciaio) fino all'introduzione e la brevettazione del calcestruzzo armato che introdusse nuove opportunità.



Portable House



Brevetto

US355441A



Anno

1887



Progettista

W. M. Ducker



Luogo

Stati Uniti



Processo di produzione

Produzione industriale dei pannelli e sistemi di giunzione metallici



Giunto

I pannelli della struttura erano collegati fra loro da due diversi sistemi di connessione metallica: il primo posizionato in testata alle tavole permetteva l'incastro di due elementi, paragonabile ad un incastro a coda di rondine; il secondo, avvitato nella parete permetteva di serrare con un gancio l'unione e disabilitare il distacco fra i due. L'impiego di semplici viti velocizzava la pre-installazione dei suddetti giunti in stabilimento così da rendere più agevole la fase di montaggio in sito della struttura prefabbricata; all'epoca, questa idea di connessione risultava innovativa perchè si discostava dalla massa di bulloni e viti.



Contesto

Progettato da Ducker e prodotto dall'omonima azienda, il sistema costruttivo a pannelli conquistò perchè permetteva di essere trasportato semplicemente grazie ad un mulo o all'impiego di due operai. Inoltre, grazie all'invenzione di nuovi sistemi di giunzione, queste strutture a pannelli in legno erano facili da montare, economiche e accessibili in fase di costruzione. Benchè questi caratteri fossero già affermati all'epoca, nel settore dell'edilizia prefabbricata in legno, la ventata innovativa di questo brevetto fu quella di permettere di erigere strutture per nuovi fini e assumere diverse forme: baracche, semplici caserme fino a padiglioni da prato, cottage imitando architetture orientali; questa variazione stilistica permessa dalla stessa struttura era uno dei principi che inizialmente mancò in questa tipologia di strutture. Il brevetto prevedeva un'attenta progettazione e previsione degli arredi, ad esempio i letti in caso di caserme militari, e il loro trasporto insieme alla struttura senza dover gravare sulla facilità di quest'ultimo. Importante fu anche la previsione di impianti di riscaldamento e l'attenzione alla variabile temporale dell'intera struttura. Iniziò così ad articolarsi una maggiore attenzione e progettazione di questi edifici.⁹

9. Espacenet

Il giunto

Collocazione



Funzione

Collaborante con struttura portante esterna

Elementi connessi

Pannelli di rivestimento

Sistema di unione

Ganci ed incastri metallici

Performance

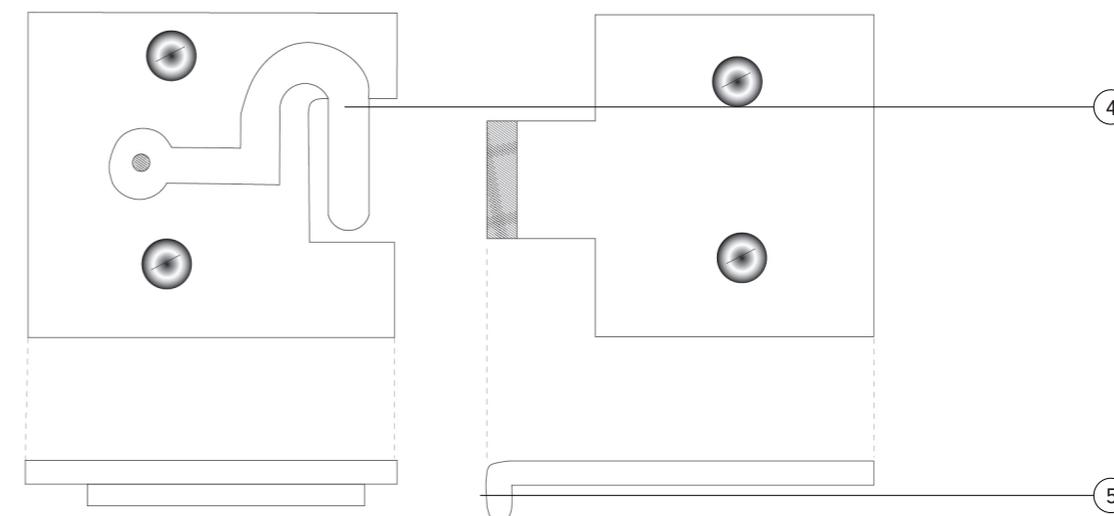
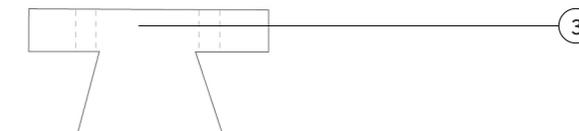
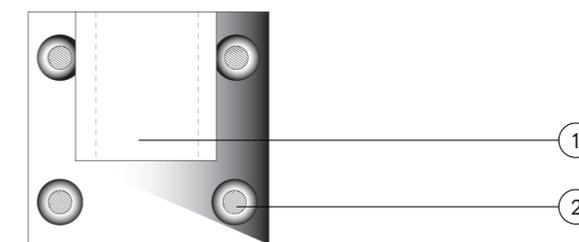
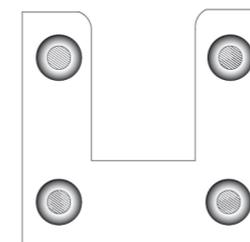
Poco durevole strutturalmente, ed inefficace termicamente

Innovazione

Sistemi di connessione esterni alle strutture

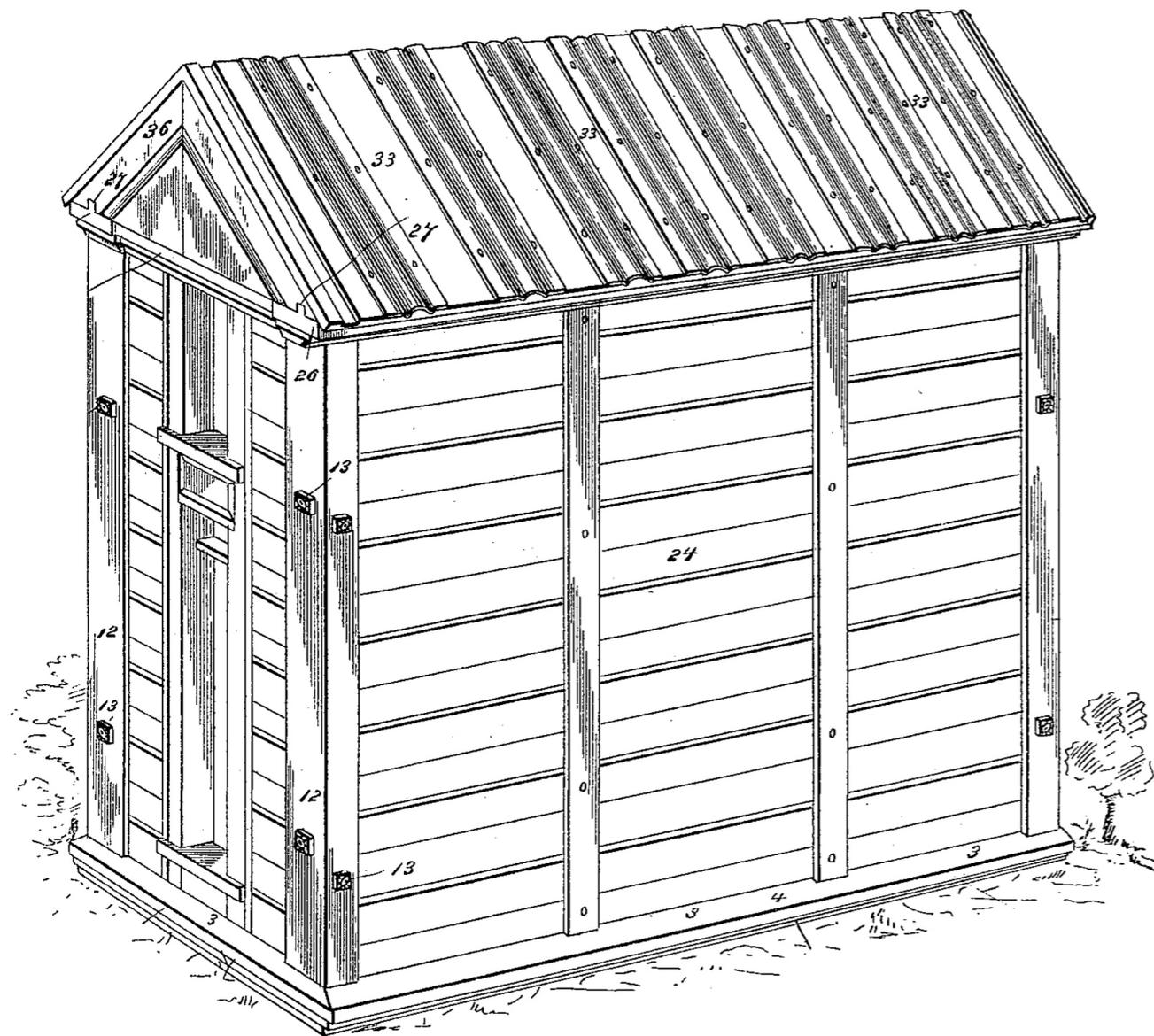
Descrizione

- ① Elemento metallico ad “U” posizionato in testata di uno dei due elementi da connettere.
- ② Viti per legare la carpenteria metallica alle strutture in legno.
- ③ Elemento metallico ad “T” posizionato in testata di uno dei due elementi da connettere.
- ④ Grancio posizionato in testata di uno dei due elementi da connettere;
- ⑤ Asola metallica posizionata in testata di uno dei due elementi da connettere.



0 1 2 4
| | | |
CM

Produzione a cura di Andrea Zegna



Portable House

 **Brevetto**
US444604A

 **Anno**
1891

 **Progettista**
H.W. Paker

 **Luogo**
Stati Uniti

 **Processo di produzione**

Produzione industriale con macchinari degli elementi in legno

 **Giunto**

Alla struttura dell'edificio è stata dedicata una specifica attenzione ai sistemi di connessione tra i diversi elementi, per mezzo di incastri tra elementi pre-tagliati o carpenteria in ferro. La struttura principale in montanti si collega agli assi di tamponamento orizzontali per mezzo di un incastro serrato da delle viti e bulloni, sia nel mezzo della facciata che agli angoli. Il tetto fatto da travi inclinate appositamente tagliate si connette alle travi di bordo con dei vitoni. Nel brevetto, inoltre, viene sottolineato come il giunto tra montanti portanti e assi di tamponatura sia chiuso da una colla per sigillare ulteriormente alle intemperie.

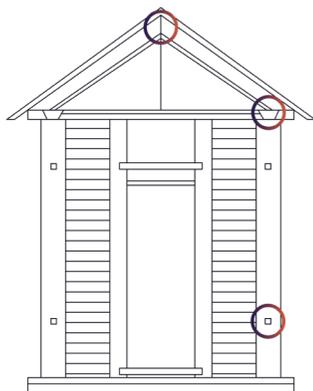
 **Contesto**

Il brevetto si riferisce a delle migliorie e nuove invenzioni inerenti alla produzione di case prefabbricate in legno. A partire dagli 60 del 800, in America dilagò lo sviluppo di questa tipologia di case portatili e ne sono testimonianza diversi brevetti oltre a questo preso in esame; possiamo citare, come esempio, quello del 1861 di Skillings (Patent 275433758) e quello di J.M Peck del 1881 (Patent 239669). Si fece strada nell'industria la ricerca di prefabbricare case con strutture a montanti, e pannelli di tamponatura per necessità economiche: i macchinari delle fabbriche permettevano di produrre con maggiore facilità i componenti degli edifici, portando ad una riduzione dei costi e una successiva facilità di montaggio da parte degli investitori. Oltre a questi vantaggi iniziali, la case prefabbricate permettevano una buona resistenza alle intemperie, slogan attraverso il quale i produttori cercavano di catturare una fetta del mercato delle costruzioni. Il grande limite per i primi progetti era rappresentato innanzitutto dalle dimensioni ridotte dell'edificio finale, dalla difficoltà di poter articolare gli spazi interni e variare la forma della struttura questi fattori porteranno a svalutare le costruzioni e il settore dell'industria o a riservarne un uso marginale.¹⁰

10. Espacenet

Il giunto

Collocazione



Funzione

Collaborante con strutture portanti esterne

Elementi connessi

Travi - montanti e capriata del tetto

Sistema di unione

Imbullonato

Performance

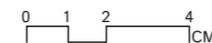
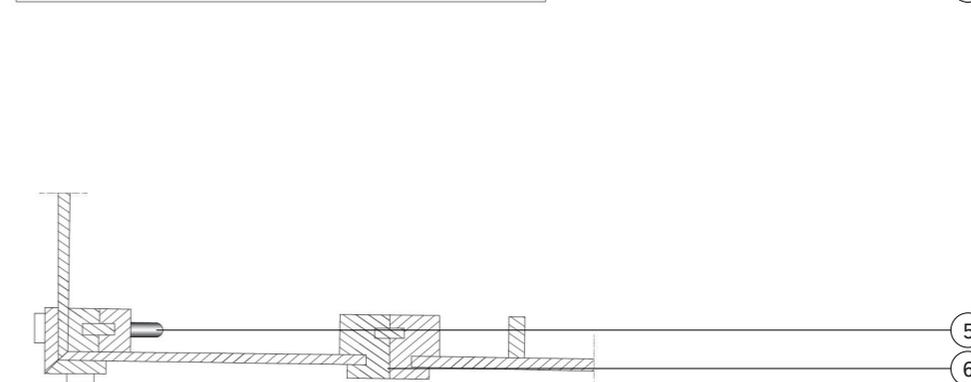
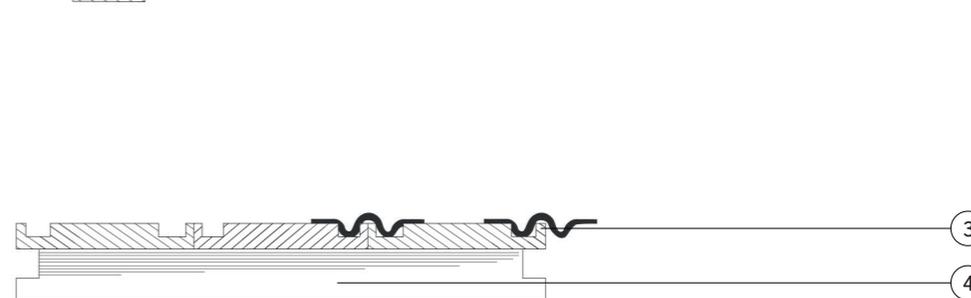
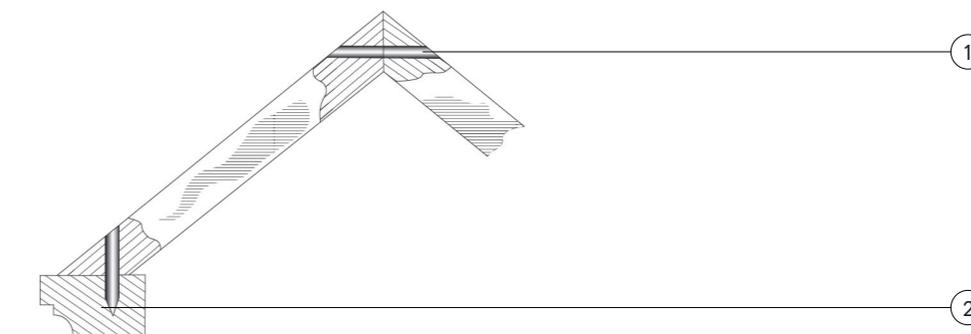
Efficace e durevole strutturalmente, inefficace termicamente

Innovazione

/

Descrizione

- ① Connessione tra i due travi della copertura per mezzo di capernteria.
- ② Connessione tra trave di cordolo sagomata e trave di colm per mezzo di carpenteria.
- ③ Gronde esterne e sistema di raccolta delle acque per mezzo di superfici metalliche sagomate nelle travi di cordolo.
- ④ Trave di cordolo pre-tagliata per incastrarsi nei montanti portanti; l'elemento supporta travetti secondari sagomati.
- ⑤ Giunto ad angolo per mezzo di viti e bulloni su montante coperto esternamente da listelli di legno.
- ⑥ Montante interno alla facciata connesso ai pannelli di finitura per mezzo di incastro.
- ⑦ Dettaglio della tipologia di viti utilizzate per serrare le connessioni degli elementi in legno.



Produzione a cura di Andrea Zegna





Brodie's specifications

 **Brevetto**
GB190106115A

 **Anno**
1901

 **Progettista**
John Alexander Brodie

 **Luogo**
Inghilterra

 **Processo di produzione**
Produzione industriale per mezzo di stampi

 **Giunto**
Il sistema di pannelli prevedeva la giunzione di pareti e solai per mezzo di incastri attraverso quattro tenoni. Per una maggiore tenuta venivano utilizzate delle asole sagomate a T, in corrispondenza delle giunzioni, in cui era inserito un blocco metallico o dado filettato per ricevere il vitone. La testa del bullone, inoltre, era munita di una rondella incassata nella parete. Quando le pareti sono state erette e giuntate, l'asola contenente il bullone veniva cementata. La facilità e precisione di giunzione tra gli elementi permetteva una maggiore salubrità e pulizia degli ambienti interni.

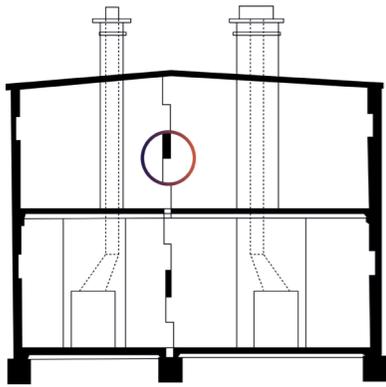
 **Contesto**

Il brevetto dell'ingegnere londinese Brodie si inserisce in un particolare contesto storico della capitale britannica. L'espansione delle periferie, la possibilità di sviluppare reti di infrastrutture con tram e metropolitane facevano da cornice ad una grande crescita demografica; ciò portò a condizioni insalubri e un grande divario sociale con la crescita della povertà. A favore di questa parte della popolazione rivolse le sue idee il progettista. L'impiego di pannelli e solai prefabbricati in calcestruzzo permettevano di contenere la proliferazione di germi e malattie, a differenza del legno, e di poter lavare e sanificare gli ambienti con facilità grazie anche agli appositi scarichi inseriti all'interno dei solai prefabbricati. Inoltre, utilizzando il klinker di scarto e rimacinato, permetteva un maggiore contenimento dei costi di prefabbricazione delle strutture e uno sguardo alla circolarità delle strutture stesse poichè una volta in disuso potevano esser rimpiegate in altri luoghi o smaltite riutilizzando il materiale. Inizialmente il brevetto prevedeva che gli edifici fossero solamente di due piani, successivamente alcuni raggiunsero anche i tre piani; la difficoltà era dovuta al posizionamento dei pannelli per mezzo di una struttura metallica con gru.¹¹

11. Espacenet

Il giunto

Collocazione



Funzione

Struttura portante esterna e divisoria interna



Elementi connessi

Parete - parete

Sistema di unione

Incastro ed imbullonato

Performance

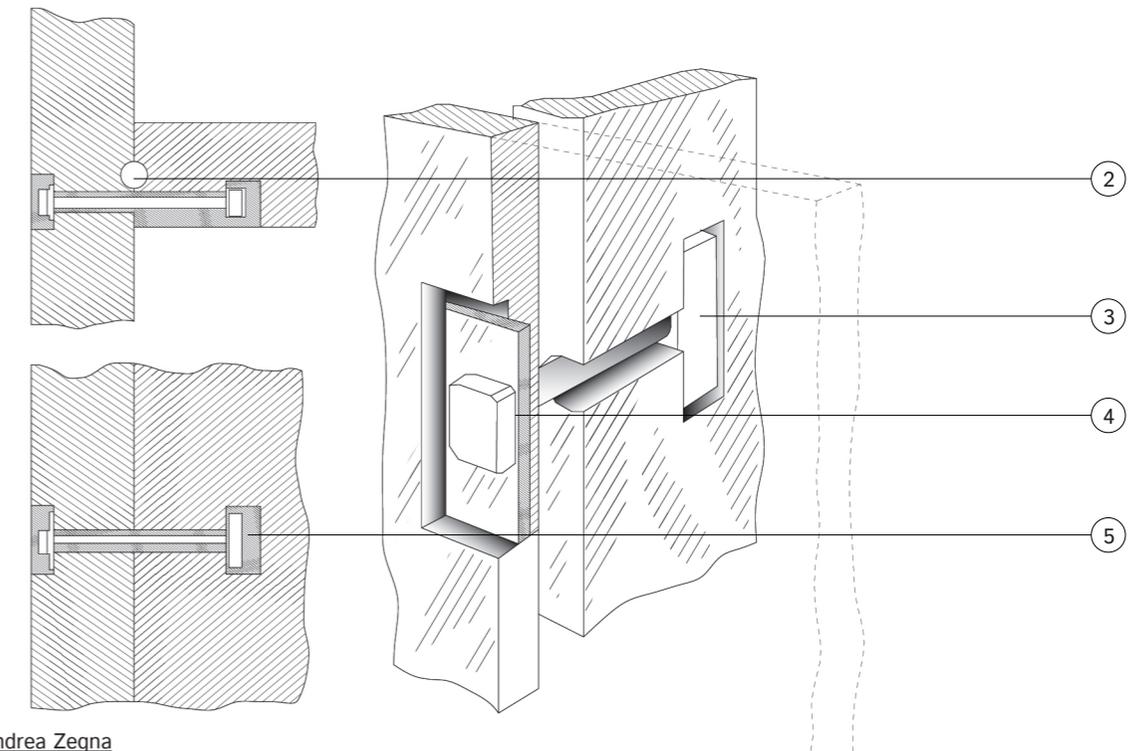
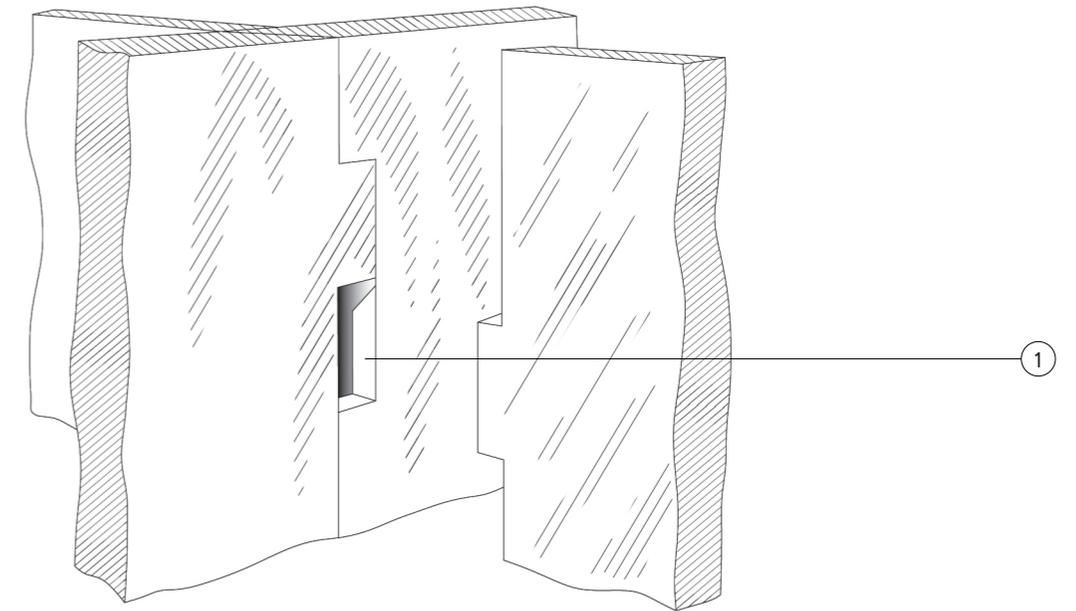
Durevole strutturalmente, efficace termicamente e igienicamente

Innovazione

Uso del calcestruzzo

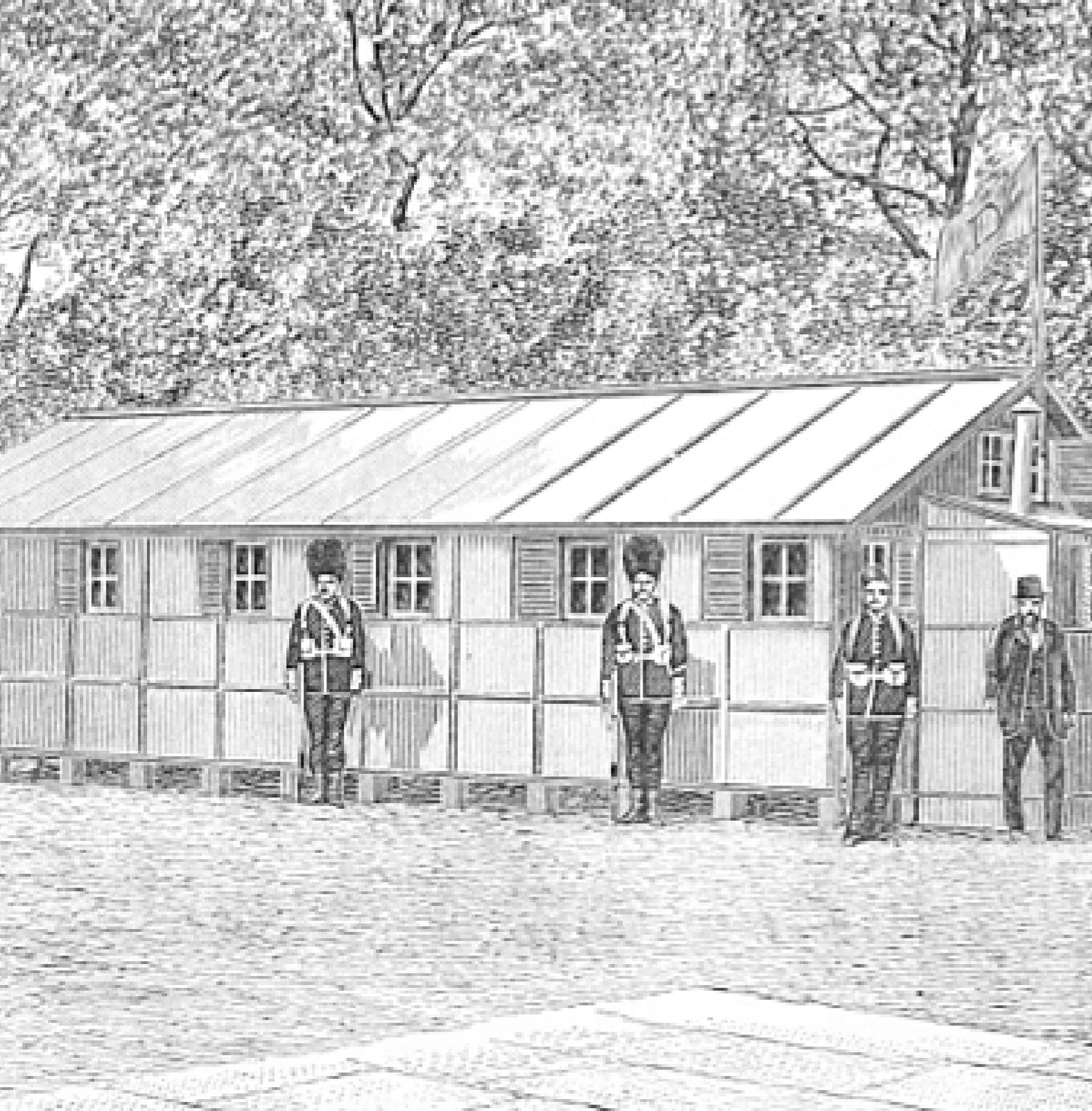
Descrizione

- ① Incastro a "T" delle pareti divisorie interne.
- ② Foro per la collocazione interna dei canali di scolo e controllo delle acque meteoriche e/o impianti.
- ③ Asola contenente il bullone o blocco metallico cementata in fase finale della messa in opera.
- ④ Vitone metallico con asole a "T" per connettere due pareti sia ad angolo, che nel giunto tra parete e solaio.
- ⑤ Bullone o blocco metallico in cui si inserisce il vitone di connessione.



0 5 10 20
CM

Produzione a cura di Andrea Zegna



Portable House

 **Brevetto**
GB190402158A

 **Anno**
1905

 **Progettista**
W. M. Ducker

 **Luogo**
Stati Uniti

 **Processo di produzione**

Produzione industriale dei pannelli e dei montanti della struttura

 **Giunto**

La struttura presenta due tipologie di giunto: legno-legno, tra i montanti sagomato e le travi di cordolo; e il secondo per mezzo di viti e bulloni per serrare i suddetti giunti. Rispetto il brevetto precedente, presentava delle migliorie nel sistema di connessione tra i montanti, ora scanalati e fissati alla base con dadi e bulloni, per ospitare un doppio strato di pannelli. Inoltre, è stato studiato un sistema di chiusura delle giunzioni che poteva esser ricoperto o da carta oppure da cemento idraulico; in altre casistiche la finitura poteva esser fatta dal secondo strato della parete che veniva eretto per mezzo di listelli scanalati ed incastrati.

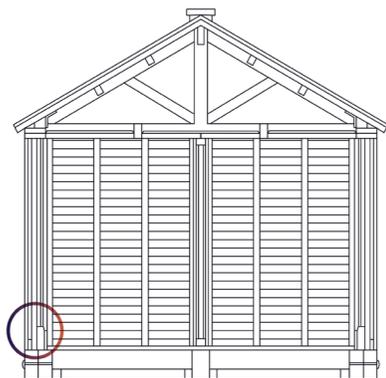
 **Contesto**

L'edificio è una rivisitazione del progetto del 1887. Il nuovo brevetto prevede una maggiore integrazione della struttura portante con diverse elementi sia orizzontali che verticali. In particolare, l'edificio si articola in una parte di struttura e di rivestimento che poteva esser scelto a discrezione del cliente o dalle necessità. Rimasero immutati i caratteri fondanti di queste strutture: necessità di facilità di montaggio e trasporto; per raggiungere questi obiettivi, le parti strutturali come ad esempio le travi di cordolo potevano esser composte da diversi blocchi componibili ed agganciabili per incastro e serraggio di carpenterie. Le giunzioni metalliche rimangono una pedina fondamentale del brevetto poichè, se nella versione precedente trovavamo degli appositi incastri e ganci, ora vediamo l'impiego di bulloni e dadi, con la totale assenza di chiodi, per poter permettere di serrare queste connessioni per mezzo di una sola chiave inglese.¹²

12. Espacenet

Il giunto

Collocazione



Funzione

Collaborante con strutture portanti e di rivestimento esterne

Elementi connessi

Montanti - travi - pannelli

Sistema di unione

Incastro ed imbullonato

Performance

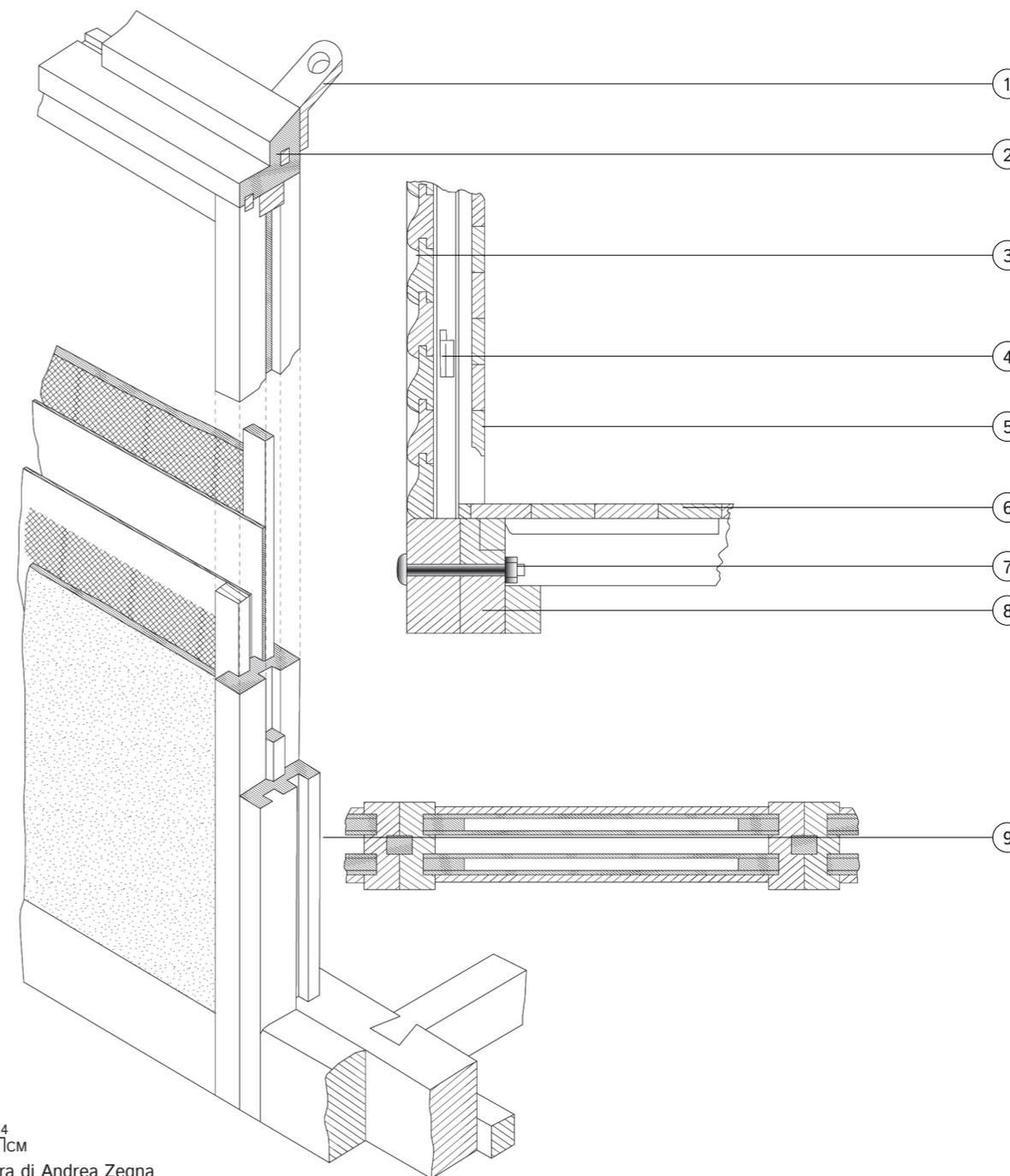
Efficace e durevole strutturalmente e termicamente

Innovazione

Struttura portante esterna

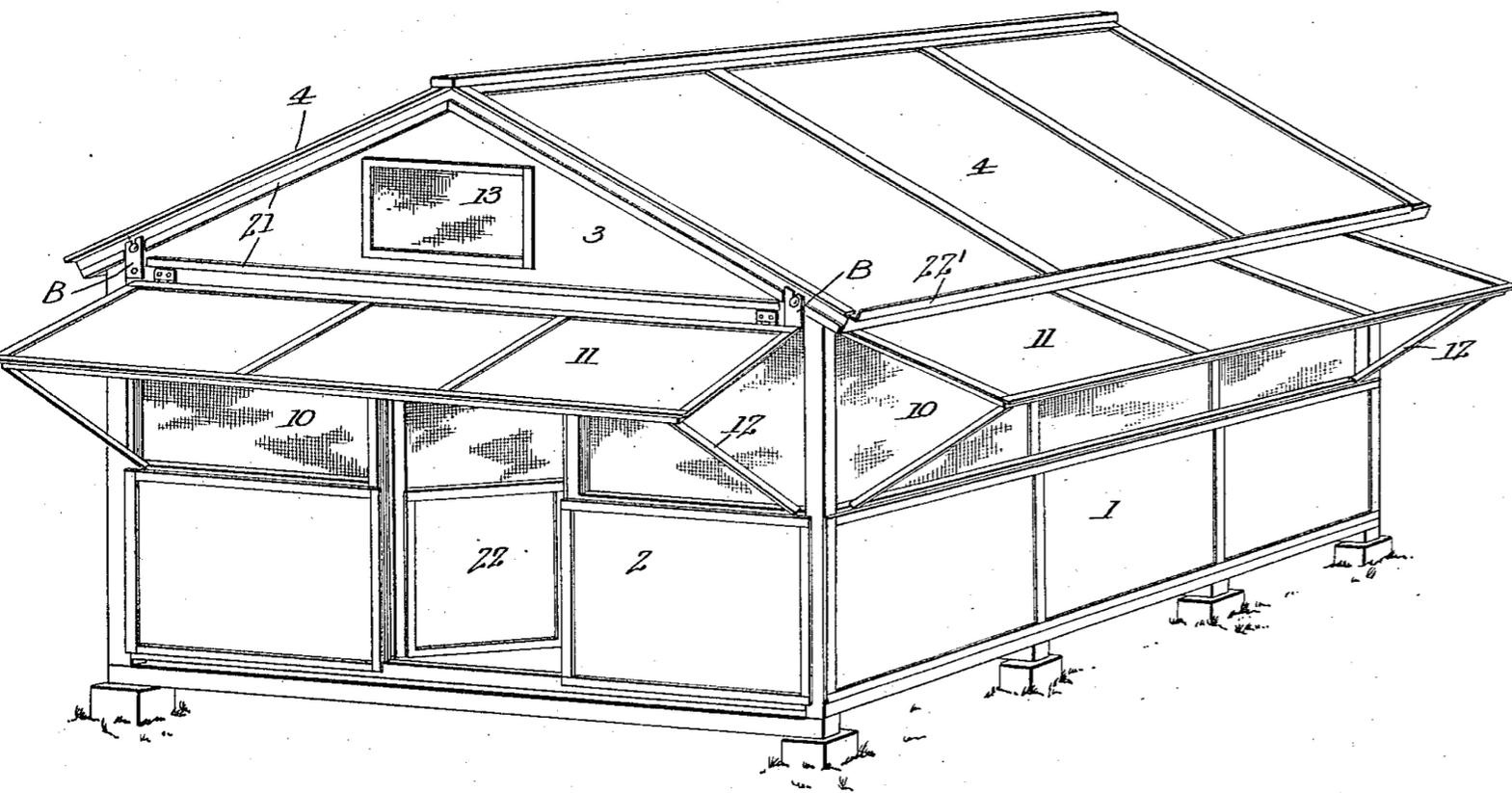
Descrizione

- 1 Piastra metallica di connessione tra la trave del tetto e la trave di cordolo.
- 2 Trave di cordolo in legno sagomato per l'incastro con la struttura portante verticale.
- 3 Finitura di listelli di legno a sagoma curva.
- 4 Struttura portante verticale con grafia di connessione per gli orizzontamenti interni.
- 5 Finitura interna in listelli di legno orizzontali rettangolari.
- 6 Pavimenti in assi di legno imbullonati alle travi orizzontali di solaio.
- 7 Carpenteria metallica per il giunto tra travi di base e cordolo esterno per mezzo di viti e bulloni.
- 8 Trave di bordo rettangolare con ritagli sagomati per l'incastro legno-legno con la struttura portante verticale.
- 9 Travi verticali portanti in legno, sagomate per l'incastro dei pannelli di rivestimento esterni.



0 1 2 4
|-----|
CM

Produzione a cura di Andrea Zegna



Portable building

 **Brevetto**
US1487583A

 **Anno**
1924

 **Progettista**
A. Loeffler

 **Luogo**
Stati Uniti

 **Processo di produzione**

Produzione industriale dei montanti, pannelli e ferramenta da connessione

 **Giunto**

Gli elementi di giunzione, che contraddistinguono il brevetto per l'edificio in montanti e pannelli in legno, sono i dadi a farfalla. Questi nuovi elementi di carpenteria metallica vengono utilizzati per serrare i bulloni del tetto e i pannelli ai montanti; inoltre vediamo come vi era l'impiego di piastre ed angolari, di differenti misure in relazione alla posizione, che, per mezzo di chiodi, permettevano l'ancoraggio dei montanti al pavimento e delle travi del tetto.

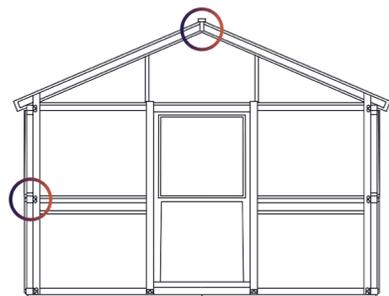
 **Contesto**

Il brevetto per cottages prefabbricati si inseriva nella proposta del mercato americano dell'epoca cercando di soddisfare i requisiti di facilità di montaggio e trasporto con costi contenuti. La portata innovativa di questo brevetto risiede in due elementi che lo contraddistinguono sia per struttura che per forma/funzione. Il primo carattere riguarda l'introduzione di un elemento di carpenteria metallica, ovvero un dado a farfalla per serrare i giunti delle viti con maggiore facilità; inoltre, mantenendo l'attenzione sulla carpenteria si osserva come furono introdotte delle staffe angolari per permettere maggiore stabilità alla connessione degli elementi portanti agli angoli. Questa attenzione denota anche, come la concezione della connessione metallica si stesse evolvendo in elemento esterno alla strutture in legno. Per quanto riguarda l'aspetto formale, le pareti non erano costituite da semplici pannelli prefabbricati e montanti: bensì la parte superiore era considerata come un elemento mobile e mutevole. Non vi era la predisposizione di finestre o altri tipi di apertura ma una striscia di pannelli mobili permetteva l'ingresso di luce ed aria; inoltre, tale rivestimento poteva esser sostituito da dei teli invece di utilizzare pannelli di legno leggero.¹³

13. Espacenet

Il giunto

Collocazione



Funzione

Collaborante con strutture portanti esterne

Elementi connessi

Travi - montanti e capriata del tetto

Sistema di unione

Imbullonato

Performance

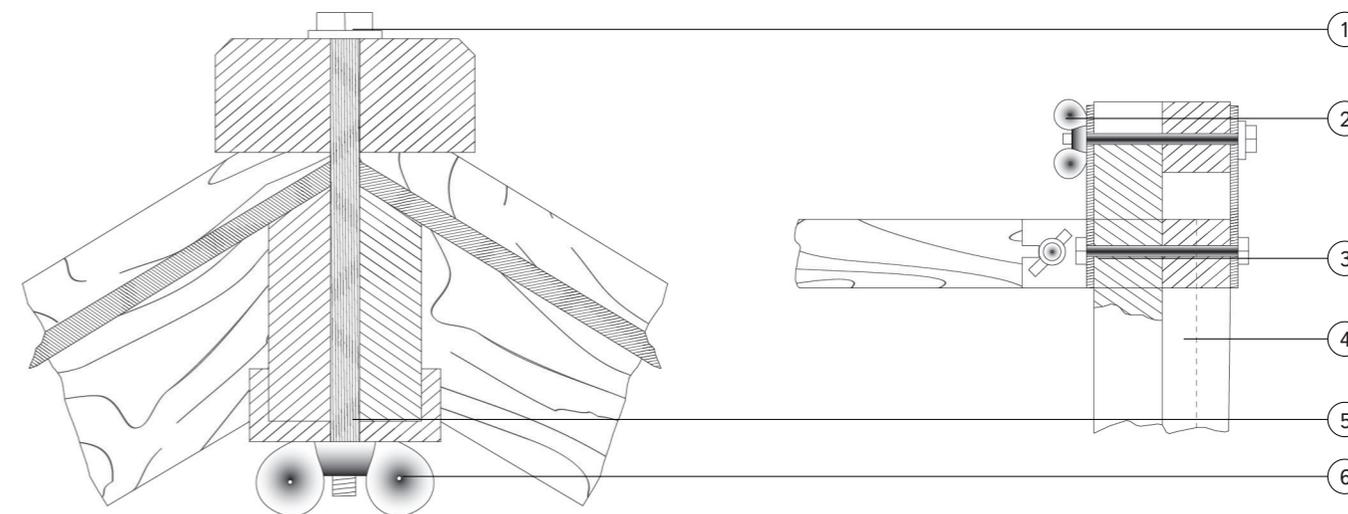
Efficace e durevole strutturalmente, inefficace termicamente

Innovazione

Dadi a farfalla e piastre in ferro

Descrizione

- ① Dado e rondella per serrare il giunto metallico del colmo del tetto.
- ② Dado a farfalla per serrare la connessione col bullone nei montanti verticali.
- ③ Bullone in ferro per connettere una doppia orditura di montanti verticali in legno.
- ④ Montanti verticali in legno a sezione quadrata.
- ⑤ Vitone in ferro verticale per la giunzione della trace di colmo di intradosso e quella di estradosso.
- ⑥ Dado a farfalla per serrare la connessione col vitone.
- ⑦ Piastre angolari in ferro per l'ancoraggio dei montanti al pavimento e delle travi del tetto.



0 1 2 4
| | | |
1CM

Produzione a cura di Andrea Zegna



Meccanizzazione e produzione di massa

“Un intervento industrializzato comporta due fondamentali presupposti che contribuiscono a definire i caratteri su cui si struttura l'intervento stesso: la quantità e la serialità del prodotto”¹⁴. L'evoluzione della produzione industriale portò i mercati economici ad una maggiore richiesta e un cambiamento nelle abitudini della società; maggiore produzione, maggiore richiesta e così l'economia e la società fomentarono la produzione di massa. Il processo, avviato dalla catena di produzione di Henry Ford venne successivamente applicato a diversi settori dell'industria, compresa quella edilizia, ne è un esempio l'impianto di produzione della Gunnison Magic Homes che per primo adottò la catena di produzione per l'edilizia prefabbricata ed in specifico per i propri pannelli in lamiera e compensato. La linea di montaggio è quindi l'elemento simbolo di questo periodo, come affermato da Sigfried Giedion: “Uno degli strumenti che agisce in profondità nella meccanizzazione – afferma – è l'assembly-line (...). Essa è intesa a raggiungere una produzione ininterrotta. Essa collega fra di loro le fasi della lavorazione. Il suo scopo è quello di fondere l'industria in un unico organismo nel quale vengono coordinati i diversi stadi di produzione e le singole macchine. Questo frazionamento della produzione in procedimenti parziali e la loro

14. Nardi G., Progettazione architettonica per sistemi e componenti, Franco Angeli, Milano, 1977

15. Giedion S., L'era della meccanizzazione, Feltrinelli, Milano, 1967

integrazione senza attrito è la chiave della produzione contemporanea di massa. Il fattore tempo ha una parte importante perché la celerità delle macchine deve essere sincronizzata.”¹⁵ È all'interno di questo contesto che il giunto assunse un nuovo ruolo nell'architettura prefabbricata, ovvero, diventò un elemento fisico che andava a soddisfare il punto di incontro tra due linee e non più, la semplice unione tra due elementi assicurata da chiodi o viti; il brevetto che più rappresenta questa concezione e teoria è il Packaged House System di Konrad Wachsmann che progettò un connettore con elementi bidimensionali, ripudiando i sistemi utilizzati fino ad allora: “Qualunque metodo si scelga non si può immaginare che sia possibile usare viti, bulloni e chiodi visibili esternamente”¹⁶. Da questo momento il giunto nell'architettura Off-Site cambiò radicalmente.

16. Gilbert Herbert, The dream of the factory-made house_ Walter Gropius and Konrad Wachsmann, The Massachusetts Institute of Technology, 1984

Anni 30/40 del XIX secolo

La Seconda Guerra Mondiale e la produzione industriale di armi, mezzi e architetture appositi al conflitto influenzarono fortemente la produzione di architettura prefabbricata: baracche di soccorso e riparo, hangar di metallo per le truppe e per il deposito dei mezzi furono le tipologie architettoniche più richieste. In parte anche la scelta materica ricadde sui metalli inizialmente sfruttando le produzioni di armi, in un secondo momento, a causa della mancanza della materia prima si ritornò ad un uso massiccio del legno.



Copper House

📅 Anno

1931

🏗️ Progettista

Walter Gropius

📍 Luogo

Germania

🏭 Processo di produzione

Produzione industriale dei pannelli e dei sistemi di connessione

🔗 Giunto

La struttura in pannelli autoportanti in legno prevede due tipologie di unione, una per gli angoli con l'impiego di una staffa ad L imbullonato ai pannelli e chiodato alla finitura in rame; il secondo caso, vede l'impiego di una C metallica per permettere di collegare tre pannelli (due di rivestimento e uno interno) per mezzo di bulloni e dadi. Il rivestimento esterno in rame poteva coprire il giunto e migliorarne le qualità termiche; questo, in altri casi, era permesso anche delle strisce di bitume collaboranti con amianto. Mentre all'interno della C per il giunto di tre pannelli veniva inserito del materiale isolante quale lana di legno o sughero.

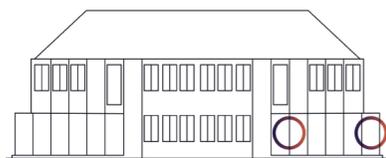
📍 Contesto

L'origine della struttura, utilizzata per produrre solamente due esemplari di abitazione, ha origini precedenti al 1931. Due anni prima, Gropius progettò per un imprenditore berlinese un kit prefabbricato con una struttura in acciaio a scheletro e pannelli di tamponatura in acciaio, che non risultarono ottimali. Successivamente, partendo dagli errori precedenti, rivisitò il sistema per una fabbrica di rame locale, chiamandolo Förster-Krafft-System. Questa struttura prefabbricata era composta da pannelli autoportanti in legno, con una superficie esterna in pannelli di rame, unificati da delle C e U di ferro. Solo due case furono prodotte ed esposte all'esibizione "Das wachsende Haus" promossa da Martin Wagner a Berlino nel 1932. Il lato dirompente di questa struttura era legato alla facilità di messa in opera, poichè eliminando il telaio si riducevano enormemente le azioni di messa in opera. Inoltre, essendo il pannello prodotto interamente in fabbrica, portò una maggiore cura nella produzione e nella ricerca di una maggiore performance dell'edificio, inserendo isolanti di diversa matrice all'interno dei pannelli, come ad esempio lana di legno e segatura. Il mezzo di giunzione delle piastre era un semplice bullone.¹⁷

17. MIT Press Open Architecture and Urban Studies

Il giunto

Collocazione



Funzione

Struttura ed angolo portante esterno

Elementi connessi

Pannello - pannello

Sistema di unione

Imbullonato

Performance

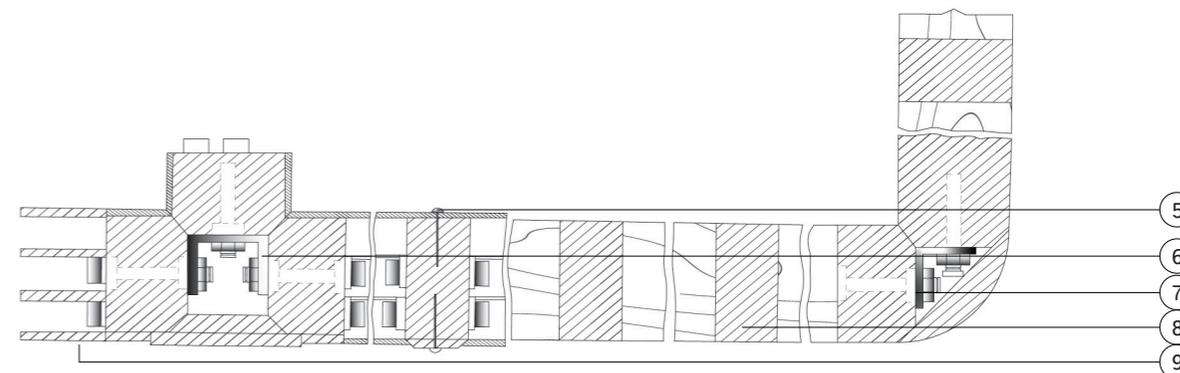
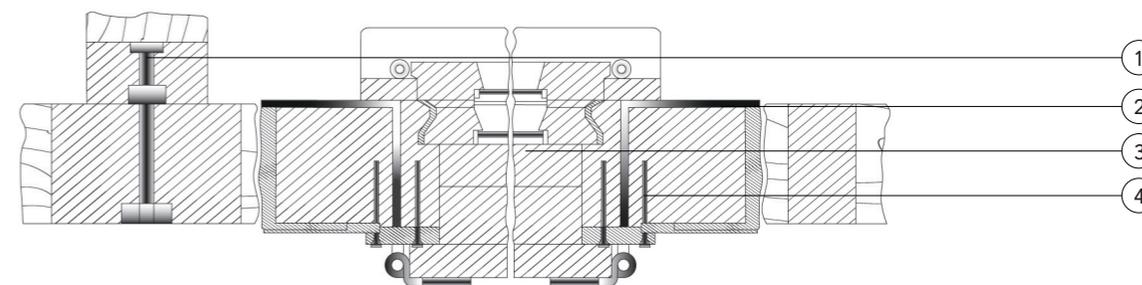
Efficace e durevole strutturalmente e termicamente

Innovazione

Uso di piastre in ferro e del rame

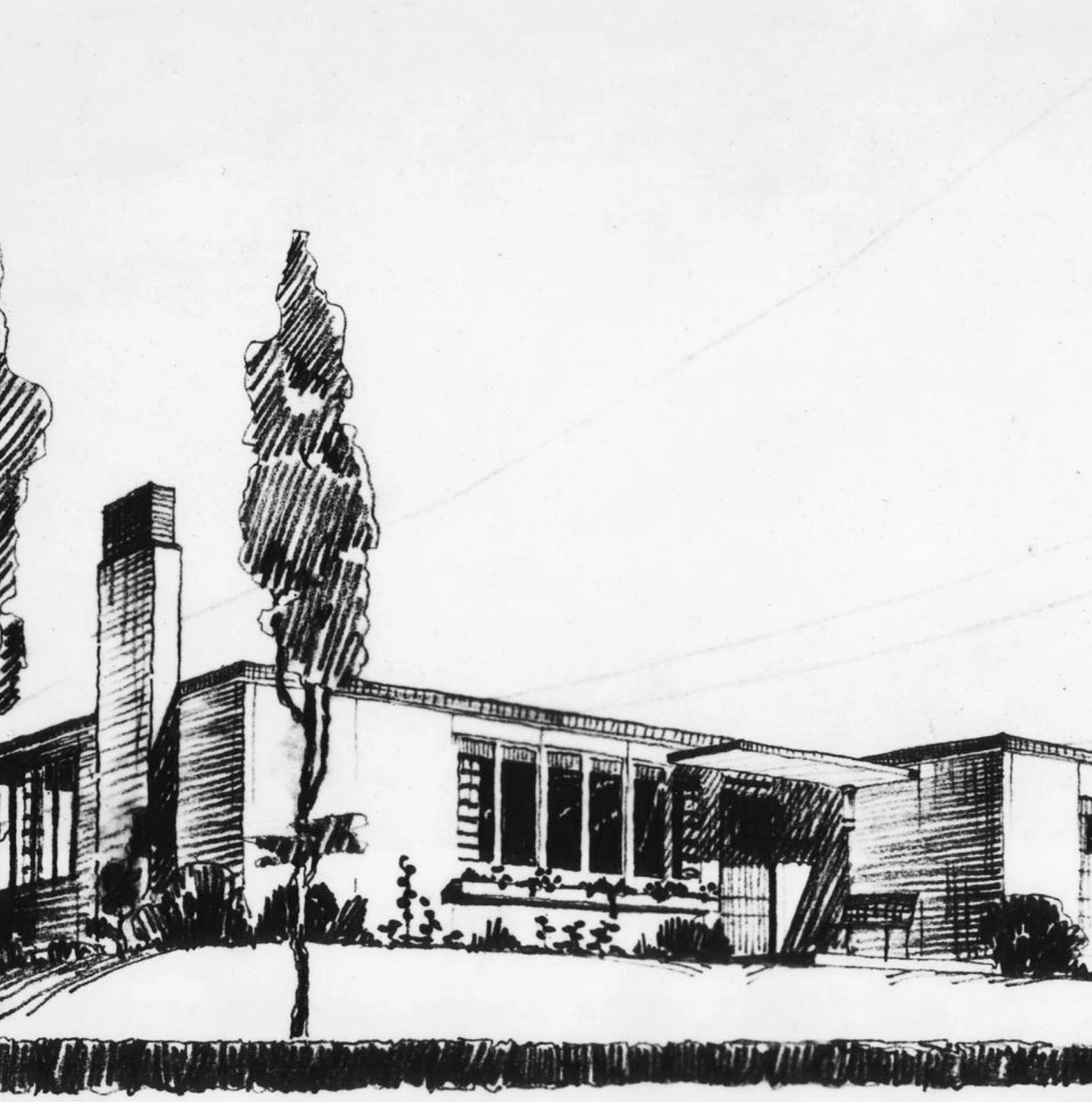
Descrizione

- ① Viti serrate da nullone interno ed esterno ai pannelli.
- ② Piastra ad "L" in ferro per la connessione di due pannelli.
- ③ Guarnizione legno-lana.
- ④ Chiodi di fissaggio dei listelli in legno di finitura.
- ⑤ Finitura metallica in pannelli di rame.
- ⑥ Piastra a C per la connessione di tre pannelli, due esterni di rivestimento ed un interno.
- ⑦ Piastra a L per la connessione di due pannelli angolari con finitura in legno smussato.
- ⑧ Pannello autoportante composto da due strati in legno con isolante interposto.
- ⑨ Striscia di bitume e amianto.
- ⑩ Piastre metalliche di connessione dei pannelli.



0 1 2 4
|-----|
CM

Produzione a cura di Andrea Zegna



Building System

 **Brevetto**
US1969125A

 **Anno**
1933

 **Progettista**
H.T. Fisher

 **Luogo**
Stati Uniti

 **Processo di produzione**

Produzione industriale dei pannelli autoportanti e dei sistemi di fissaggio

 **Giunto**

I pannelli sono collegati per mezzo di bulloni dotati di una rondella inserita tra le superfici delle flange del pannello piegate e formate in maniera integrale nella superficie del pannello; le rondelle assumono quindi la funzione di distanziatori. All'interno di questo spazio creato dalla rondella viene inserito del materiale resistente alle intemperie come un mastice per impermeabilizzare o un altro tipo di collante. Questi giunti offrivano flessibilità contro l'espansione o la contrazione, garantendo impermeabilità alle normali variazioni meteorologiche.

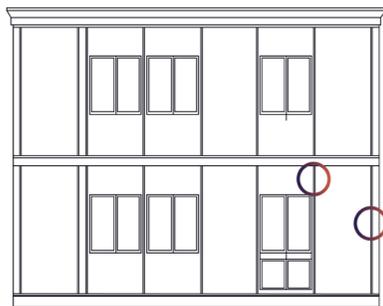
 **Contesto**

Fisher fondò la sua azienda nel 1932 per la produzione di pannelli per case prefabbricate. Il sistema costruttivo era costituito da pannelli autoportanti in acciaio di otto differenti funzioni ma con le stesse dimensioni per permettere maggiore intercambiabilità e libertà progettuale; esulavano dalla dimensione standard il pannello del camino e quello del garage. Queste strutture permettevano di erigere edifici di diversi piani. In particolare, data l'ottimizzazione dei processi di produzione e di messa in opera il vero vantaggio stava nel prezzo, tant'è che lo slogan dell'azienda era: "Una casa che vale il doppio a metà prezzo". Le case infatti costavano da 3.000\$ a 4.500\$. Sebbene furono costruite diverse ville e alcune furono esposte anche all'esibizione di Chiago del 1933-1934 "Chicago World's Fair", vennero definite come "un'interessante, sebbene tetro, casa con una disposizione spaziale scomoda"⁷. L'azienda produsse pannelli fino al 1947, degli edifici eretti pochi sono stati mantenuti, uno di questi è la House sita in Connecticut.¹⁸

18. Elderfield, John. Philip Johnson e il Museo d'Arte Moderna . Il Museo d'Arte Moderna, 1998

Il giunto

Collocazione



Funzione

Collaborante con strutture portanti e di rivestimento esterne

Elementi connessi

Pannelli - angoli

Sistema di unione

Imbullonato

Performance

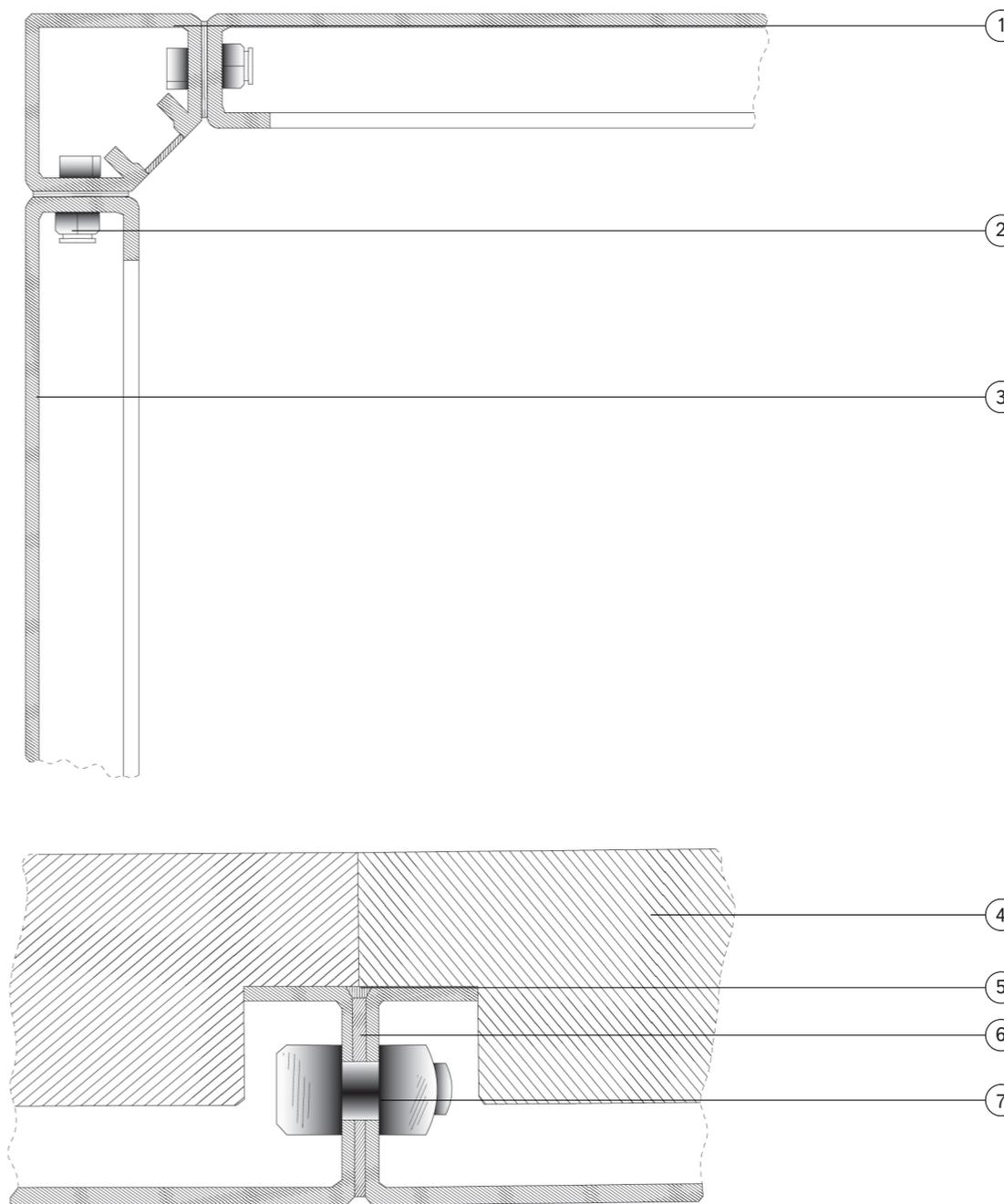
Efficace e durevole strutturalmente, inefficace termicamente

Innovazione

/

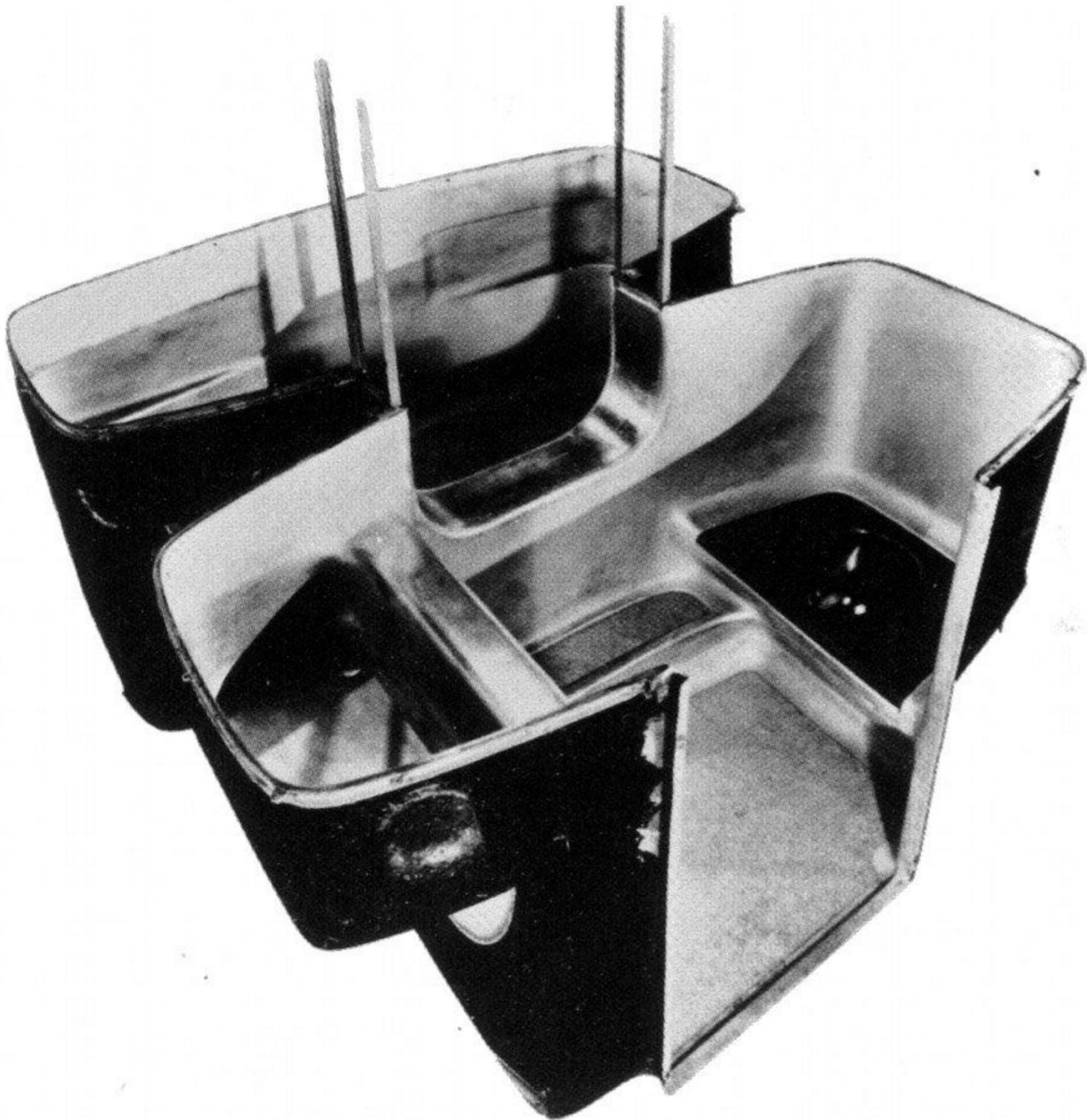
Descrizione

- ① Angolo flangiato in lamiera per la connessione di due pannelli.
- ② Bullone composto da vite e dado per la connessione tra i bordi flangiati di pannelli e angolo.
- ③ Pannello in lamiera metallica autoportante con bordi flangiati stampati.
- ④ Pannello di isolante non infiammabile applicato alla lamiera esterna tramite mastice.
- ⑤ Copri giunto tra due pannelli a base di mastice o altro materiale collante.
- ⑥ Rondella distanziale tra due angoli flangiati dei pannelli.
- ⑦ Bullone di connessione tra due pannelli lungo il lato composto da vite e dado.



0 1 2 4
CM

Produzione a cura di Andrea Zegna



Prefabricated Bathroom

Brevetto

US2220482A

Anno

1937

Progettista

Buckminster Fuller

Luogo

Stati Uniti

Processo di produzione

Produzione industriale a basso costo in azienda delle due camere del bagno

Giunto

Il bagno, composto da due stanze, poteva esser trasportato e assemblato in loco per mezzo di una giunzione tra i due blocchi, grazie a un morsetto costituito dalle piastra superiore e inferiore, tenuto insieme da uno o più bulloni. La struttura, in legno, sostiene le finiture in pannelli di metallo. Le giunzioni e la struttura sono nascosti dalla striscia di piastra metallica smussata tenuta in posizione dalle viti per legno. L'esterno si presenta così liscio e continuo grazie a dei materiali che coprendo il metallo rendevano meno riflettente la struttura e adatta ad esser decorata per gli interni delle case.

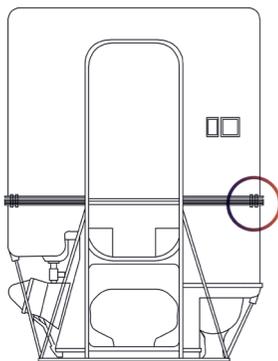
Contesto

Brevettato e costruito, il bagno prefabbricato di Fuller rimase solo un prototipo che non ebbe successo. Ideato per esser comodo e portare risparmi nel consumo di acqua ed energia, essendo performante dal punto di vista energetico da non permettere l'appannamento degli specchi. Fino a quel momento erano stati fatti dei tentativi di progettare bagni prefabbricati, ma a causa dell'eccessivo peso non riuscirono a contenere i costi e la facilità di messa in opera; inoltre, i progetti precedenti era previsti per edifici di sola nuova costruzione. Il brevetto di Fuller, in maniera innovativa, prevedeva che la struttura fosse composta di pochi pezzi facilmente trasportabili e adatti ad esser installati anche in case preesistenti, potendo quindi passare da una porta all'altra. In particolare, il bagno si componeva di due stanze con servizi integrati, rispettivamente divisi in: la prima camera, contenente wc e gabinetto, la seconda una vasca ed una doccia combinate. Date le finiture e i materiali della struttura era pensato per esser facilmente lavabile e anche inadatto ad ospitare muffe e umidità.¹⁹

19. Espacenet

Il giunto

Collocazione



Funzione

Struttura portante esterna

Elementi connessi

Pannello - pannello

Sistema di unione

Imbullonato

Performance

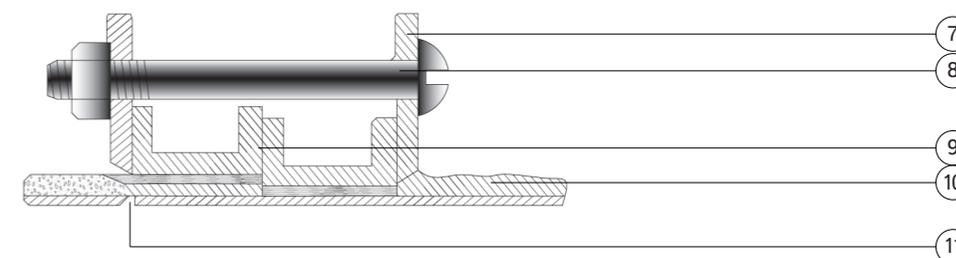
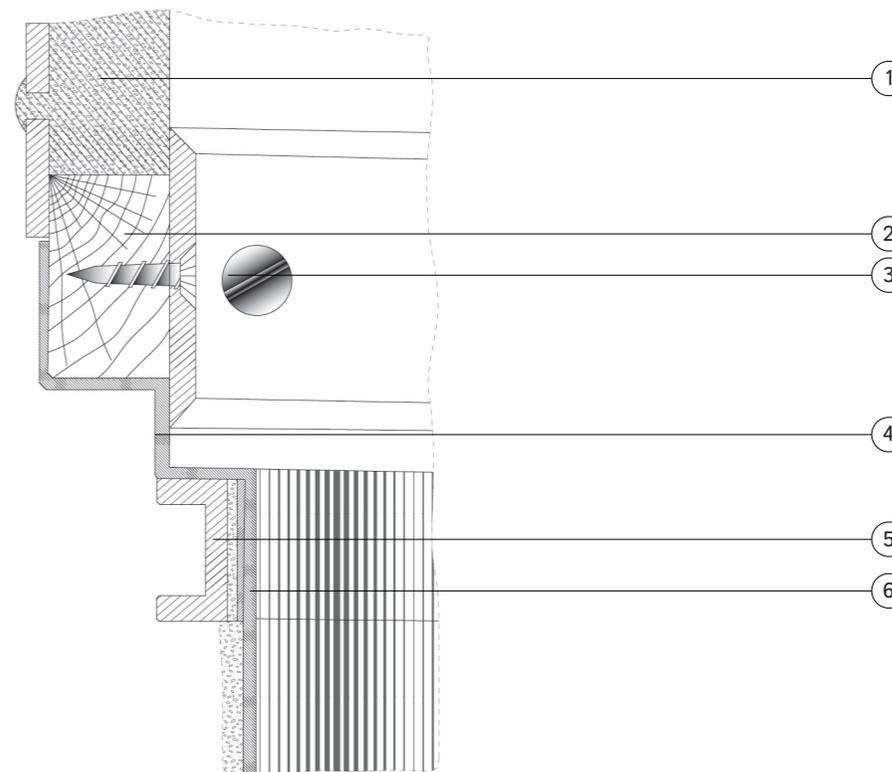
Efficace e durevole strutturalmente e termicamente

Innovazione

Struttura per bagno prefabbricata

Descrizione

- ① Pannello di struttura e finitura interno in gesso.
- ② Struttura in listelli di legno.
- ③ Vite in ferro di connessione dei listelli di legno.
- ④ Finitura esterna in intonaco.
- ⑤ Elemento metallico a "C" utilizzato come canale.
- ⑥ Flange metalliche utilizzate come distanziali.
- ⑦ Piastre di bloccaggio in ferro.
- ⑧ Bullone composto d avite e dado in ferro per serrare le due piastre.
- ⑨ Elemento metallico a "C" utilizzato come canale.
- ⑩ Materiale drogante con una miscela di asfalto e amianto.
- ⑪ Superfici superiore ed inferiore di rivestimento in metallo.



0 1 2 4
| | | |
1CM

Produzione a cura di Andrea Zegna



Dymaxion House

 **Brevetto**
CA417394A

 **Anno**
1941

 **Progettista**
Buckminster Fuller

 **Luogo**
Stati Uniti

 **Processo di produzione**

Produzione industriale degli elementi delle strutture

 **Giunto**

La struttura esterna dell'edificio è composta da diversi fogli ondulati in lamiera che sono collegati alla struttura interna e all'isolante con dadi e bulloni. Il dado esterno non ha solo la funzione di serrare il giunto ma anche di non far comprimere il pannello isolante. La tipologia di giunzione era considerata univoca, se non variabile di dimensione, per le diverse parti della sezione dell'edificio. Inoltre, per l'attacco a terra non era stata pensata una particolare connessione perchè si ipotizzava un veloce montaggio e smontaggio in tempi brevi; infatti tra la lamiera metallica e la soletta di base vi era un semplice strato di mastice a chiudere il giunto.

 **Contesto**

Fuller si distaccò dalle produzioni precedenti di case prefabbricate ricercando due nuovi principi: ampi spazi interni senza interruzioni spaziali o vincoli strutturali e un elevato comfort termico. Entrambi i fattori furono raggiunti grazie alla forma circolare della struttura. La pianta libera permetteva di utilizzare la struttura per differenti scopi, infatti non solo divenne un'abitazione ma assunse le forme di negozio ospitando scaffali e banconi; inoltre, vista l'emergenza bellica, venne adattato a baracca militare data la facilità di costruzione sia delle semplici fondazioni che delle pareti stesse. Le elevate prestazioni termiche dell'edificio, non furono permesse solamente dall'uso di isolanti e materiali performanti, ma anche dalla circolarità della struttura, che permetteva di far scorrere le correnti del vento esterno sulla superficie e non farle gorgogliare portando via calore per convezione; inoltre, grazie alla pianta libera, era possibile predisporre un impianto di riscaldamento al centro che diffondesse in maniera uniforme il calore in tutto l'edificio. Il brevetto subì successivamente delle modifiche sia per quanto riguarda la forma che l'utilizzo dei materiali, impiegando in maniera eccessiva l'alluminio prodotto per la Seconda Guerra Mondiale.²⁰

20. Espacenet



Quonset Hut



Brevetto

CA424540A



Anno

1941



Progettista

Otto Brandenberger



Luogo

Stati Uniti



Processo di produzione

Produzione industriale in serie delle strutture



Giunto

la struttura garantiva ottime prestazioni energetiche e facilità di montaggio attraverso un sistema di imbullonatura semplice per le travi ed archi principali della struttura, alle quali per mezzo di filetti, e viti a doppia testa in ferro venivano collegati i tamponamenti interni ed esterni. Le suddette viti erano lunghe quanto tutto il pacchetto della struttura poichè erano l'unico mezzo di carpenteria impiegato, mantenendo ancorato l'isolante interposto alle due finiture: la lamiera e il compensato interno.



Contesto

Il brevetto fu l'evoluzione e l'erede del capanno progettato da Peter Norman Nissen durante la Prima Guerra Mondiale. In particolare, questa evoluzione della struttura portò l'edificio a sopperire a due diverse funzioni: hangar militare e poco dopo edificio per una facile ricostruzione post-bellica, diventando una struttura assai diffusa che viene tutt'ora utilizzata negli Stati Uniti. Fu brevettato da Brandenberger e la prima azienda scelta per la produzione da parte dello stato Americano fu la compagnia di costruzioni di George A. Fuller; per supportare l'esercito americano durante il conflitto bellico, ne furono prodotti tra i 150000 ed i 170000 capanni, utilizzati come dormitori, capanni per attrezzi e armi o addirittura come ripostiglio di mezzi. A guerra conclusa, i capanni furono messi all'asta per la semplice cifra di 1000 dollari; privati, imprese ne acquisirono trasformandoli in abitazioni o capanni di ripostiglio, rimanendo in opera fino ad oggi, dove molte volte sono stati trasformati in musei.²¹

21. Invention & Technology, 1998

Il giunto

Collocazione



Funzione

Collaborante con strutture portanti e di rivestimento esterne

Elementi connessi

Trave - pannello - lamiera

Sistema di unione

Imbullonato

Performance

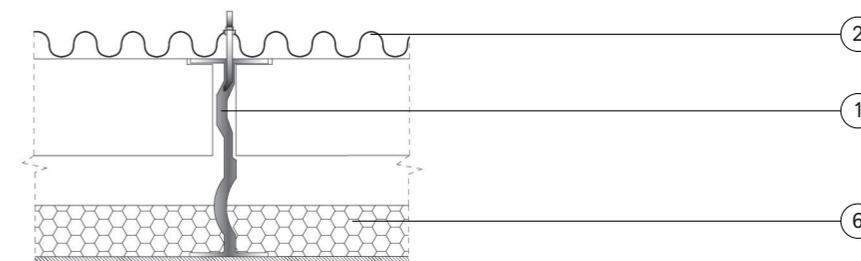
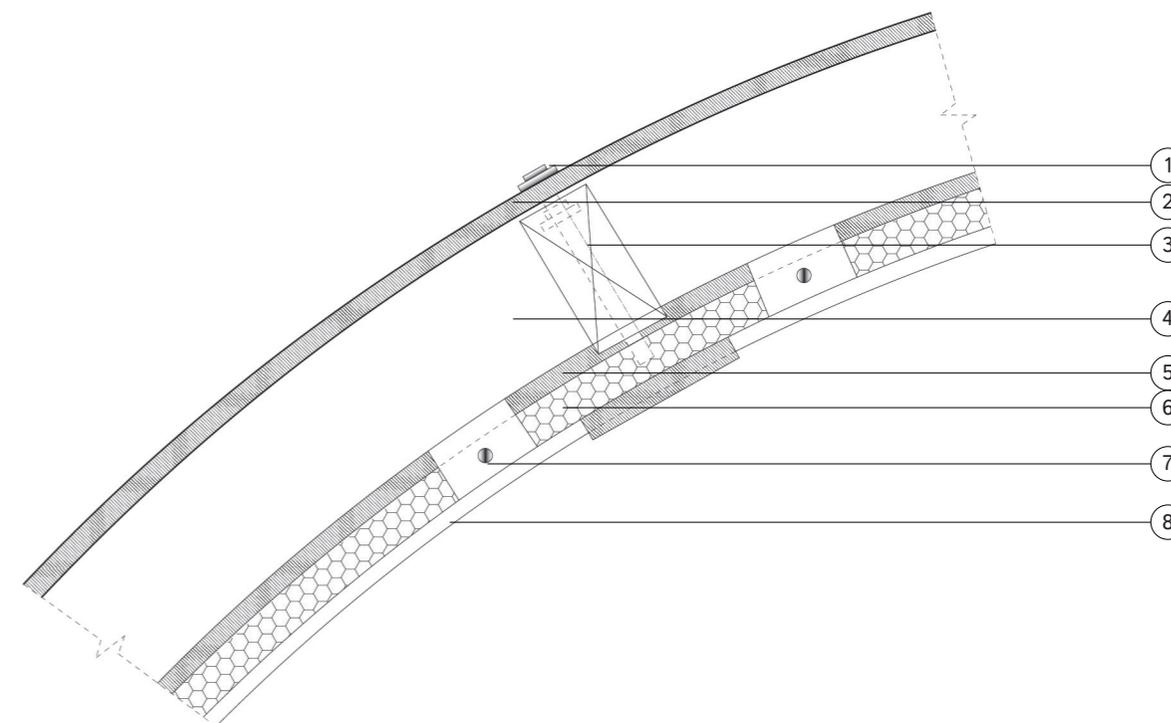
Efficace e durevole strutturalmente, poco efficace termicamente

Innovazione

/

Descrizione

- ① Chiodo in ferro a due teste per fissare strato interno ed esterno della struttura.
- ② Lamiera ondulata in alluminio.
- ③ Intercapedine d'aria.
- ④ Bullone per agganciare gli arcarecci interni alla struttura.
- ⑤ Strato di collante in acciaio.
- ⑥ Pannelli di isolante.
- ⑦ Bullone con dado e vite per connettere le staffe metalliche.
- ⑧ Finitura interna in pannelli di compensato.



0 1 2 4
| | | |
CM

Produzione a cura di Andrea Zegna



General Panel System

Brevetto

US2421305A

Anno

1947

Progettista

Konrad Wachsmann e Walter Gropius

Luogo

Stati Uniti

Processo di produzione

Produzione industriale in serie dei pannelli e dei sistemi di giunzione

Giunto

La struttura composta da pannelli prefabbricati in legno era legata da un apposito giunto progettato e brevettato per questo sistema. Un connettore universale per connettere da due a quattro pannelli attraverso due elementi: un connettore a forma semicircolare che si inserisce dentro il pannello e a sua volta si incastra con gli altri simili negli altri pannelli. Questi elementi metallici venivano fissati attraverso dei cunei che si inserivano nel pannello in un taglio perpendicolare, impedendo così la fuori uscita degli elementi. Essendo un connettore interno agli elementi non permetteva dispersioni termiche e acustiche.

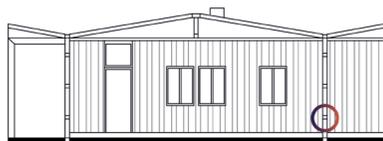
Contesto

Il brevetto, inizialmente, venne ideato dal duo in ambito tedesco, nei primi periodi della Seconda Guerra Mondiale nel 1942; successivamente, costretti a fuggire dal regime nazista, svilupparono la seconda edizione negli Stati Uniti. Questa prevedeva un cambio radicale nella concezione del sistema a pannelli prefabbricato e nella loro connessione. La struttura poteva variare in dimensioni e forma grazie alla interscambiabilità degli elementi, poichè era composta da 10 tipi di pannelli con dimensioni 40" x 120", con differenti funzioni o aperture, ma sempre basati su un modulo di 40". A connettere questi pannelli, era stato predisposto e inventato un connettore universale, ovvero un elemento metallico che poteva fungere da giunto tra due, fino a quattro, pannelli sia esterni che interni. La concezione standardizzata della struttura portò Wachsmann ad ideare un sistema di prefabbricazione in stabilimento migliorato e che sfruttasse la catena di produzione fino al trasporto in sito. Vi era un approccio totale al progetto, ma una maggiore predisposizione a rivisitare il sistema tecnologico; infatti nel 1949 venne pubblicata un'ultima rivisitazione, e fu proprio questo continuo rimaneggiare che lo portò ad una mancata produzione.²²

22. MIT Press Open Architecture and Urban Studies

Il giunto

Collocazione



Funzione

Collaborante con strutture portanti in pannelli

Elementi connessi

Pannello - pannello

Sistema di unione

Incastro

Performance

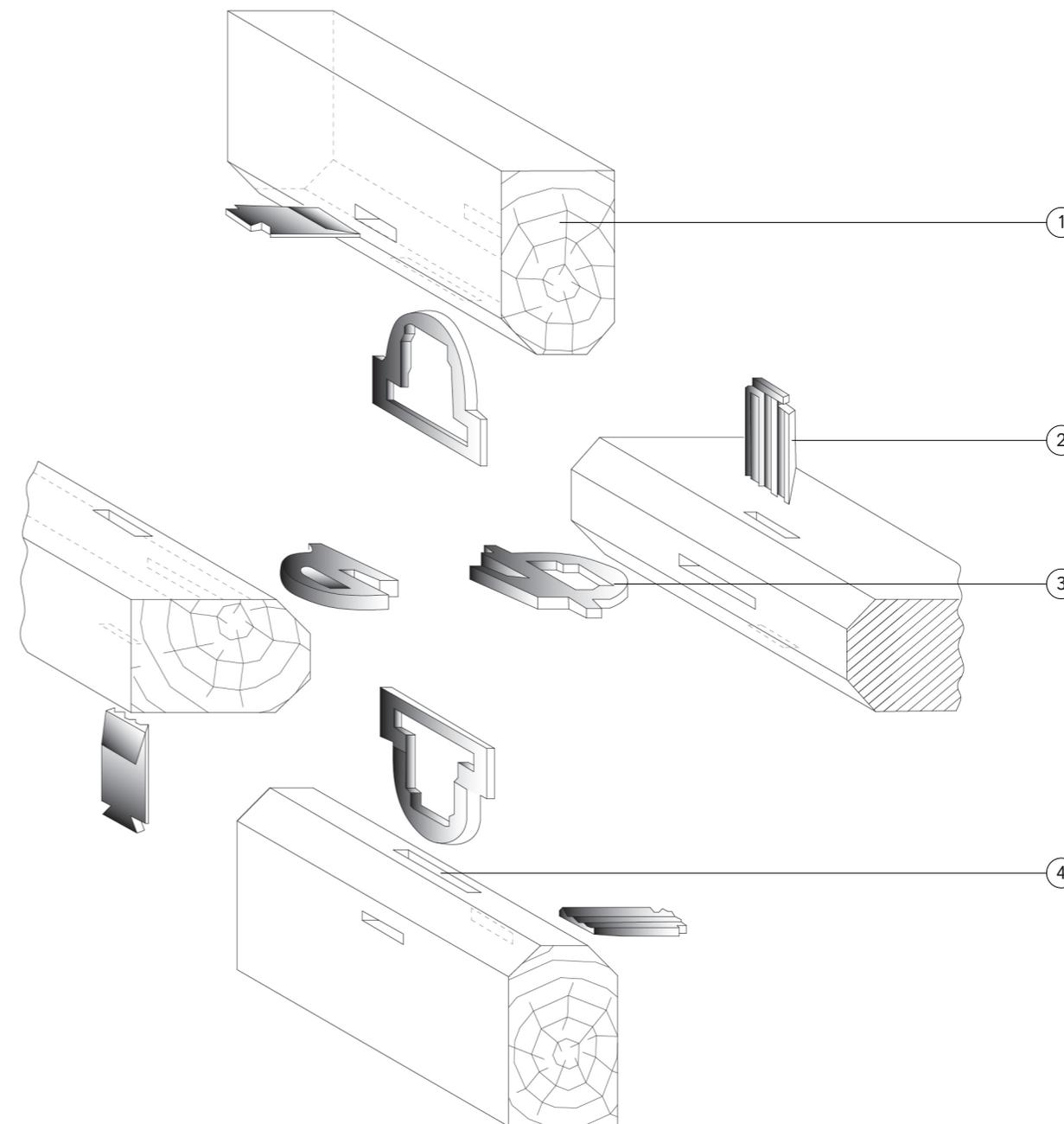
Efficace e durevole strutturalmente, poco efficace termicamente

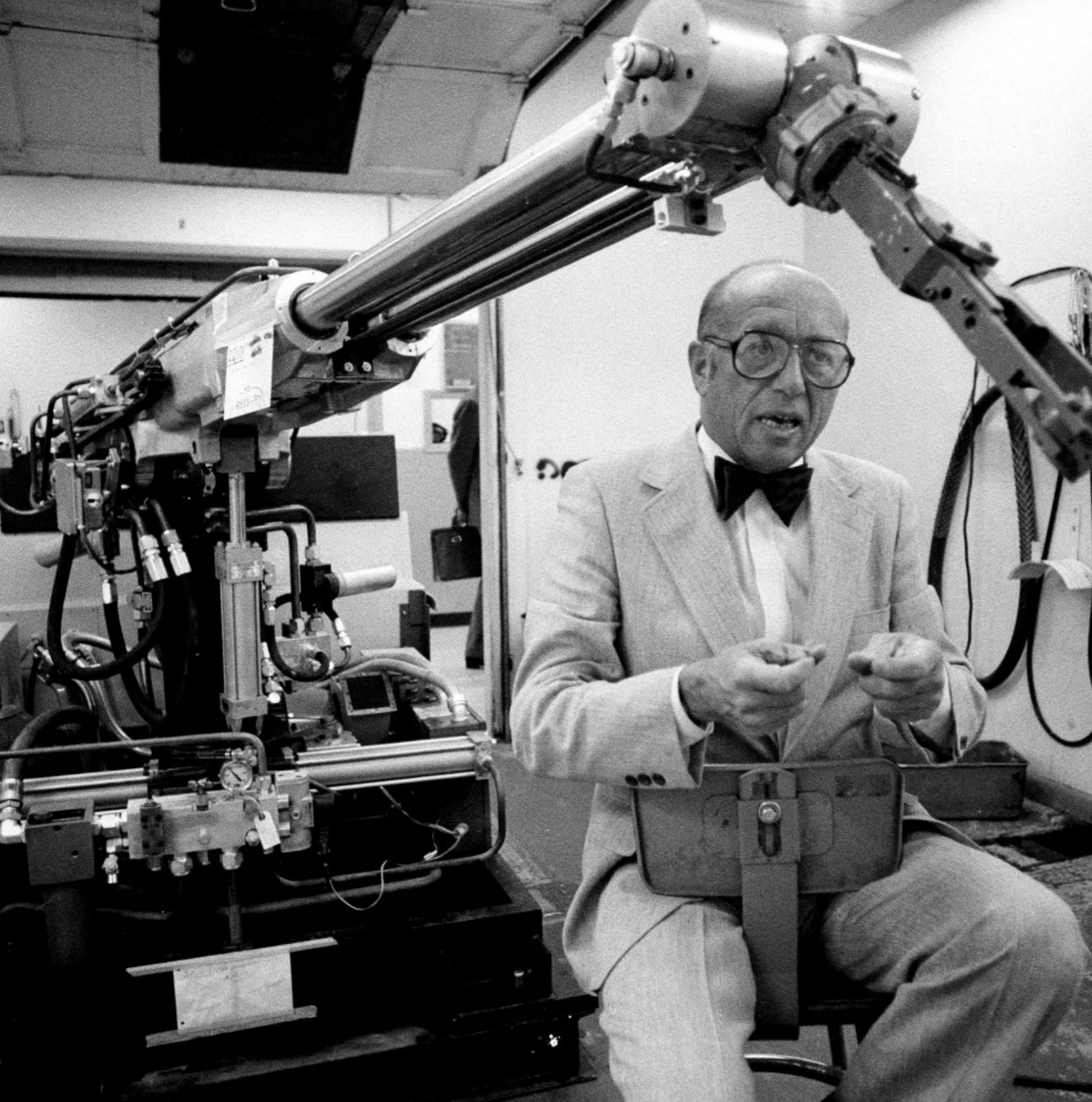
Innovazione

Connettore universale

Descrizione

- ① Pannelli prefabbricati in legno, presagomati e preforati.
- ② Gancio metallico composto da quattro elementi inseriti dentro i pannelli e incastrati fra di loro.
- ③ Cuneo in legno per serrare il gancio metallico dentro il pannello.
- ④ Foro per inserire il gancio e cuneo.





Automazione e nuovi materiali

A partire dalla fine degli anni Sessanta la produzione industriale vide l'invenzione e inserimento di nuovi macchinari a sostegno della catena di produzione-montaggio: i Robot. Frutto della necessità di sostituire in determinate condizioni e casistiche il ruolo dell'operaio, alcuni progettisti si ingegnarono nell'invenzione di suddetti macchinari. La ricerca principale era quella di simulare i movimenti del braccio umano e questo venne trasfigurato nei sette gradi di libertà dei robot; uno dei primi prototipi fu quello ideato da Konrad Wachsmann, in grado di muovere, allineare e assemblare elementi costruttivi nello spazio. Nello stesso periodo, Geroge Devol e Joseph Engelberger idearono un braccio che poteva muoversi solo con tre gradi di libertà e questa semplificazione permise il perfezionamento del prodotto rendendolo il primo ad esser commercializzato.²³

L'industria sembrò, quindi, esser sempre più orientata a trasferire competenze umane ai macchinari, in modo da poter diversificare la produzione e renderla riproducibile in maniera ottimizzata, presto ciò venne reso possibile dall'uso della digitalizzazione.

Ulteriore sviluppo avvenne nel settore della meccanizzazione, grazie ad alcune aziende che iniziarono a ideare strumenti controllati numericamente e meccanicamente che diedero

poi vita ai macchinari CNC (Computerized Numerical Control). In particolare i primi prototipi erano programmati per produrre in maniera ciclica, in maniera fissa o manuale; i sistemi di controllo aggiunto servivano soltanto al posizionamento relativo tra utensile e componente in lavorazione. Restava quindi una collaborazione tra il lavoro dell'operaio e del macchinario, benchè venissero ridotti i tempi spettava ancora all'uomo la scelta delle fasi, il tipo di utensile e di lavorazione.

Parallelamente agli sviluppi in ambito industriale-tecnologico, gli studi in ambito chimico e le necessità di ridurre i consumi di energie degli edifici portarono alla ricerca e produzione dei materiali isolanti; questi non solo permettevano una maggiore prestazione dell'edificio in termini energetici, ma supportavano anche gli elementi strutturali allontanando l'umidità e scongiurando cricche e rotture all'interno degli elementi portanti; se nel secolo precedente, a determinare la domanda delle abitazioni era stata quella quantitativa, ora, il posto viene ceduto a quella qualitativa.

23. Giedion S., L'era della meccanizzazione, Feltrinelli, Milano, 1967

Anni 40/50/60 del XIX secolo

La fine della Seconda Guerra Mondiale e le scoperte in ambito chimico portarono la prefabbricazione e la progettazione verso nuovi sviluppi: da un lato, la necessità di iniziare a ricostruire e in parte riconvertire il patrimonio edilizio, dall'altra, la scoperta di nuovi materiali portò ad una ricercata performance nell'edificio grazie a nuovi sistemi di isolamento e perfezionamento delle strutture. Nonostante grazie a queste due strade sarà un periodo di stallo per i progetti e brevetti in ambito Off-Site fino ai nuovi sviluppi urbanistici che faranno da motore alla fine dagli anni 60.



Lustron homes

Anno

1947

Progettista

Carl G. Strandlund

Luogo

Stati Uniti

Processo di produzione

Produzione industriale dei pannelli e del sistema di connessione

Giunto

Il sistema di giunzione tra i pannelli di finitura era generato da un incastro tra le asole presagomate delle lamiere e la sigillatura di tale connessione. Questo perchè i pannelli furono studiati per mantenere le prestazioni in caso di espansione o contrazione del materiale metallico e mantenere una maggiore prestazione di isolamento della struttura. Il nucleo di tenuta era realizzato in gomma o materiale elastico che veniva applicato a caldo. Tale elemento aveva le proprietà di vulcanizzazione in modo che le estremità tagliate di tutti gli angoli dei pannelli potessero essere vulcanizzate mediante l'applicazione di calore dopo l'installazione dei pannelli per sigillare completamente la struttura.

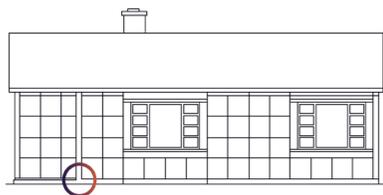
Contesto

La Lustron Corporation venne fondata nel 1947 per la costruzione di case a finitura in acciaio smaltato, facilmente applicabile, manutenibile e a basso costo di produzione: risultava un'ottima offerta per la ricostruzione post bellica. Grazie ai fondi stanziati dalla Reconstruction Finance Corporation vennero costruite oltre 2000 case, di cui molte sono ancora in uso oggi. Il piccolo successo di questa azienda fu quello di utilizzare le risorse di acciaio in eccesso dopo la Seconda Guerra Mondiale e migliorare l'isolamento delle abitazioni grazie a diversi accorgimenti nei pannelli e nelle fondazioni; in particolare, sfruttando elementi plastici veniva creata una chiusura totale dei giunti tra i diversi pannelli di finitura. Altra potenzialità dei pannelli era la superficie in acciaio smaltato, che non richiedeva pitturazioni successive alla produzione, questo divenne anche soggetto di slogan di vendita quali: "un'esperienza nuova e più ricca per l'intera famiglia", dove "la mamma... ha molte più ore", i "giovani... avere meno preoccupazioni" e ci sarebbe "molto più tempo libero per papà". Purtroppo, a causa di una mancata strategia di distribuzione, l'azienda dichiarò bancarotta nel 1950.²⁴

24. Lustron Corporation. "Case compatte e belle di Lustron: Newport con due e tre camere da letto." Brochure aziendale.

Il giunto

Collocazione



Funzione

Collaborante con strutture portanti e di rivestimento esterne

Elementi connessi

Pannello - pannello

Sistema di unione

Incastro e collante

Performance

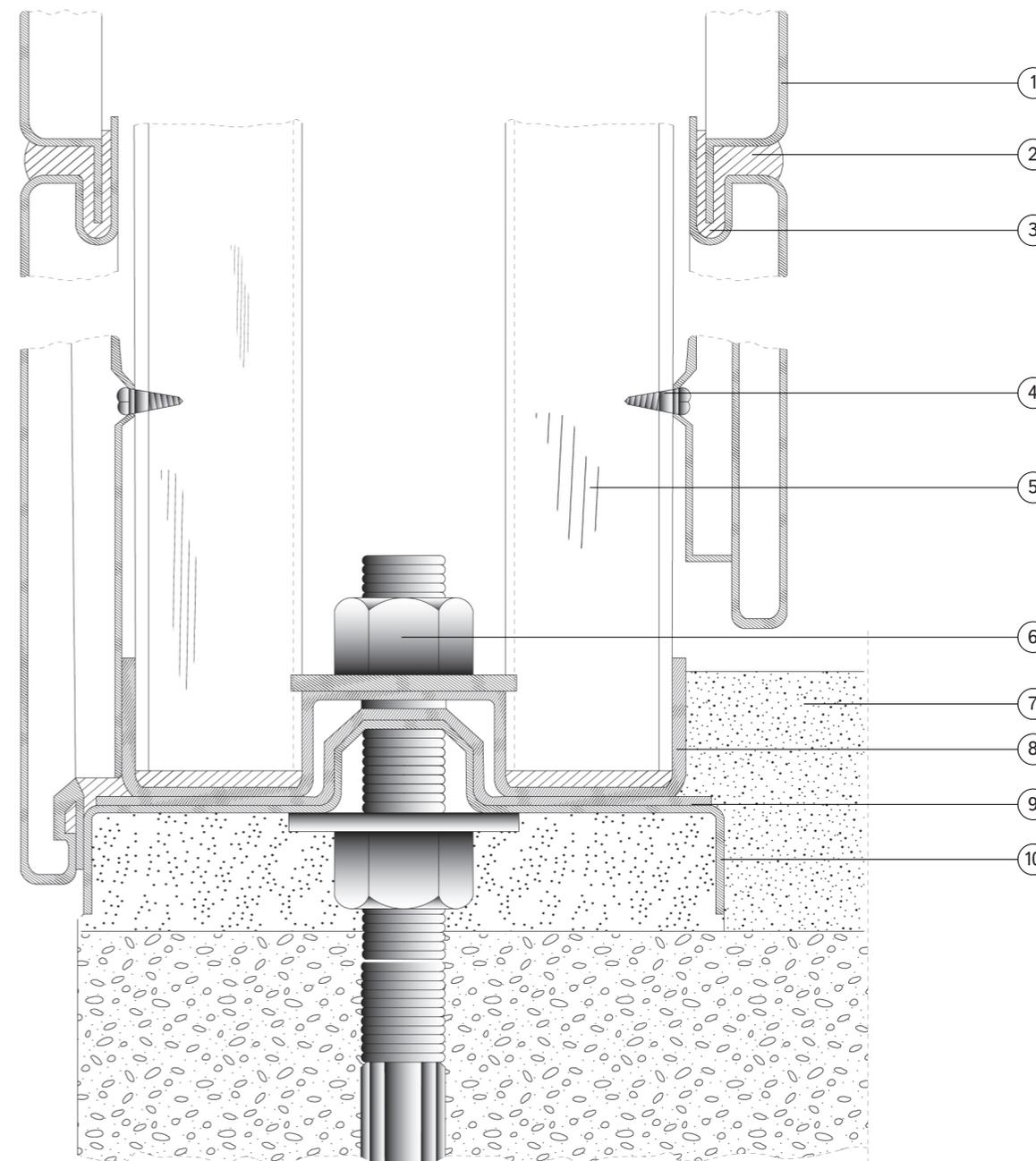
Efficace e durevole strutturalmente, termicamente e facile da pulire

Innovazione

Finitura in acciaio smaltato

Descrizione

- ① Finitura del pannello in lamiera piana in acciaio smaltato.
- ② Nucleo del giunto tra le lamiera in gomma o materiale plastico fuso.
- ③ Incastro tra le finiture dei pannelli con ripieghe della lamiera ad S e ad angolo retto.
- ④ Vite di connessione del pannello di finitura alla struttura portante.
- ⑤ Struttura portante in acciaio.
- ⑥ Bullone di ancoraggio alla base della struttura, composto da una vite a J e due dadi distanziati da rondelle.
- ⑦ Cemento isolante coperto dalla pavimentazione interna.
- ⑧ Cordolo a terra in metallo del pacchetto della struttura portante.
- ⑨ Barriera al vapore.
- ⑩ Piastra di ancoraggio a terra tra cordolo di metallo e basamento di cemento.



0 2 4 8
1CM

Produzione a cura di Andrea Zegna



Capanna smontabile



Brevetto

GB_621389



Anno

1955



Progettista

Jean Prouvè



Luogo

Francia



Processo di produzione

Produzione industriale dei pannelli e dei giunti



Giunto

La struttura in montanti e pannelli di legno è unita da due giunti sagomati in acciaio: negli angoli le estremità dei pannelli si incastrano in una parte profilata ottenuta piegando un semilavorato in due parti, che, mediante bulloni, può essere fortemente serrato sui montanti. Differentemente, l'unione due pannelli lungo la facciata viene effettuata mediante profilati sagomati in acciaio, applicati ai montanti con l'interposizione di un giunto elastico costituito ad esempio da strisce di feltro; il giunto viene serrato per mezzo di un bullone regolabile per gestire l'espansione e contrazione dei materiali.



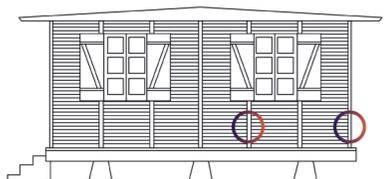
Contesto

L'operato, preso in considerazione, di Jean Prouvè, riguarda le strutture in pannelli in legno commissionategli dall'esercito francese durante la Seconda Guerra Mondiale. La struttura, utilizzata in precedenza per alcuni progetti di case prefabbricate, vedeva l'introduzione dei pannelli di legno a causa della scarsità di ferro. Queste "baracche", vennero ufficialmente brevettate nel 1939 e pubblicate a partire dal 1955 quando vennero apportate delle modifiche con il brevetto "Miglioramenti relativi a una capanna smantellabile". L'invenzione prevedeva una capanna facilmente smontabile sostenuta da quattro pali, con piastre collegate da un telaio formato da traverse, inizialmente in compensato e successivamente in legno lamellare. La struttura vedeva così l'impiego di pannelli non con funzione portante ma come tamponamento delle facciate insieme alle componenti trasparenti; di questi sono stati sviluppati e brevettati due tipologie di giunzione dei montanti della struttura. L'innovazione di questi giunti era frutto di un'ampia conoscenza della falegnameria e del materiale metallico, che hanno portato Prouvè ad esaltare questi dettagli e la loro funzione fino allo sviluppo delle facciate continue.²⁵

25. Espacenet

Il giunto

Collocazione



Funzione

Struttura portante esterna

Elementi connessi

Pannello - montante
- angolare

Sistema di unione

Imbullonato

Performance

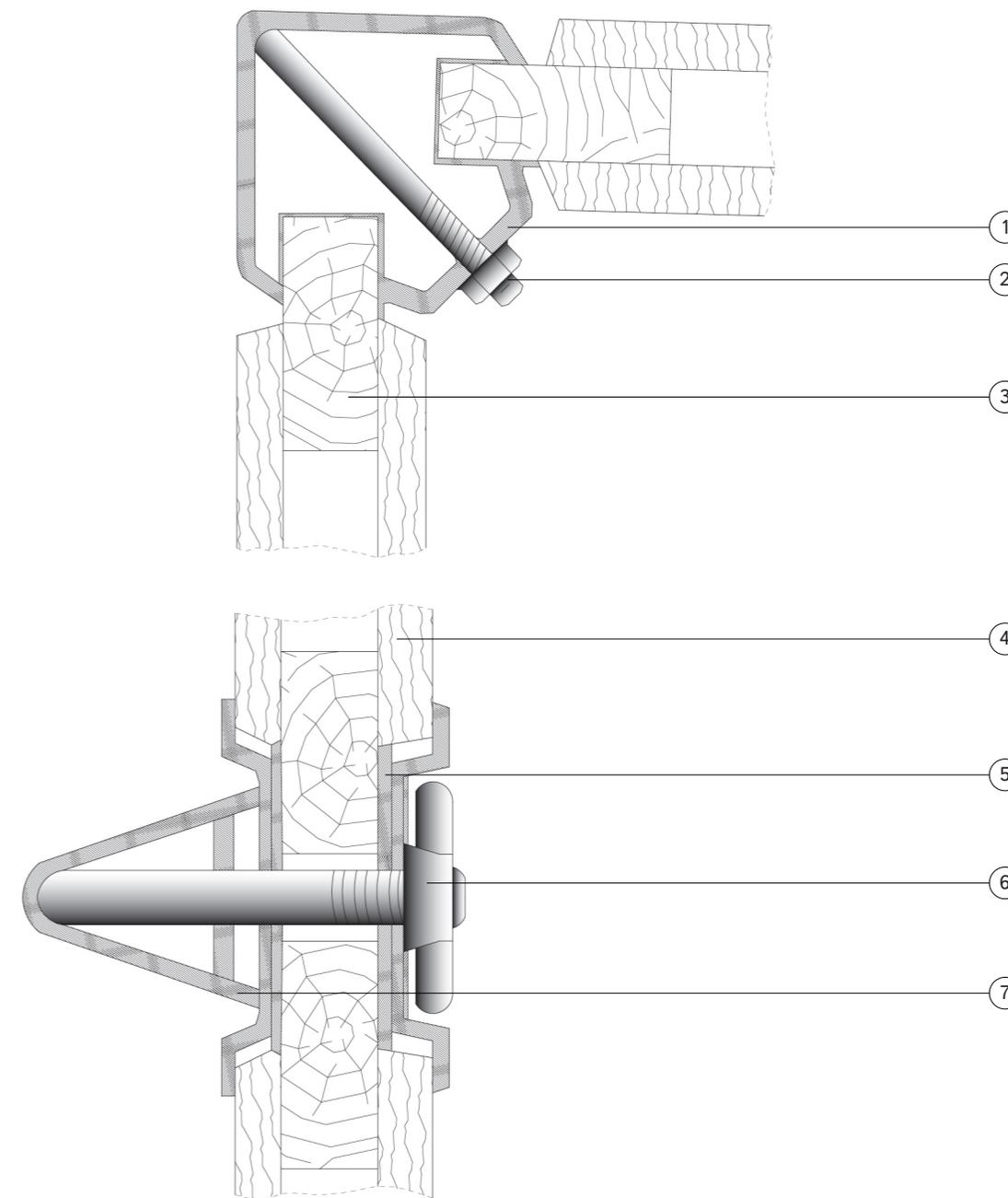
Efficace e durevole strutturalmente,
inefficace termicamente

Innovazione

Concezione del giunto

Descrizione

- ① Fustellato metallico angolare composto da due parti, una interna ed esterna, che permettono di connettere due montanti.
- ② Bullone metallico di connessione formato da vite e dado in internamente.
- ③ Struttura portante in montanti di legno.
- ④ Pannello di finitura esterna ed interna in compensato.
- ⑤ Nastro di feltro tra profilato e montante.
- ⑥ Bullone di fissaggio composto da vite e dado con alette per la regolazione.
- ⑦ Tiranti metallici sagomati per la connessione di due pannelli orizzontalmente.



0 2 4 8
1CM

Produzione a cura di Andrea Zegna



Habitat 67

📅 Anno

1967

🏗️ Progettista

Moshe Safdie

📍 Luogo

Canada

🏭 Processo di produzione

Prefabbricazione industriale delle cellule tridimensionali

🔗 Giunto

La struttura dell'edificio è composta da pannelli in calcestruzzo prefabbricati e pre-armati in loco per produrre degli elementi tridimensionali. L'assemblaggio tra le diverse cellule risulta l'elemento che garantisce l'effetto sospensione dell'intera struttura. L'unione tra le diverse cellule avviene con l'inserimento di barre filettate tra una parete e l'altra e serrate attraverso dei dadi contenuti in elementi cilindrici di protezione di metallo. Questi sono inseriti preventivamente nella prefabbricazione dei muri e garantiscono protezione ai ferri durante la vita dell'edificio. A completare la connessione tra le due superfici in calcestruzzo vi è uno strato di neoprene sigillato da della gomma a caldo per una maggiore resistenza termica.

📍 Contesto

Il complesso venne progettato inizialmente nella tesi di Laurea di Safdie, successivamente, venne realizzato, in maniera contenuta rispetto le 1200 unità abitative previste, per l'Esposizione Mondiale di Montreal del 1967. Questa struttura prevedeva la rivisitazione dell'urbanistica dell'epoca, cercando di concentrare in un'unica struttura abitazioni, servizi culturali e commerciali e linee di trasporto. In particolare, nei primi piani, tra cui quello interrato con posteggi, troviamo scuole, servizi di trasporto, un museo e attività commerciali; nei piani superiori un hotel e 158 abitazioni di due diverse dimensioni, rispettivamente gli appartamenti singoli da 57 m² e quelli superiori da 160 m² con quattro camere da letto. Per ognuna di queste proprietà era predisposto un giardino privato, ricavato grazie allo sfalsamento delle cellule tridimensionali, garantendo spazi privati per tutti. Per erigere questa grande struttura sono stati impiegati 365 moduli prefabbricati in loco, posati in opera grazie a delle gru e tiranti., e fissati per mezzo di barre metalliche interne, garantendo l'effetto sospensione finale. Gli interni delle unità erano prefabbricati in stabilimenti, come ad esempio i bagni composti da singole unità o le cucine.²⁶

26. SafdieArchitects

Il giunto

Collocazione



Funzione

Struttura portante esterna

Elementi connessi

Pannello - pannello

Sistema di unione

Imbullonato ed incastro

Performance

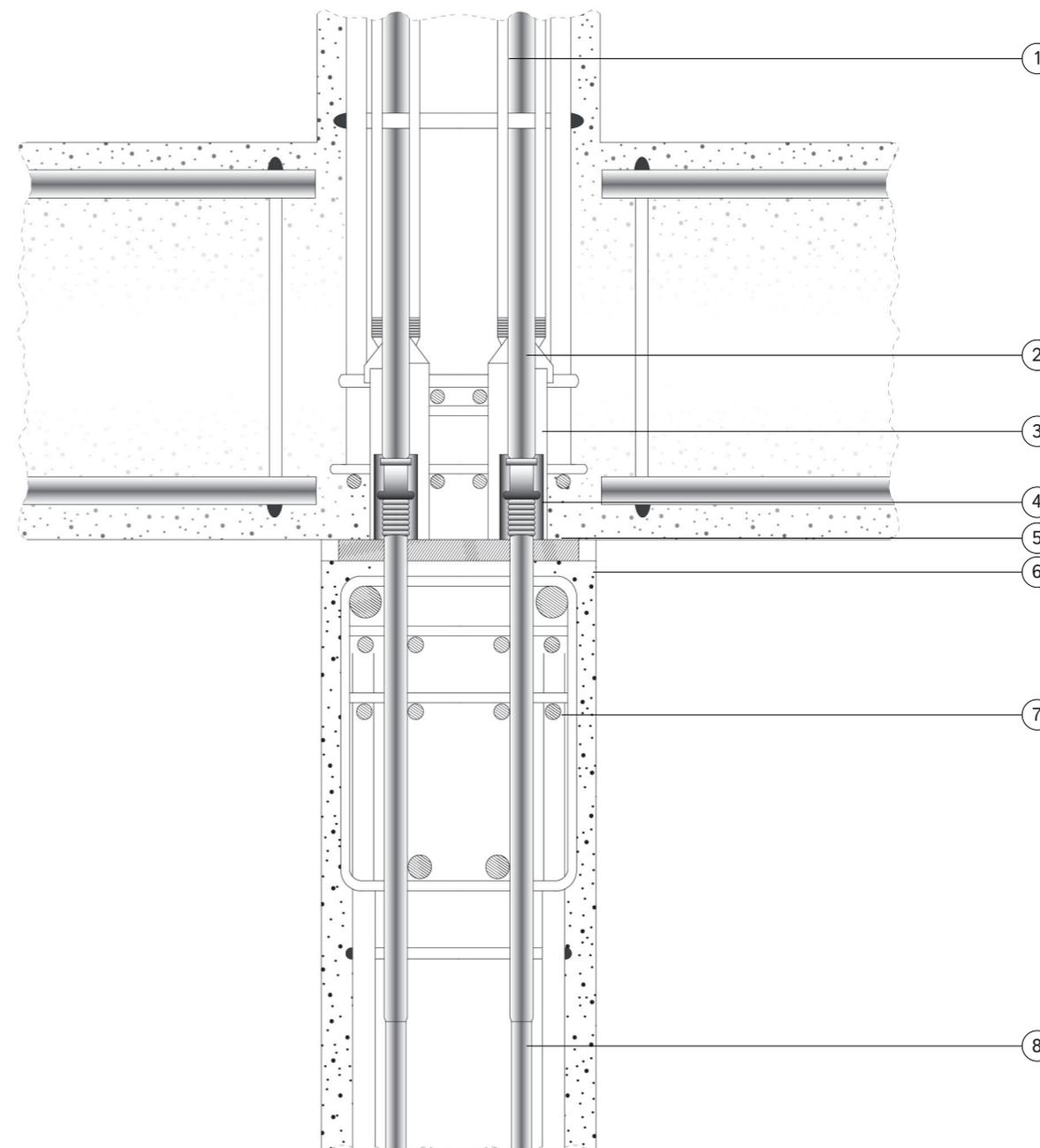
Efficace e durevole strutturalmente e termicamente

Innovazione

Struttura portante esterna

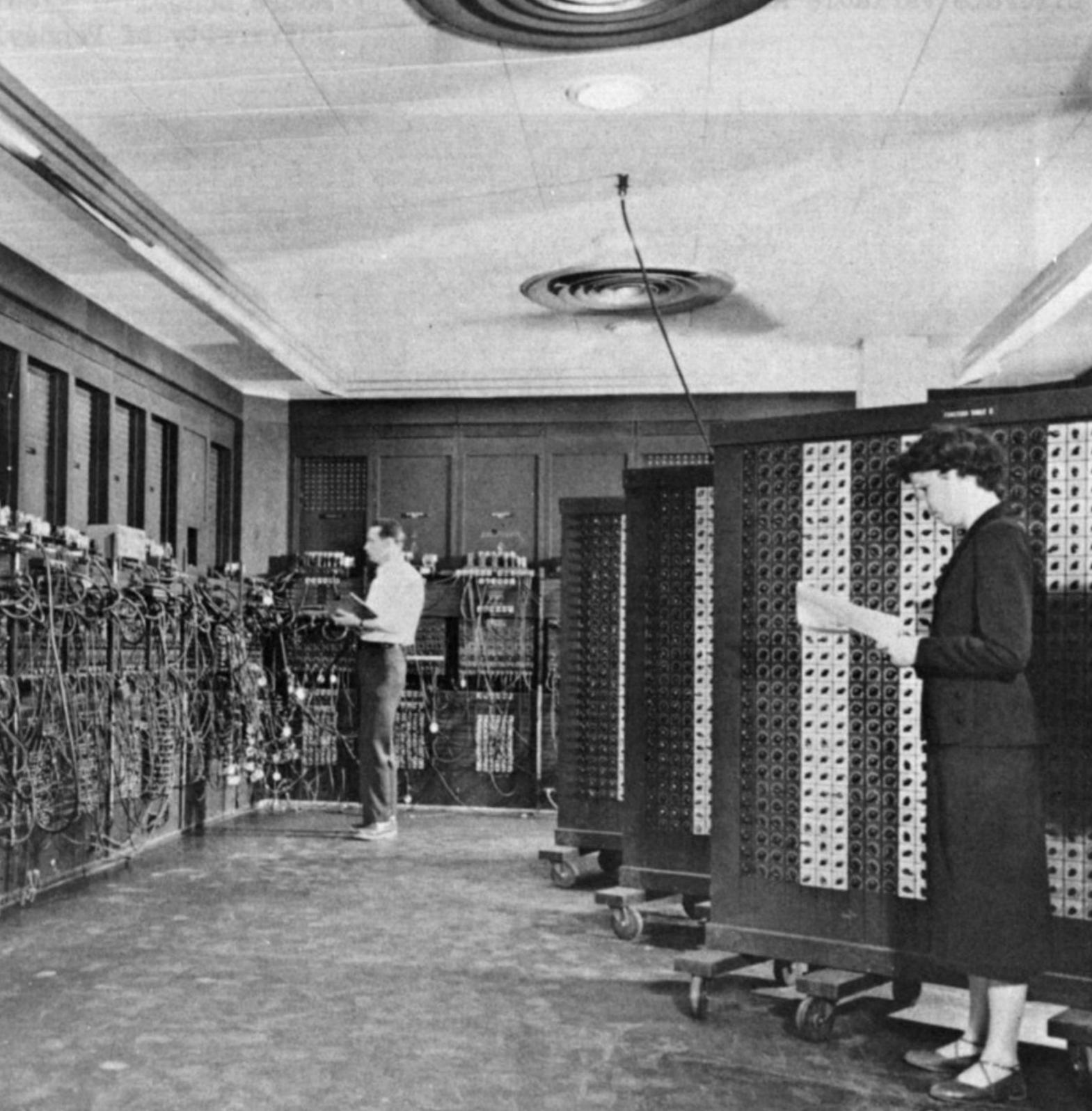
Descrizione

- ① Barra metallica con punta filettata della cellula prefabbricata superiore.
- ② Collo del cilindro di protezione della connessione fra le due barre, in metallo.
- ③ Corpo del cilindro di protezione in metallo.
- ④ Dado interno al cilindro per serrare la connessione tra barra superiore ed inferiore.
- ⑤ Cuscinetto in noeprene tra le due superfici in calcestruzzo.
- ⑥ Finitura esterna in gomma tra le due superfici del giunto.
- ⑦ Armatura interna ai pannelli in calcestruzzo prefabbricati.
- ⑧ Barra metallica con punta filettata della cellula prefabbricata inferiore.



0 5 10 20
1CM

Produzione a cura di Andrea Zegna



Digitalizzazione

“Gran parte dei prodotti oggi, iniziando da quelli di massa fino ai velivoli più sofisticati, è creata e prodotta tramite un processo in cui la progettazione, l’analisi, la rappresentazione, la fabbricazione e l’assemblaggio stanno diventando un processo di collaborazione che, relativamente senza soluzione di continuità, dipende unicamente dalle tecnologie digitali, in un continuum digitale dalla progettazione alla produzione”²⁷.

Si rende noto, quindi, come l’industria si sia servita delle innovazioni riguardo la digitalizzazione dei processi di produzione di pale per aerei ed elicotteri attuate in campo militare a partire dalla Seconda Guerra Mondiale. La necessità di trasferire il lavoro umano a dei macchinari che potessero ripetere infinite volte, portava un notevole guadagno alla produzione. In termini di tempo e risparmio delle spese poiché non necessitava più di un numero cospicuo di operai specializzati, poiché ne bastava uno che sorvegliasse il macchinario; riduzione degli scarti nella lavorazione e degli errori e conseguente unione di più lavorazioni nello stesso macchinario. Questo sfociò nel settore dell’industria dell’edilizia prefabbricata nella produzione di macchine CNC (computerized numerical control), che permetteva di attuare lavorazioni, in particolare sul legno, ottenendo gli elevati standard

precedentemente elencati. Questi macchinari resero il processo “flessibile” svolgendo diverse funzioni e grazie a ciò a partire dagli anni 70 diversi settori dell’industria ne adottarono l’utilizzo. Il problema principale era la produzione di queste macchine che richiedeva l’impiego di ingenti capitali di cui le industrie non possedevano: grazie all’uso di linguaggi di programmazione e sistemi informatici, si poté raggiungere una produzione di massa di questi macchinari rendendoli più accessibili.

Inoltre l’introduzione di nuovi linguaggi informatici portò alla formazione di figure adatte al loro utilizzo, che non solo potevano programmare i macchinari, ma leggendo i progetti diventano color che programmano le fasi di lavorazione. In ambito architettonico, quindi, non vediamo solo la formazione di nuove figure professionali, ma anche il mutamento della figura dell’architetto che acquisì nuove capacità di disegno; inoltre, l’industria Off-Site agevolata da questi processi di produzione vide una maggiore coesione tra la produzione e la personalizzazione dei risultati finali, rendendo più appetibile l’architettura prefabbricata.

27. Kolarevic, B., *Architecture in the digital age. Design and manufacturing*, Taylor & Francis, New York, 2005

Anni 70/80 del XIX secolo

L'edilizia prefabbricata venne fortemente influenzata dalle scoperte del periodo in termini scientifici e culturali. Lo sbarco sulla luna, il perfezionamento della plastica e degli isolanti, l'high-tech portarono nuove forme e impieghi dell'architettura: forme simili a navicelle spaziali, conglomerati di cellule tridimensionali. Inoltre, molti architetti cercarono di sfruttare nuove tecnologie per la facilità di produzione e i tempi ridotti; inoltre, queste nuove forme portarono ad una rivisitazione dei canoni linguistici vedendo così una rivalutazione della parte impiantistica degli edifici.



Futuro House

📅 Anno

1968

🏗️ Progettista

Matti Suuronen

📍 Luogo

Finlandia

🏭 Processo di produzione

Prefabbricazione dei pannelli e della struttura portante in fabbrica

🔗 Giunto

La cella, simile ad un'astronave, era composta da due pannelli curvi dell'involucro. La struttura, sostenuta da dei pilastri in metallo vedeva una staffa unita al pannello per incastro e a sua volta per mezzo di viti e bulloni ancora alla staffa portante, per mezzo di due piatti, che trasferiva i carichi ad un plinto a terra. Gli elementi portanti, quindi risultano esser in metallo a differenza della struttura plastica e con isolanti. La giunzione tra i diversi sedici elementi della struttura avveniva per mezzo di un incastro, serrato a sua volta per mezzo di bulloni.

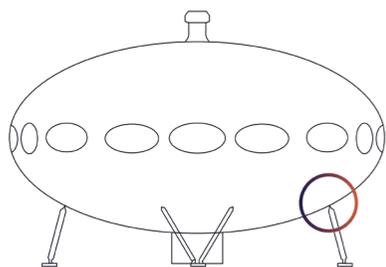
⚙️ Contesto

La cellula progettata dall'architetto finlandese rispecchiava la cultura degli anni 60, delineata da un'estrema fiducia nella scienza, nella ricerca tecnologica e nella conquista dello spazio. Da quest'ultimo aspetto nasce la forma simile ad un disco volante; in realtà la forma non era solo dettata dai mezzi spaziali ma anche da una facilità di produzione, trasporto e performance dell'edificio stesso. L'involucro era composto da sedici elementi, facilmente trasportabili e assemblabili con degli incastri e dei bulloni, oppure poteva esser interamente trasportata con un camion o un elicottero. La sua forma inoltre permetteva di adattarsi a qualsiasi contesto, poiché nasceva per calarsi sulle piste da sci o pendii data l'elevata performance termica dell'involucro. Grazie all'ampio strato di isolante tra i due pannelli di finitura, poteva garantire un ottimo confort e soprattutto poteva riscaldarsi molto facilmente, basti pensare che necessitava di soli trenta minuti per passare da una temperatura di -29 a $+16$ °C. La crisi petrolifera del 1973 portò ad una diminuzione di produzione di plastica che fece cessare la produzione delle Futuro House; ne furono prodotte poco meno di cento esemplari e ad oggi se ne conservano ancora sessantatré.²⁸

28. Thefuturohouse

Il giunto

Collocazione



Funzione

Collaborante con strutture portanti e di rivestimento esterne

Elementi connessi

Tirante - pannello

Sistema di unione

Imbullonato

Performance

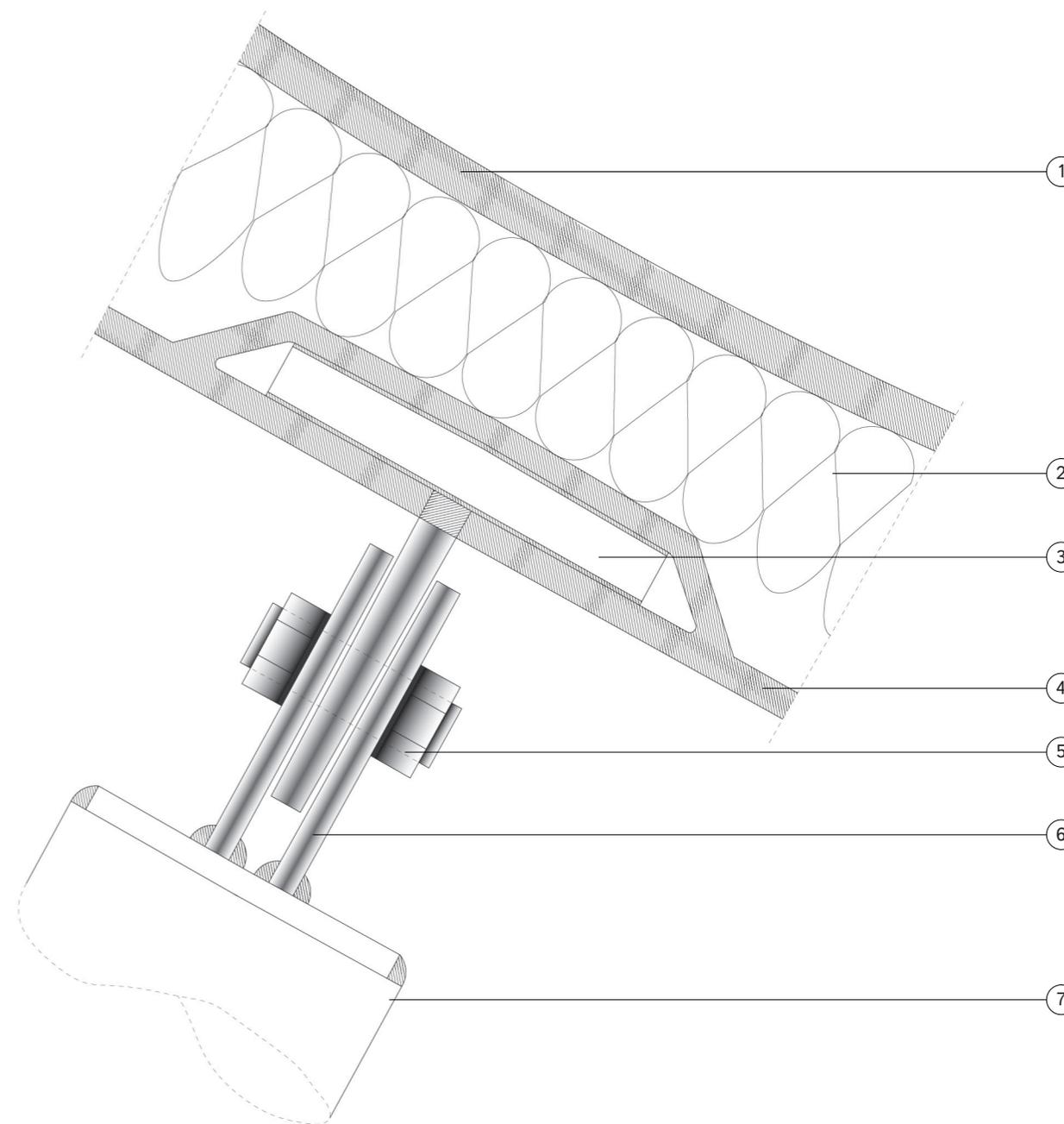
Efficace e durevole strutturalmente e termicamente

Innovazione

Forma e cencetto della struttura

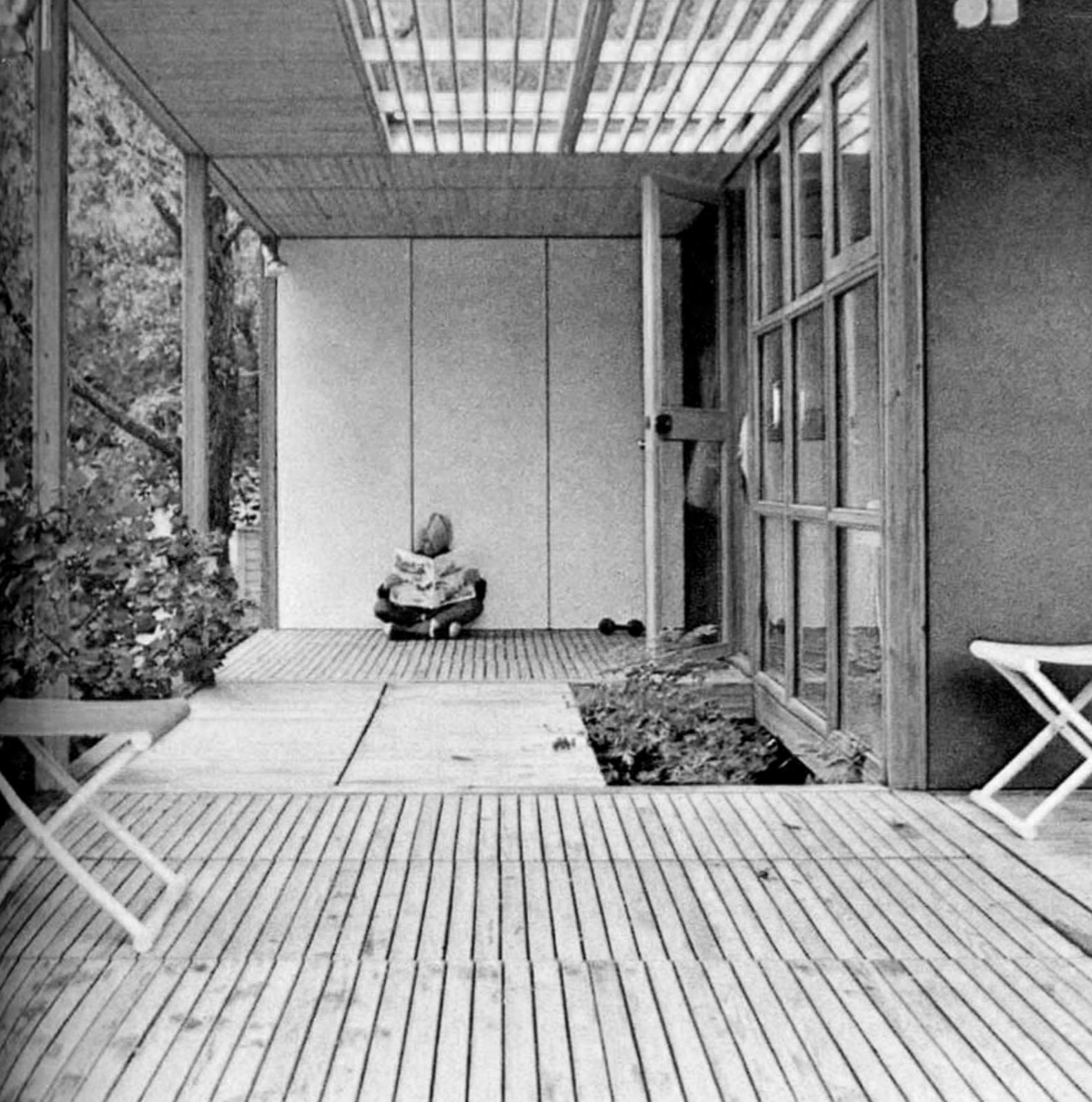
Descrizione

- ① Finitura interna in vetroresina.
- ② Isolante in poliuretano interposto tra finitura interna ed esterna.
- ③ Piastra laminata interna nell'ancoraggio tra staffa verticale e finitura curva.
- ④ Finitura esterna in vetroresina rivestita in gel.
- ⑤ Bullone di fissaggio delle staffe per mezzo di due dadi e una vite.
- ⑥ Staffe saldate al tirante metallico.
- ⑦ Tirante metallico di supporto alla struttura ancorato ad un cubo di fondazione in cemento.



0 1 2 4
|-----|
1CM

Produzione a cura di Andrea Zegna



Moduli 225

📅 Anno

1969

🏠 Progettista

Gullichsen & Pallasmaa

📍 Luogo

Finlandia

🏭 Processo di produzione

Produzione industriale dei pannelli, della struttura portante e mezzi di connessione

🔗 Giunto

La peculiarità della struttura portante è il sistema di incastro: quattro travi orizzontali si innestano in una colonna verticale sostenuta da un piedistallo metallico regolabile. A questa, erano ancorate, con viti, quattro piastre metalliche che fungevano da incastro per le teste delle quattro travi orizzontali. Il sistema di connessione risulta quindi nascosto e isolato dalle intemperie e dona linearità e continuità al sistema costruttivo su cui poggiano e si ancorano i pannelli. A serrare questo incastro tra le due piastre metalliche vi era una tessera in legno in modo da permettere lo slittamento lungo l'asse verticale.

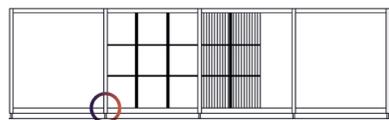
📍 Contesto

Il progetto prevedeva la costruzione di una casa basandosi su dei moduli di 225 cm con un struttura in legno, per utilizzare il materiale dei paesi nordici ma ricercando un linguaggio moderno della prefabbricazione. Il modulo cubico di base del sistema, di 75 cm³, generato da travi e pilastri in legno, poteva ospitare diverse tipologie di pannelli, finiture, porte e finestre; nel dettaglio i pannelli erano sette diversi, avendo tutti lo stesso modulo potevano essere interscambiabili generando una certa dinamicità progettuale. Grazie a questa modularità si semplificavano i tempi di messa in opera che duravano un massimo di due giorni, considerando che non erano previste grandi opere di sistemazione del sito perché i sistemi di appoggio potevano superare dislivelli fino ad 1,5m grazie alla loro regolabilità. Il sistema, benché ben organizzato, non era molto redditizio perché poco sviluppato dal punto di vista energetico, assai importante viste le temperature dei paesi nordici, e molto dispendioso per la successiva manutenzione essendo totalmente in legno. Questo portò una piccola produzione di sole sessanta case ed il successivo abbandono del sistema tecnologico.²⁹

29. Architectuur

Il giunto

Collocazione



Funzione

Struttura portante esterna

Elementi connessi

Trave - montanti

Sistema di unione

Incastro e avvitato

Performance

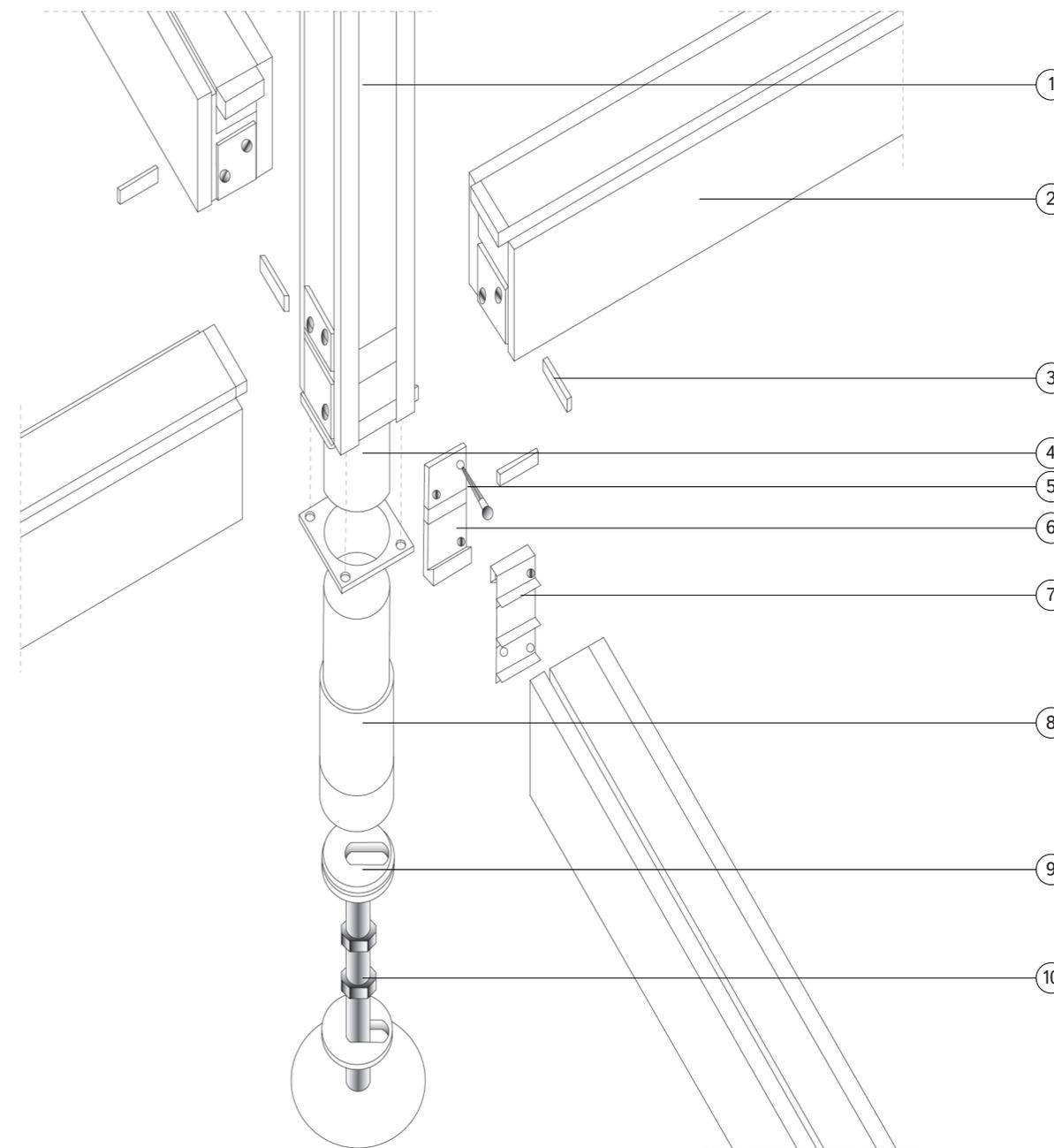
Efficace e durevole strutturalmente, poco efficace termicamente

Innovazione

Concezione del giunto e del telaio strutturale

Descrizione

- ① Pilastro in legno del telaio portante.
- ② Trave in legno del telaio portante.
- ③ Barra in legno per serrare il giunto tra le due piastre metalliche.
- ④ Cilindro metallico inserito alla base del pilastro portante in legno per appoggiarsi al piatto del sistema di fondazione regolabile.
- ⑤ Vite di connessione della piastra metallica a travi e pilastri.
- ⑥ Piastra metallica con asole, avvitata nella base dei pilastri per creare l'incastro tra i due elementi.
- ⑦ Piastra metallica con asole, avvitata nella testa delle travi per creare l'incastro tra i due elementi.
- ⑧ Piastra metallica con asole, avvitata nella testa delle travi per creare l'incastro tra i due elementi.
- ⑨ Piatto superiore della fondazione metallica regolabile.
- ⑩ Cilindro regolabile di fondazione.





Nagakin Capsule Tower

📅 Anno

1972

🏗️ Progettista

Kishō Kurokawa

📍 Luogo

Giappone

🏭 Processo di produzione

Produzione industriale delle cellule e dei sistemi di unione al nucleo centrale

🔗 Giunto

L'edificio è composto da un'anima centrale in metallo alla quale sono state connesse le cellule tridimensionali in calcestruzzo armato. La connessione avviene in due nodi differenti: il primo, nella parte superiore della cellula, avviene per mezzo di una piastra interna e due bulloni ad una staffa uscente dal nucleo. Il secondo, avviene per mezzo di incastro nella parte inferiore della cellula, grazie ad un tubolare metallico estruso dalla base che si incastra in un elemento orizzontale collegato al nucleo che sostiene la base e contrasta le forze di momento della cellula. Queste due tipologie di giunto permettono l'effetto sospensione delle cellule e di nascondere gli incastri tra i due corpi.

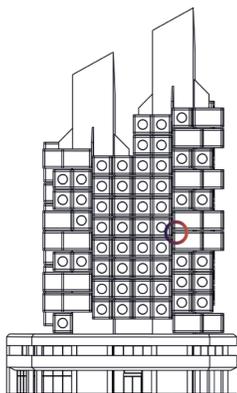
🏠 Contesto

L'edificio è considerato uno dei massimi esempi del movimento metabolista giapponese. Ospita principalmente singoli alloggi (le cellule) e al piano terra, unico spazio in cui avviene l'accesso, sono situati una hall, un negozio di alimentari e dei bagni pubblici. La struttura è composta da due torri con un'un'anima in acciaio, contenente le scale e gli ascensori e, a questa, sono collegate le cellule in acciaio galvanizzato. Quest'ultime sono 140, prodotte in stabilimento in serialità; le dimensioni riprendono uno spazio della casa tradizionale giapponese, lo *cha no yu* e corrisponde ad un'area di 10 m², avendo la base di 2,5 x 3,8 m ed un'altezza interna di 2,3 m. L'unica fonte di luce interna è l'oblò rotondo che può esser oscurato internamente con una tenda a ventaglio. Due lati degli interni ospitano degli arredi prefabbricati, con una scrivania ed una cucina entrambi ribaltabili per poter massimizzare lo spazio; in prossimità dell'oblò troviamo il letto e accanto ad esso un vano dedicato ai servizi con water ed una piccola vasca da bagno. La struttura era stata studiata per una manutenzione ciclica di vent'anni considerando la facilità di osatura e rimozione delle singole cellule grazie al sistema di incastro, per permettere delle variazioni.³⁰

30. Dezeen

Il giunto

Collocazione



Funzione

Struttura portante esterna

Elementi connessi

Parete - cellula

Sistema di unione

Imbullonato ed incastro

Performance

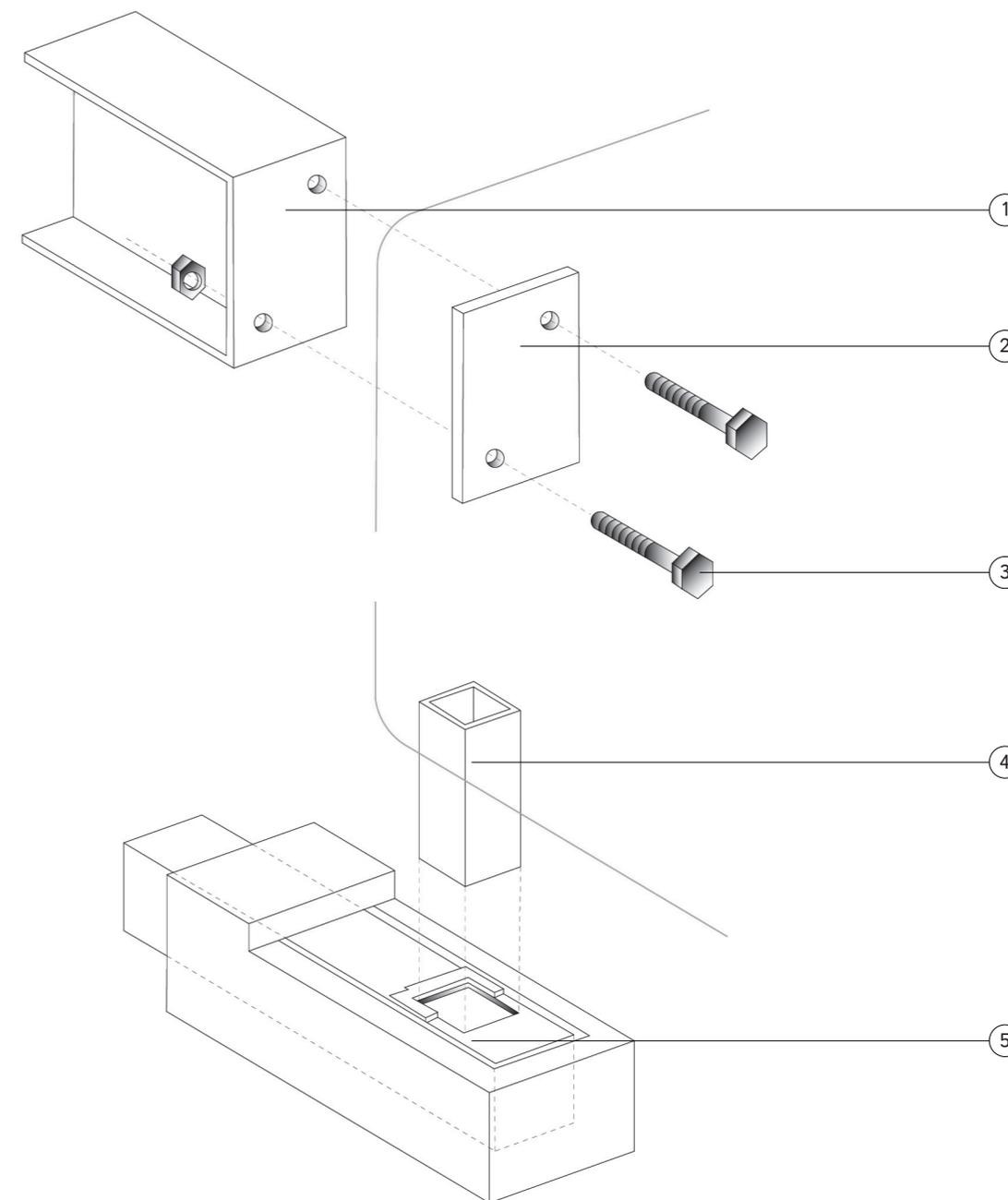
Efficace e durevole strutturalmente, ininfluenza termicamente

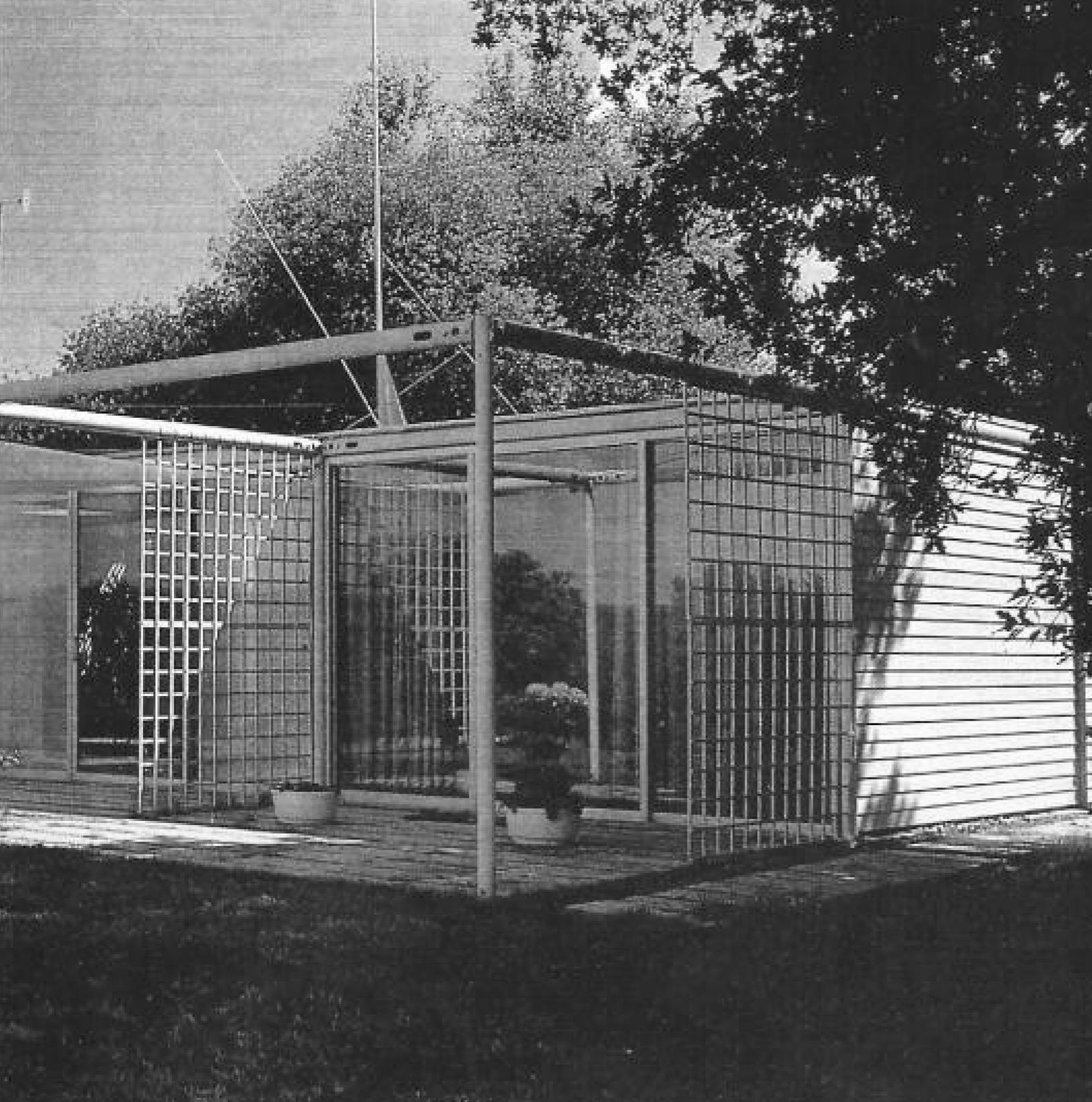
Innovazione

Effetto sospeso della struttura

Descrizione

- 1 Staffa metallica forata, uscente dal nucleo della struttura, per connettere la parte superiore della cellula.
- 2 Piatto di connessione tra la parte superiore della cellula e la staffa metallica del nucleo.
- 3 Bullone di ancoraggio tra staffa e piatto composto da dado e vite.
- 4 Tubolare metallico cavo a sezione quadrata uscente dalla base della cellula.
- 5 Piede metallico uscente dal nucleo della struttura per l'incastro con il tubolare della base della cellula.





Yacht House

Anno

1983

Progettista

Richard Horden

Luogo

Inghilterra

Processo di produzione

Produzione industriale del telaio e dei pannelli in lamiera

Giunto

La struttura si ispirava al telaio di una barca, composto da uno scheletro con travi e pilastri, e tiranti in acciaio ai quali si connettevano i pannelli di tamponamento. Il sistema di connessione adottato per l'edificio, prevedeva lo studio dell'unione tra travi circolari e montanti del telaio in alluminio e acciaio in cui confluissero tutte le forze, comprese quelle provenienti dai tiranti di controvento. Questo nodo risultava quindi complesso dal punto di vista strutturale ma di facile montaggio perchè necessitava solo di bulloni, ovvero di viti serrate per mezzo di dadi con una semplice chiave inglese.

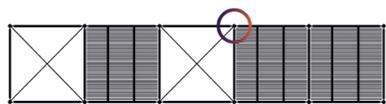
Contesto

L'edificio acquisisce questo nome perchè sfrutta la tecnologia e le strutture impiegate per la struttura di un Tornado Yacht, questo grazie alla collaborazione tra un noto produttore dell'omonima barca e il progettista. La struttura, quindi risulta essere uno degli elementi caratterizzanti del progetto, sfruttando un elevato grado di prefabbricazione degli elementi strutturali in alluminio e acciaio inossidabile. Questo alto grado di prefabbricazione si sposa con la modularità della struttura, sia per quanto riguarda il disegno, ovvero partendo da un interesse di base della maglia quadrata strutturale di 5 x 5 m; inoltre la modularità è presente nei pannelli di rivestimento della facciata e del tetto, creando un piccolo catalogo di elementi intercambiabili atti a soddisfare le esigenze del cliente. La struttura è stata eretta grazie ad una sistemazione del sito e successiva posa di plinti quadrati a cui venivano ancorati i pilastri portanti. La struttura, grazie ai nodi e alle giunzioni con semplici bulloni permise una notevole facilità di costruzione, tanto che fu assemblata in sole cinque ore, sei minuti e undici secondi. La casa ha ricevuto diversi riconoscimenti, tra cui l'esposizione al Museum of Modern Art, alla Home Delivery Show nel 2008.³¹

31. hclarchitects

Il giunto

Collocazione



Funzione

Struttura portante esterna



Elementi connessi

Trave - pilastro - tirante

Sistema di unione

Imbullonato

Performance

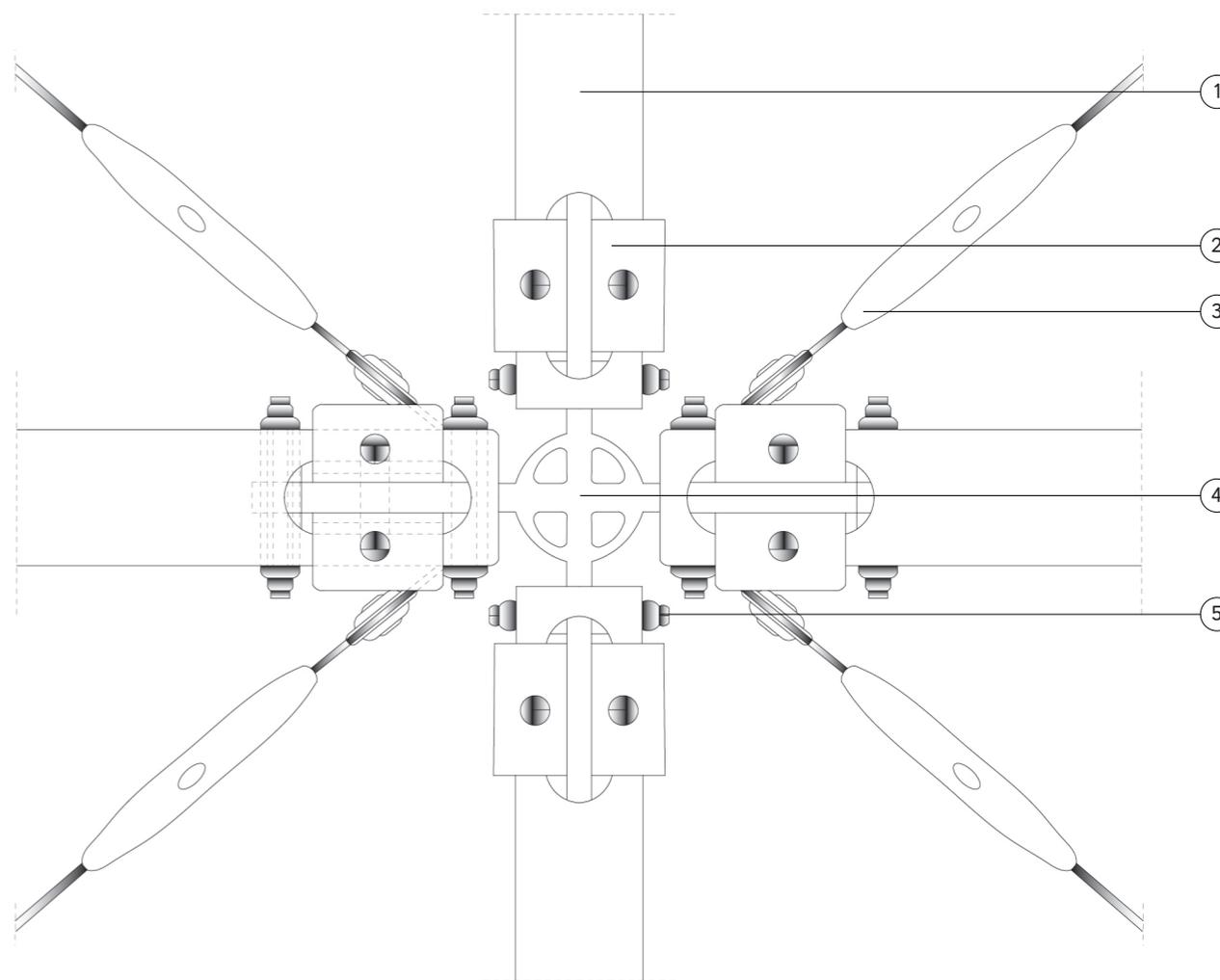
Efficace e durevole strutturalmente, ininfluenza termicamente

Innovazione

Struttura portante basata sulla struttura di uno yacht

Descrizione

- ① Pialstro portante di sezione quadrata in alluminio estruso.
- ② Scatola per la connessione tra l'elemento circolare di connessione e le travi.
- ③ Tirante in acciaio per controventare.
- ④ Trave portante di sezione quadrata in alluminio estruso.
- ⑤ Bullone di connessione di ogni elemento della struttura, formato da vite, rondella e dado.



0 5 10 20
1CM

Produzione a cura di Andrea Zegna



Verso la sostenibilità

“Costruire nella consapevolezza che l’edificio è con noi parte di un ecosistema, è un dovere di chi opera nell’edilizia. È necessario costruire in modo che gli equilibri naturali vengano rispettati per evitare danni che potrebbero aggravarsi sempre di più. Allo stesso tempo costruire in qualità significa garantire prestazioni sia ambientali che tecnologiche tra le quali quelle igrotermiche, acustiche, antifuoco”³², queste le parole di Pietro Antonio Vanoncini che descrivono l’impegno del settore delle costruzioni a secco per migliorare e far progredire il settore delle costruzioni prefabbricate. A partire dagli 70/80 il settore edilizio acquisì una sempre più maggiore consapevolezza del legame tra industria e architettura; inoltre, grazie alle scoperte del decennio precedente iniziò a persistere la ricerca di maggiori qualità nei sistemi costruttivi, nel rispetto dell’ambiente e del riutilizzo dei materiali, dettando la nascita di una domanda sostenibile da parte della popolazione mondiale. I sistemi prefabbricati a secco si fecero carico di questi ideali e vennero ricercati grazie a nuovi edifici definiti “Struttura/Rivestimento (S/R)”³³.

Le costruzioni stratificate, attraverso l’impiego di strutture portanti, principalmente a telaio in acciaio o calcestruzzo armato, permettono di costruire con tamponature più

leggere e maggiormente isolanti, raggiungendo diversi punti:

- Maggiore integrazione tra involucro ed impianti grazie all’uso di intercapedini
- Flessibilità degli spazi e adattamento al cambio di destinazione d’uso
- Facilità di gestione del cantiere
- Riduzione del consumo di energia grazie al riutilizzo dei materiali impiegati

Effettivamente, gli edifici vengono quindi considerati come “scatole”³⁴ portando ad inserirsi in questo settore le strutture a cellule tridimensionali che sfruttano le costruzioni stratificate a secco per esprimere un più alto grado di prefabbricazione.

La suddivisione per livelli con materiali integrabili e maggiormente performanti, rendono l’edificio attivo e soprattutto portano ad una maggiore qualità degli elementi della struttura, poichè i materiali per l’80% provengono da settori industriali (in alcuni casi fino al 95%) e ad una maggiore controllo grazie ai processi di produzione e assemblaggio che entrano a far parte del processo di progettazione.

I sistemi di connessione, vista la varietà e la diversificazione dei materiali sia per le strutture che per i tamponamenti, videro l’inserimento di elementi di carpenteria (ad es. tasselli, guide, viti, graffe, sistemi di ancoraggio) che supportarono le nuove tecnologie isolanti, pannelli e solai di diverse matrici.

32. Imperadori M. e Poli T., Dubosc e Landowski – Architettura e industria, Grafo Edizioni, Brescia, 1998

33. Zambelli E., Vanoncini P., Imperadori M., Costruzione stratificata a secco: tecnologie edilizie innovative e metodi per la gestione del

progetto, Maggioli, Santarcangelo di Romagna 1998

34. Ibidem 33



Housing Complex

📅 Anno

1971

🏗️ Progettista

Otto Steidle

📍 Luogo

Germania

🏭 Processo di produzione

Produzione industriale dello scheletro della struttura

🔗 Giunto

La struttura prefabbricata in travi e pilastri di calcestruzzo armato, fa da scheletro all'intero edificio. Gli elementi, armati di ferri interni, si connettono semplicemente fra di loro attraverso incastri cilindrici in calcestruzzo e le travi si appoggiano ai pilastri per mezzo di mensole triangolari; il sistema di connessione, inoltre, prevede lo spazio per far passare il sistema di scolo delle acque. I solai appoggiano sullo scheletro e le tamponature a secco si connettono ad esso.

🏠 Contesto

Il progetto ebbe un notevole impatto in diversi aspetti dell'architettura, in particolare nell'ambito tecnologico e quello sociale. La tecnologia, totalmente prefabbricata, si basava sui moduli strutturali di un capannone industriale in calcestruzzo armato di semplici travi, pilastri e solai; a questi si corredevano altri elementi prefabbricati, quali le finestre a nastro colorate che costituivano il rivestimento dell'edificio. Il sistema struttura + rivestimento permetteva quindi una notevole variabilità degli spazi in pianta e di poter ospitare differenti funzioni tra cui le principali di alloggi ed uffici. D'altra parte, questa struttura, poteva permettere di creare spazi comuni e di assumere diverse funzioni: in alcuni momenti il modulo diventava pergola, in altri piazza, generando così spazi di incontro, di socialità permettendo all'intero complesso di assumere una forte valenza comunitaria, familiare e sociale. Attraverso piccoli espedienti architettonici, quali sedute, scale o semplici giochi di volumi legava la sfera privata con quella sociale, generando un certo dinamismo in chi frequentava o viveva il complesso; questo era anche permesso da un accesso diretto dalla strada per ogni appartamento o ufficio.³⁵

35. Detail Inspiration

Il giunto

Collocazione



Funzione

Struttura portante esterna

Elementi connessi

Trave - pilastro

Sistema di unione

Incastro ed appoggio

Performance

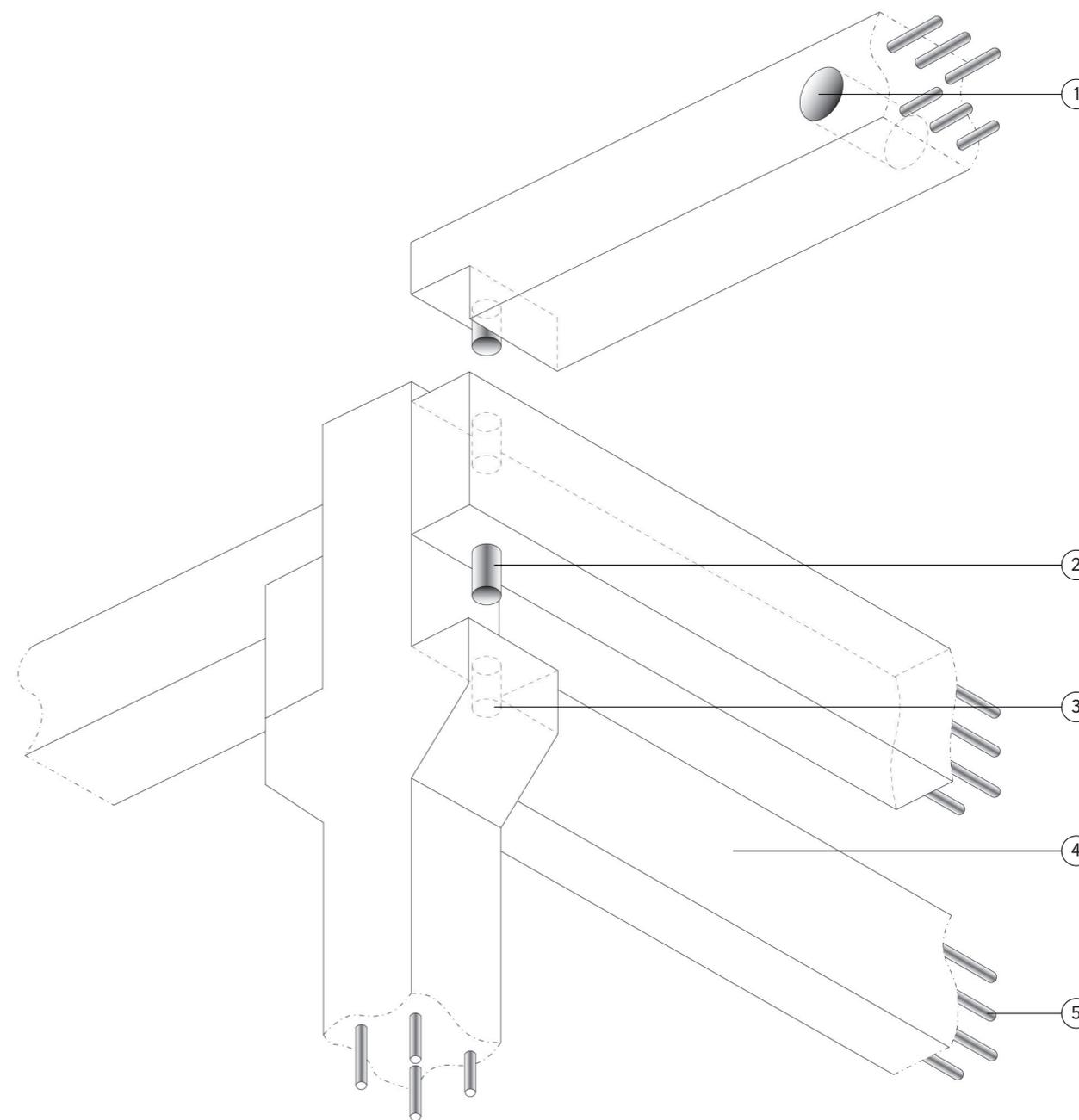
Efficace e durevole strutturalmente e spazialmente

Innovazione

Scheletro con pianta libera e finestre a nastro

Descrizione

- ① Foro per ospitare i sistemi di scolo delle acque meteoriche.
- ② Cilindro in calcestruzzo armato per l'incastro tra trave e pilastro.
- ③ Pilastro in calcestruzzo con mensola a T per ospitare l'incastro con le travi.
- ④ Trave orizzontale in calcestruzzo armato.
- ⑤ Ferri di armatura della struttura portante.





Housing Murray

📅 Anno

1999

🏗️ Progettista

Cartwright Pickard

📍 Luogo

Inghilterra

🏭 Processo di produzione

Produzione industriale degli elementi strutturali e di finitura

🔗 Giunto

La struttura sfrutta le potenzialità delle pareti stratificate a secco, in particolare sono utilizzate per produrre delle cellule tridimensionali. La struttura principale in tubolari di acciaio vede interposto l'isolante a cui si connette per staffe verticali una parete ventilata. I connettori per la finitura della parete sono agganci metallici che si ancorano alle staffe verticali. Il pacchetto prevede anche l'unione alle solette dei balconi delle travi di cordolo a "C" a cui, per mezzo di dadi e bulloni, si uniscono le colonne di facciata e il sistema di parapetti; le numerose parti in acciaio e alluminio non prevedevano l'uso di saldature per utilizzare solo incastri e carpenteria per una maggiore facilità e velocità di costruzione.

🏠 Contesto

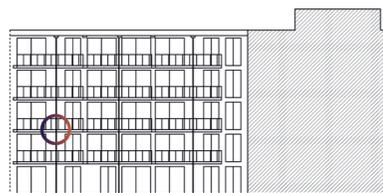
"Murray Grove sposa senza sforzo l'eccellenza architettonica con una grande innovazione costruttiva. È popolare tra i residenti ed è economico da mantenere."

Queste le parole con cui viene descritto il complesso da Dickon Robinson, direttore dell'azienda che ha commissionato il progetto. Considerato pionieristico per la tecnologia utilizzata, sfrutta una gabbia di pilastri e travi in acciaio per sostenere delle cellule prefabbricate. Questi trenta elementi ospitano le abitazioni e sono state prodotte in un solo mese dall'azienda Yorkon e messe in opera in soli dieci giorni, mentre la durata complessiva del cantiere è stata di sei mesi. Le abitazioni si affacciano a sud su un cortile-giardino rendendo così accessibile uno spazio pubblico ma privatizzato dalla forma a C della struttura. Il più grande punto di forza delle strutture prefabbricate è l'elevato grado di performance termica, che riducono le spese di riscaldamento permettendo ai fruitori di spendere soli £250 all'anno per il riscaldamento. Inoltre, la struttura risulta facilmente manutenibile e ristrutturabile, grazie alla facilità di montaggio e smontaggio degli elementi, questi possono essere sostituiti o semplicemente smontati per pulizia o rifiniture.³⁶

36. Cartwrightpickard

Il giunto

Collocazione



Funzione

Strutture portanti e di rivestimento esterne collaboranti con balcone

Elementi connessi

Parete - soletta - trave - controventi

Sistema di unione

Incastro ed imbullonato

Performance

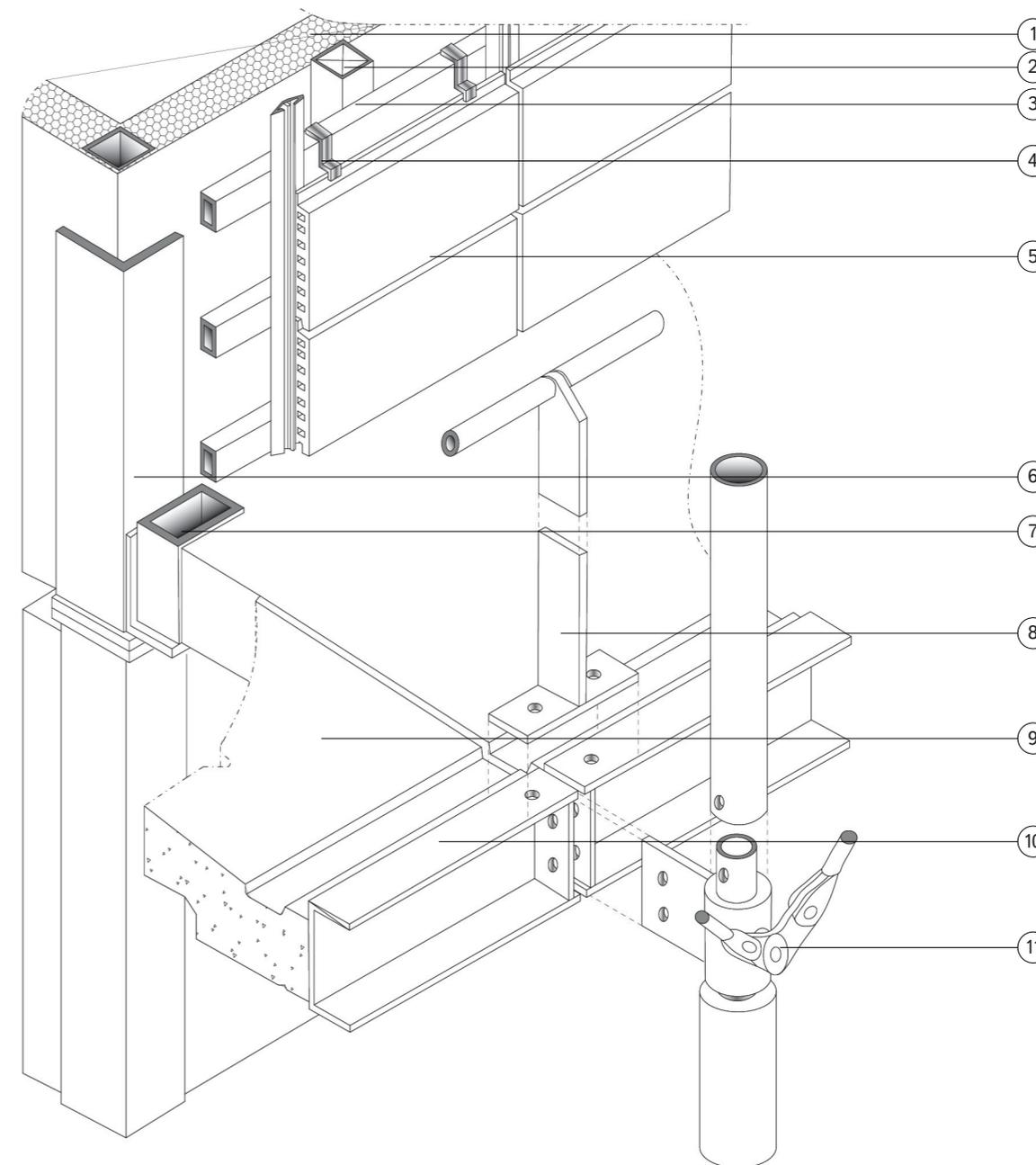
Molto efficace e durevole strutturalmente e termicamente

Innovazione

Struttura a cellule tridimensionali integrate con sistema strutturale a scheletro

Descrizione

- ① Pannelli in moduli della parete isolati, spessore 78mm.
- ② Listelli ancorati alla parete e di sostegno alla facciata ventilata.
- ③ Struttura di sostegno ai pannelli della facciata ventilata in montanti orizzontali e verticali in alluminio estruso.
- ④ Graffa in ferro di ancoraggio dei pannelli.
- ⑤ Pannelli di finitura in terracotta Argeton.
- ⑥ Struttura portante di base in acciaio, dimensioni 125 x 125 mm.
- ⑦ RHS per formare una tasca di dimensioni 120 x 80 mm.
- ⑧ Balaustra prefabbricata in acciaio con corrimano tondo ancorato su supporto verticale 65 x 12mm.
- ⑨ Soletta in cemento prefabbricato ricoperto da una finitura in silicone.
- ⑩ Trave di cordolo del balcone in acciaio, dimensioni 180 x 75 mm.
- ⑪ Colonna cava, Ø 76mm, connessa alle travi di facciata con una piastra da 15 mm.



0 5 10 20
1CM

Produzione a cura di Andrea Zegna



Cellophane House

 **Anno**

2008

 **Progettista**

Kieran Timberlake

 **Luogo**

Stati Uniti

 **Processo di produzione**

Produzione industriale con materiali innovativi ad alta efficienza

 **Giunto**

Il telaio strutturale in profilati estrusi di alluminio, riduce il peso della struttura e facilita le fasi di montaggio e riuso; le connessioni avvengono per mezzo di bulloni composti da dadi e viti che collegano staffe ad “L” tra i diversi elementi della struttura portante. Vengono così ridotti gli elementi delle connessioni e gli strumenti impiegati per la messa in opera. I rivestimenti ad alta performance sono inseriti nello scheletro strutturale per mezzo di guide in alluminio e guardano all’ambiente grazie all’uso di plastica e vetro incastrati in queste guide e sigillati per mezzo di siliconi o materiale di matrice plastica.

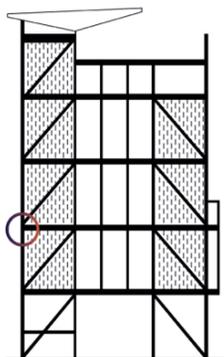
 **Contesto**

Il progetto presentato al MOMA per l’esibizione *Home Delivery: Fabricating the Modern Dwelling* ha una forte valenza ecologica perchè cerca di sfruttare il riciclo di materiali e di inquinare il meno possibile. L’intera struttura è stata progettata e prefabbricata in stabilimento seguendo le linee di produzione DfMA. I componenti sono state trasportati con tir e assemblati in sito, l’ottanta per cento della struttura è stato assemblato in soli sei giorni. Il progetto è stato sviluppato considerando non solo la prefabbricazione, ma anche le fasi di smontaggio e successivo riutilizzo dei materiali riducendo gli sprechi di materiale e l’inquinamento. Nel dettaglio la struttura si compone di un telaio a travi e montanti in alluminio estruso, nel quale si inserisce un rivestimento “intelligente”: un doppio strato di vetri con fogli di polietilene permettono la protezione dai raggi UV, interposti tra questi troviamo delle cellule fotovoltaiche per la collezione di energia solare che viene trasferita a delle linee di rame per la conduzione di energia e la successiva produzione di energia elettrica ad impatto zero. Altri componenti ecologisti della struttura sono la pavimentazione e la pareti interne, prodotti con plastica riciclata e trasformata in strutturale.³⁷

37. Kierantimberlake

Il giunto

Collocazione



Funzione

Portante e collaborante con strutture a scheletro e di rivestimento esterne

Elementi connessi

Colonna - montante
- involucro

Sistema di unione

Imbullonato

Performance

Efficace e durevole strutturalmente e molto performante termicamente

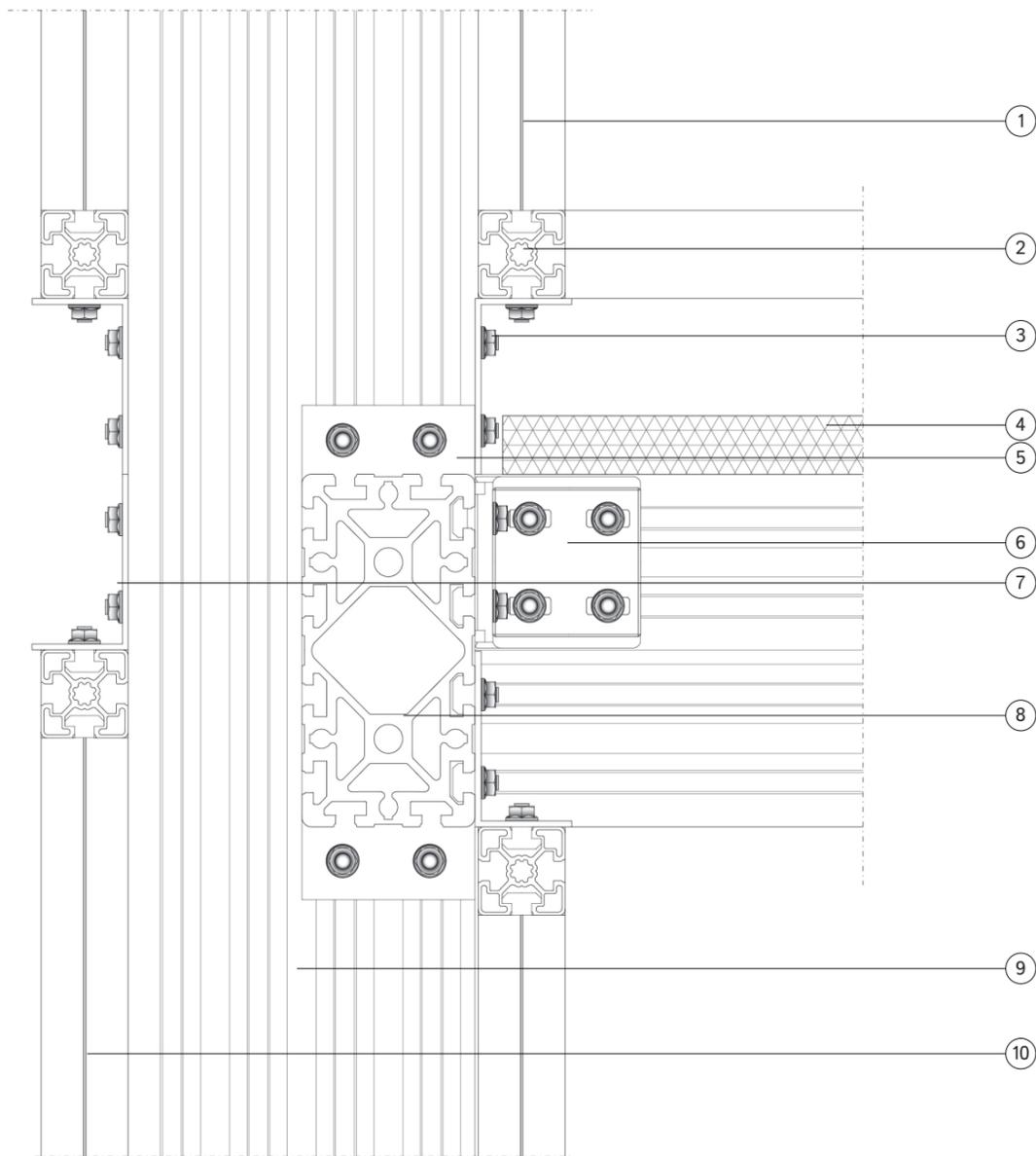
Innovazione

Involucro intelligente

Descrizione

- ① Membrana interna in polietilene tereftalato, sp. 1 mm.
- ② Serramento con profilato in alluminio estruso.
- ③ Carpenteria di connessione, composta da bulloni con viti, rondelle e dadi.
- ④ Pavimento in Struttura Plastic, sp. 30 mm.
- ⑤ Pistrà metallica di connessione tra le due colonne esterne e il montante orizzontale.
- ⑥ Fazzoletti in acciaio di dimensioni 90 x 90 mm.
- ⑦ Staffa esterna in alluminio.
- ⑧ Montante orizzontale in alluminio estruso.
- ⑨ Doppia colonna in alluminio estruso da 90 mm Bosch Rexroth.
- ⑩ Membrana esterna in polietilene tereftalato, sp. 1 mm.

0 1 2 4
1cm
Produzione a cura di Andrea Zegna



Istituto del mondo arabo

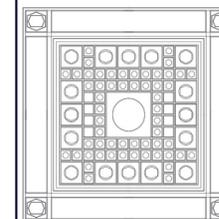


Jean Nouvel

Parigi

Giunto della facciata prefabbricata in vetro e acciaio. Connessione per incastro e bulloni metallici tra i diversi componenti dei pannelli della facciata, basati su un modulo quadrato con elementi che compiono dei cinematismi.

Prospetto pannello



1980

Esposizione Universale "Colombiadi"

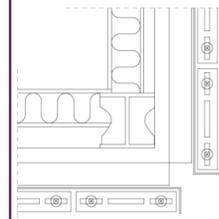


Renzo Piano

Genova

Giunto per la connessione del rivestimento in cotto per le facciate ventilate. I mattoni di rivestimento cavi erano connessi per mezzo di tubi metallici e dai con rondelle utilizzati come distanziali e bloccaggi.

Angolo in pianta



1985

Edificio residenziale in Rue de Meaux

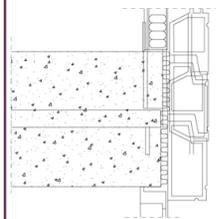


Renzo Piano

Parigi

Giunto per la connessione del rivestimento in tegole di cotto sulla facciata ventilata in GRC. Le tegole presentano una forma adatta ad appoggiarsi e alle barre di sostegno della facciata e ad incastarsi con i pannelli soprastanti.

Sezione



Signal Box auf dem Wolf

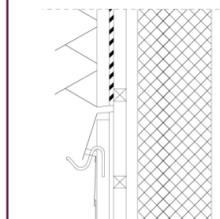


Herzog & de Meuron

Basilea

Giunto tra il rivestimento in rame e la struttura portante in cemento. La finitura dell'edificio è composta da pannelli scanalati e rotati in rame che si connettono alla struttura sottostante creando una facciata ventilata.

Sezione



Kunsthhaus

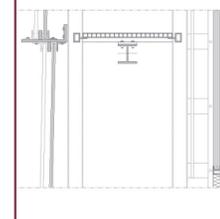


Peter Zumthor

Bregenz

Giunto tra la doppia facciata in vetro acidato e la struttura portante in calcestruzzo. Il giunto è composto da una L in acciaio che permettono l'incastro sfalsato dei vetri.

Sezione



1990

Edificio in Postdamer Platz

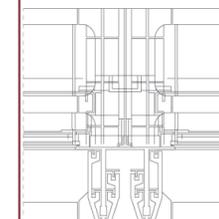


Renzo Piano

Berlino

Giunto fra pannelli in alluminio e vetro con rivestimento in cotto. Il rivestimento in cotto inoltre, formato da pannelli cavi, si aggancia per mezzo di "baguette" ai montanti di alluminio della struttura della facciata ventilata.

Pianta



Fondation Cartier

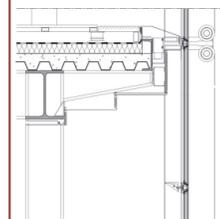


Renzo Piano e Richard Rogers

Parigi

Giunto tra le diverse strutture portanti in acciaio prefabbricate dell'edificio. La facciata continua esterna presenta un sistema a stick-system che connette ortogonalmente montanti e traversi di sostegno ai pannelli di vetro.

Sezione



Sendai Mediatheque

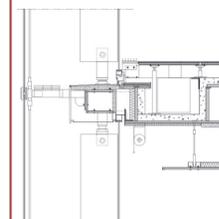


Toio Ito

Parigi

Giunto tra i montanti e traversi della facciata continua di rivestimento per mezzo di sostegni a "ragno" che permettono la secondaria connessione di tiranti per pendicolari alla facciata.

Sezione



1995

Bridge master's house

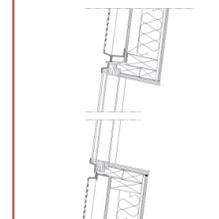


UnStudio

Purmerend

Giunto tra la struttura portante in acciaio e il telaio della doppia pelle in lamiera forata; questo avviene per mezzo di staffe metalliche e imbollunatura dei due elementi.

Sezione



Casa Bearth-Candinas

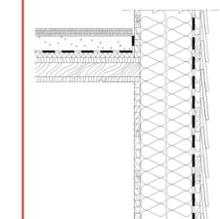


Bearth & Deplazes

Sumvit

Giunto tra la struttura prefabbricata in pannelli di legno e le scandole esterne in legno di larice. La connessione avviene per mezzo di incastro e chiodatura delle stesse, che, essendo sovrapposte, nascondono la connessione.

Sezione



Kursaal

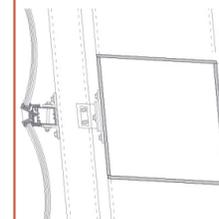


Rafael Moneo

San Sebastian

Giunto della doppia pelle vetrata in vetro stratificato e struttura in scheletro d'acciaio. Il giunto tra i due pannelli avviene per mezzo di un montante che si sdoppia verso l'esterno e permette l'incastro dei due elementi curvi.

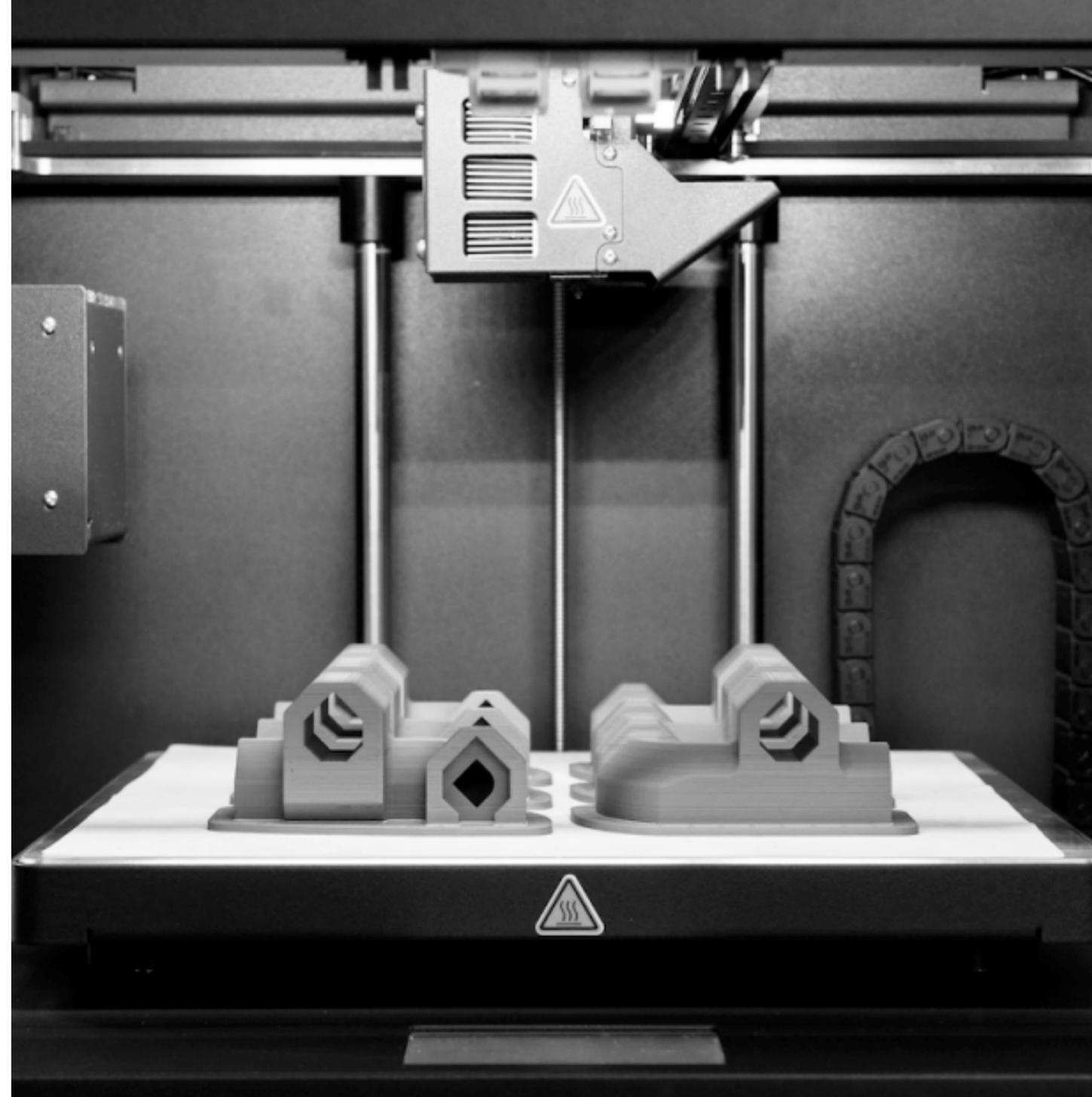
Sezione



2000

Anni 80/90 del XX secolo

Le strutture prefabbricate a secco, a partire dalla fine degli anni Settanta del 1900, ebbero una notevole espansione grazie a due principali sistemi costruttivi innovativi: le facciate ventilate e quelle continue in vetro. Entrambi i sistemi sfruttano la tecnologia S/R, la quale permette una maggiore libertà nel creare involucri con finiture di pregio, come negli edifici in cotto progettati da Renzo Piano; oppure, grazie all'impiego di vetri trattati e standardizzati, si sono realizzati edifici con involucri accattivanti esternamente e luminosi al loro interno.



Stampa 3D

Una stampa in 3D permette di produrre un oggetto materico a partire da un disegno, generato a sua volta grazie ad un software. A partire dal 1986, quando è stato presentato il primo brevetto di una macchina di questo genere, i sistemi si sono evoluti sia per processi di lavorazione-produzione che utilizzo della materia prima. Queste macchine, grazie a dei binari che guidano un oggetto che plasma del filo (chiamato estrusore), permettono la creazione dell'oggetto tridimensionale. Ponendo strati su strati di materiale fuso (chiamati layer), l'oggetto prende forma. Tutto questo consente di realizzare oggetti di qualunque forma e dimensione in cui l'unico limite è la fantasia. Attraverso questo procedimento è possibile creare oggetti in maniera molto più veloce rispetto ad altri processi, ed è per questo che allo stampaggio in 3D viene assegnata la caratteristica di prototipazione rapida.³⁸ Tra le caratteristiche delle stampe 3D troviamo principalmente:

- Flessibilità: data dalla possibilità di realizzare forme di qualunque genere in diversi materiali.
- Sostenibilità: gli scarti, ad esempio a differenza di tagli laser su lamiera, sono molto ridotti e possono anche essere riutilizzati ritrattando lo stesso materiale attraverso processi di tritamento e deumidificazione.

38. formlabs
39. freelabster

• Accuratezza: la stampa 3D resta pur sempre un'operazione fatta da una macchina e quindi con il minimo impiego dell'uomo; automaticamente lo scarto di errore è minimo e il lavoro risulta quasi sempre fedele alla riproduzione esatta del modello 3D da cui è stata ricavata la stampa.

• Rapidità: è un processo di costruzione più veloce, soprattutto perché è costituito da una fase unica e continua, a differenza di prodotti realizzati con tecniche tradizionali.³⁹

Per quanto riguarda i sistemi di connessione, le stampanti 3D, in virtù delle qualità precedentemente descritte, risultano facilitate a raggiungere forme complesse e creare incastri che con altri materiali richiederebbero un maggiore sforzo; il vincolo maggiore risulta quello dettato dalla resistenza dei materiali impiegati per produrre il filamento che di conseguenza portano una limitazione nelle connessioni tra elementi di edifici ma piuttosto una predisposizione a produrre elementi o edifici interamente stampati. Recenti impieghi di materiali come fibre di carbonio portano a rivalutare queste condizioni; diverse le condizioni all'interno del design dove vediamo l'impiego di giunti prefabbricati con stampanti 3D per connettere elementi di mobili.



Steel Connector

📅 Anno

2019

🏗️ Progettista

MX3D e Takenaka

📍 Luogo

Olanda

🏭 Processo di produzione

Stampante tridimensionale Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM)

🔗 Giunto

Il giunto stampato in acciaio inossidabile Duplex, con uno spessore esterno di 2 mm, che garantisce un'alta resistenza strutturale e alla corrosione. La forma del connettore metallico nasce dalla necessità di far collaborare il metallo stampato con la malta attraverso la quale viene riempito. Inoltre, per soddisfare i requisiti il processo di produzione prevede che vi siano numerose saldature usando uno stampaggio con filamento metallico, che dagli studi e prove effettuati dallo studio giapponese, garantisce la massima resistenza alle forze. Il materiale, collaborando con la malta interna, fornisce all'elemento fino al doppio della resistenza di connettori simili prodotti esclusivamente in acciaio.

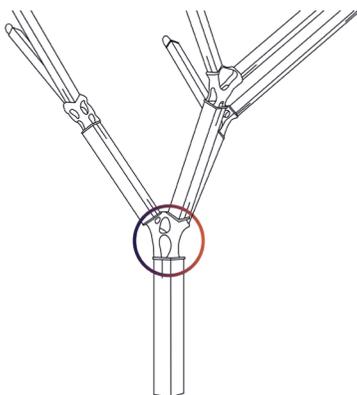
🔧 Contesto

L'azienda olandese MX3D, esperta nello stampaggio di strutture attraverso il processo WAAM, ha collaborato con lo studio giapponese Takenaka Corporation per produrre il connettore metallico. Gli studi e i test hanno portato alla realizzazione di questo elemento che permette di unire fino a quattro elementi lineari di una struttura portante; le sue dimensioni fino a 50 cm, garantiscono un peso di 40Kg (del solo acciaio stampato) che a sua volta raggiunge fino a 45Kg dopo che il suo nucleo riceve un insufflaggio di 2,5 litri di malta. Lo scopo di questa invenzione è quella di produrre un connettore per grandi strutture facilmente riproducibile e applicabile senza una manodopera altamente specializzata vista la scarsità nel settore delle costruzioni. Inoltre, sfruttando le più recenti tecnologie di produzione e controllo dell'elemento, si integra perfettamente con i processi di progettazione tramite software BIM. Oggigiorno l'elemento non possiede ancora le necessarie certificazioni per essere impiegato, ma i recenti test, distruttivi e non distruttivi, ne confermano le proprietà meccaniche. Grazie alla collaborazione di acciaio e malta, il connettore soddisfa i requisiti di trazione e stabilità.⁴⁰

40. 3dprintingmedia

Il giunto

Collocazione



Funzione

Collaborante con strutture portanti a travi

Elementi connessi

Trave - trave

Sistema di unione

Incastro per mezzo di piastre metalliche

Performance

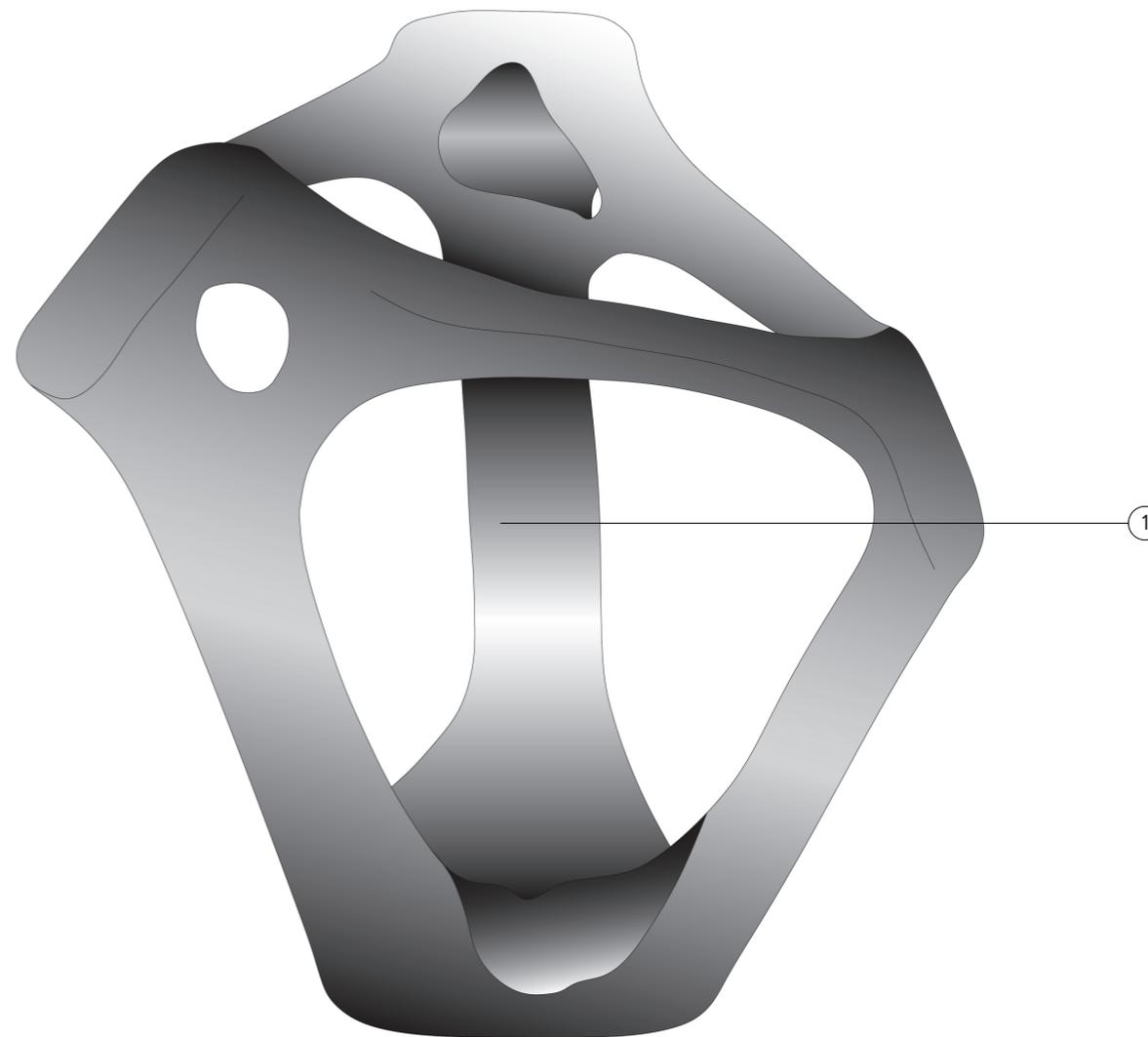
Efficace e durevole strutturalmente

Innovazione

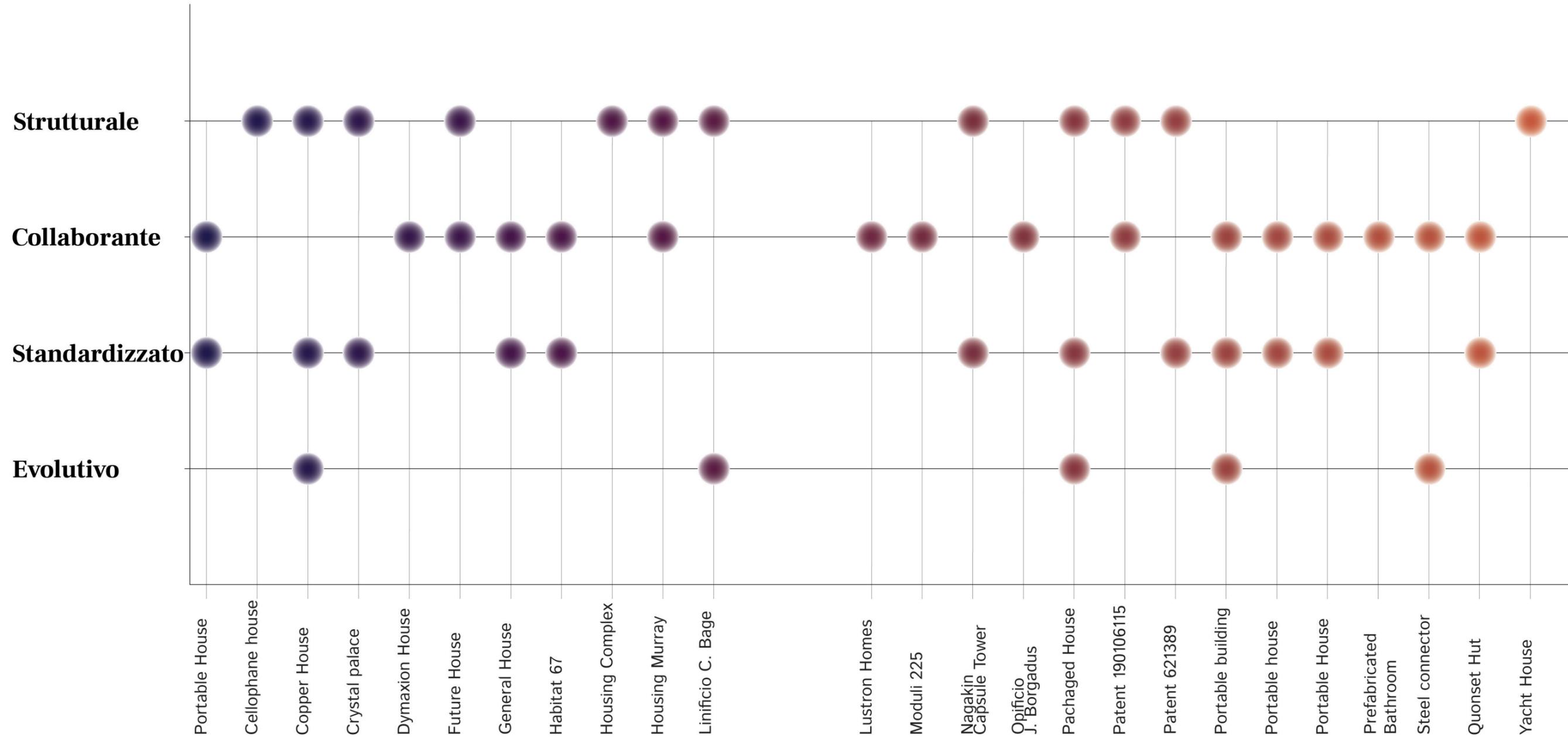
Rivisitazione dell'artigianato con stampanti 3D

Descrizione

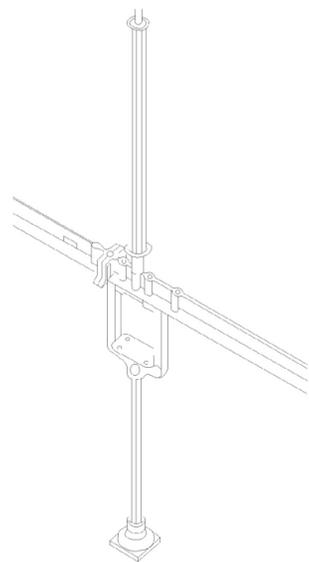
- ① Giunto stampato in acciaio inossidabile duplex per connettere tre travi inclinate ad una verticale.



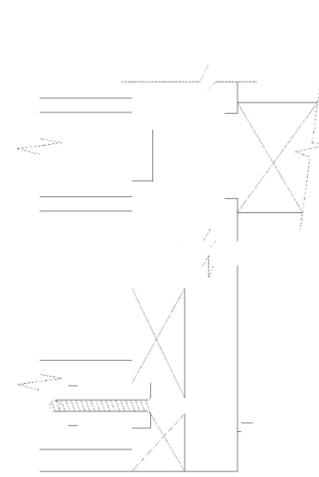
Matrice dei ruoli



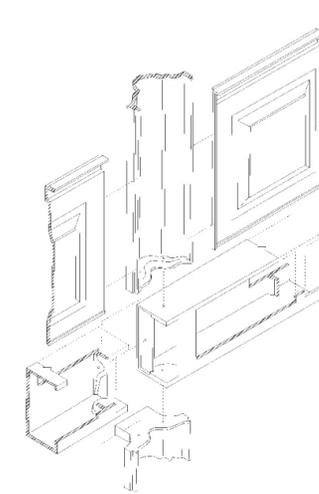
Fax Mill Maltings



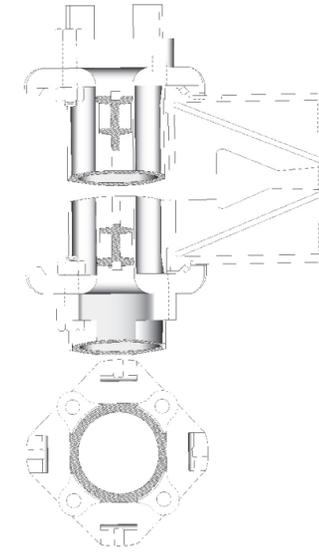
Portable Cottage



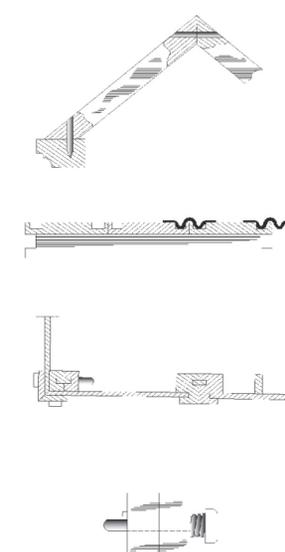
Opificio Centre



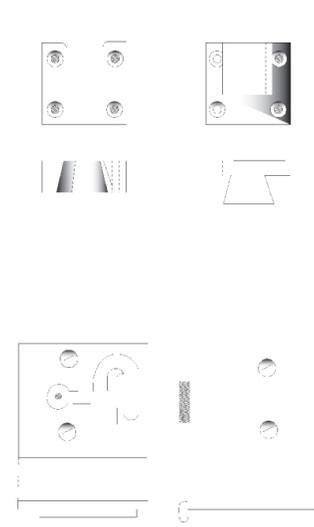
Crystal Palace



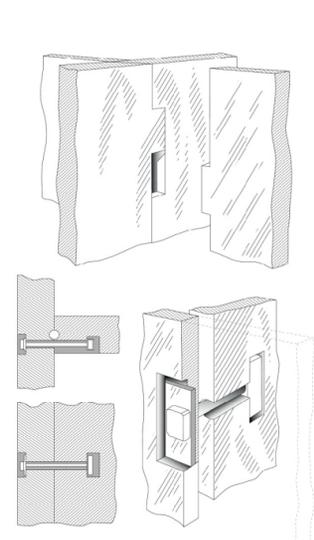
Patent US23969A



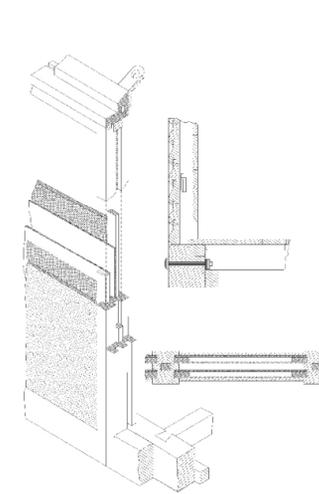
Patent 355441



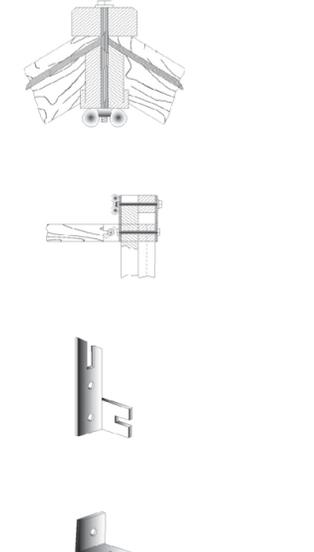
Patent 190106115



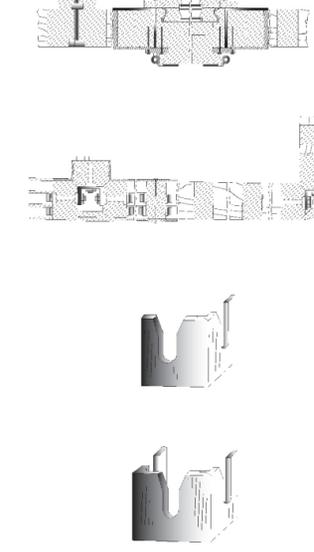
Portable House



Patent1487583



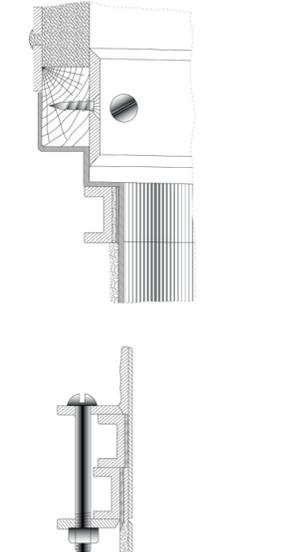
Copper House



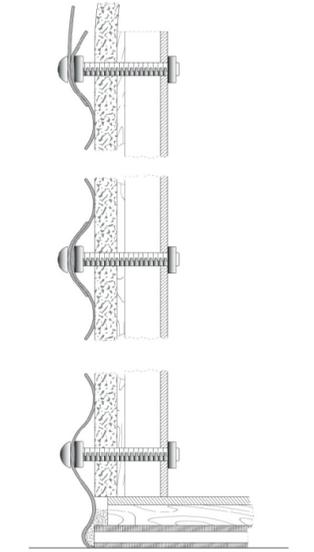
Patent 1969125



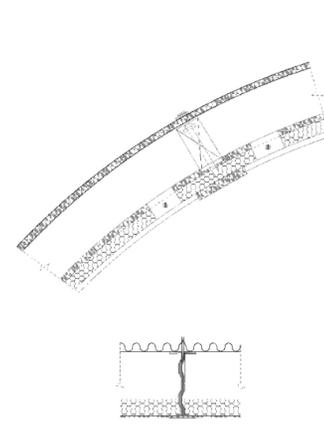
Prefabricated Bathroom



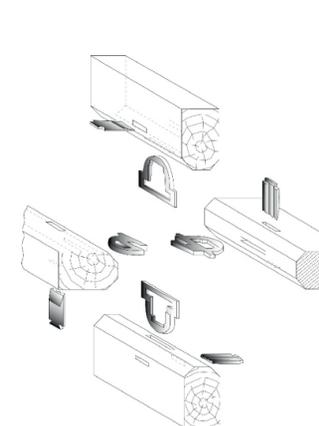
Dymaxion House



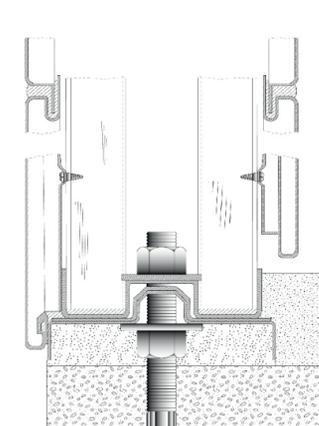
Quonset Hut



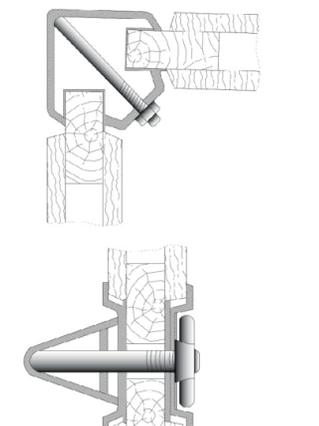
General Panel System



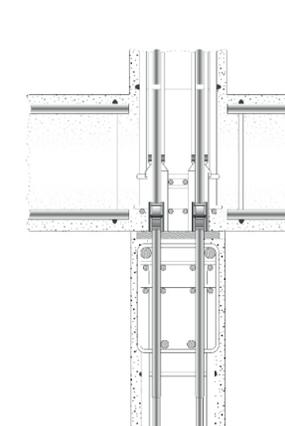
Lustron homes



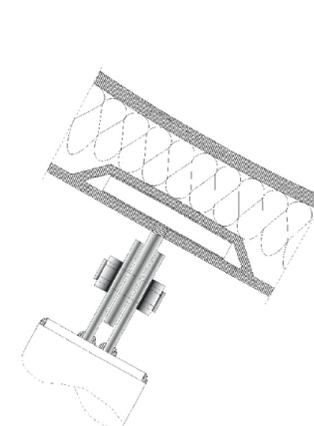
Patent - GB_621389



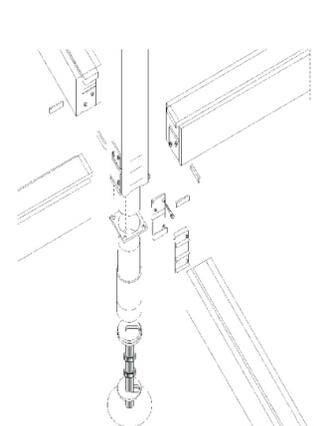
Habitat 67



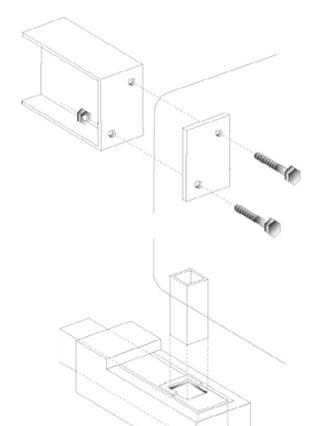
Futuro House



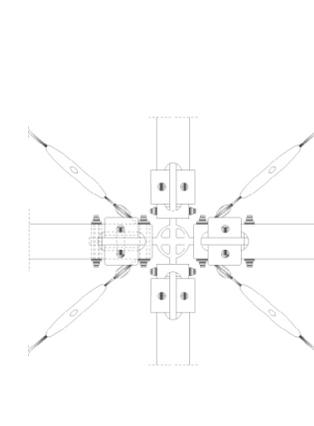
Moduli 225



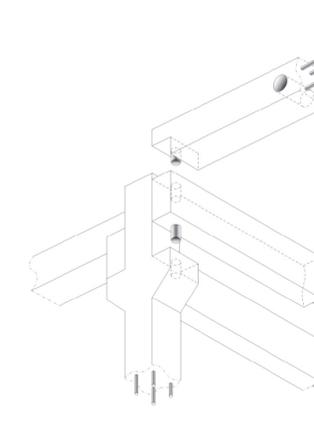
Nagakin Capsule Tower



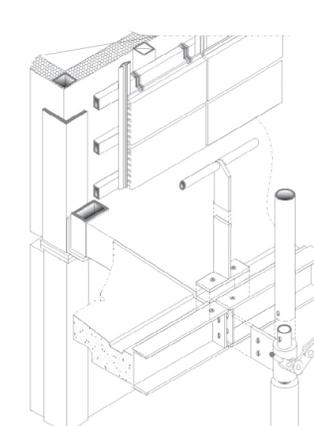
Yacht House



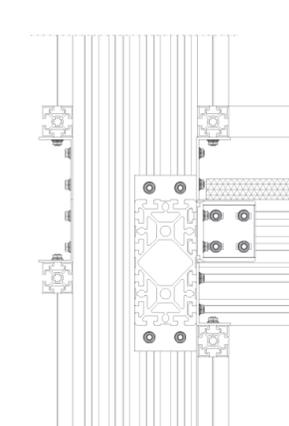
Housing Complex



Housing



Cellophane House



Steel connector



Abaco dei giunti

3# I motori dell'innovazione tecnologica

“Mentre il primitivo mondo meccanico poteva essere rappresentato dal gioco della dama, nel quale tutta una serie di movimenti simili è originata da pezzi identici, qualitativamente simili, il mondo nuovo dovrà essere raffigurato quel gioco degli scacchi, nel quale ogni ordine di pezzi ha un grado differente, differente valore, una differente funzione; un gioco più lento e più esatto”.

(Mumford, 1980)

L'assenza della rete di sostegno nello sviluppo della prefabbricazione

Nel precedente capitolo, sono stati analizzati gli edifici prefabbricati che a partire dalle colonizzazioni in territorio australiano, del Regno Unito, sono stati il mezzo cui l'uomo ha cercato di vivere ed espandersi in determinate situazioni e contesti storico-sociali-territoriali. La scelta di adottare questi processi di produzione nasce dalla ricerca di ridurre: i tempi di produzione e montaggio, i costi e la tipologia di elementi in modo da rendere accessibile il montaggio anche a chi non ne avesse le piene competenze. In un primo momento processo di produzione era determinato da una certa artigianalità e standardizzazione degli elementi della struttura e di connessione fra di essi. Successivamente si sono evoluti con l'avvento della Rivoluzione Industriale e l'introduzione del processo di produzione con la catena di montaggio di Henry Ford e le teorie di produzione di Chuck Taylor. I nuovi brevetti vantavano vantaggi notevoli nel processo, una maggiore standardizzazione degli elementi, il tutto governato da razionalità e misurabilità scientifica. La produzione industriale introduce, quindi, ulteriori vantaggi offrendo un grado elevato di controllo della catena, un incremento della sicurezza e riduzione degli errori grazie ad una suddivisione in differenti parti della lavorazione dei prodotti. Queste caratteristiche conferiscono quindi alla tecnologia industrializzata fascino e controllo che agli occhi degli architetti risultano

41. Caneparo L., *Fabbricazione digitale dell'architettura: il divenire della cultura tecnologica del progettare e del costruire*, Franco Angeli, Milano, 2012

elementi primari per la progettazione e produzione di edifici, ciò, viene testimoniata dalla numerosa quantità di brevetti e progetti che a partire dalla metà dell'800 sono stati realizzati. Nonostante le qualità sopra indicate, l'architettura prefabbricata non ha mai decollato e sostituito pienamente i processi tradizionali di fabbricazione/costruzione; pertanto, il maggior impiego è stato durante le costruzioni in periodo bellico e nella ricostruzione successiva alle due Guerre Mondiali. Questo insuccesso è stato determinato principalmente da tre fattori:

- Il mancato convincimento e conquista del cliente finale. La prefabbricazione risulta poco appetibile e personalizzabile agli occhi del futuro fruitore, perché, la maggior parte delle volte i brevetti sono stati realizzati prima di suscitare un evidente interesse di mercato e ci conseguenza non "su misura" e poco personalizzabili. Inoltre la produzione di massa contrasta fortemente la cultura dell'epoca, che considera la casa non solo come un riparo ma come un valore affettivo, come disse Heidegger: "L'antica parola altotedesca per bauen, costruire, è "baun", e significa abitare. Che vuol dire: rimanere, trattenersi (...). Là dove la parola abitare parla ancora in modo originario, essa dice fin dove arriva l'essenza dell'abitare (...). Il modo in cui (...) noi uomini siamo sulla Terra, è il Baun, l'abitare"⁴¹.
- Un mancato impegno olistico. In molte

aziende venne meno un approccio totale nella fase di studio e progettazione della produzione, che, a differenza di alcuni casi successo, non influenzarono in maniera completa l'industria delle case mobili con una rete totale di produzione-distribuzione-sviluppo in sincronia con il contesto normativo e di supporto. Queste aziende dedicarono in maniera negativa le idee e energie solo in determinati settori della produzione, come ad esempio, l'ambito tecnologico o quello di produzione lasciando defilati gli altri sottosistemi e generando uno squilibrio nel processo di produzione con conseguente fallimento. Questa situazione è facilmente comprensibile con i due diagrammi di Bernhardt che incrociati rendono leggibile la differenza tra il "modello di successo" e il "modello di fallimento"⁴².

- La difficoltà di avviare un impianto di produzione. Produrre edifici prefabbricati richiede un grande investimento iniziale da parte di un investitore col rischio di non avere successo. Questo comporta, di conseguenza, una minore offerta di prodotti sul mercato e il disinteresse comune, definendo una tautologia. Inoltre, la carenza di un mercato affermato, porta ad un aumento dei prezzi di produzione con il conseguente decadimento di uno dei principi della produzione industriale, ovvero i costi contenuti.

La situazione si è voluta grazie all'introduzione di nuovi metodi di produzione,

42. Gilbert Herbert, *The dream of the factory-made house*, Walter Gropius and Konrad Wachsmann, The Massachusetts Institute of Technology, 1984

l'innovazione tecnologica e software che permettono con una maggiore facilità di avvio dell'attività senza un'ingente spesa iniziale.

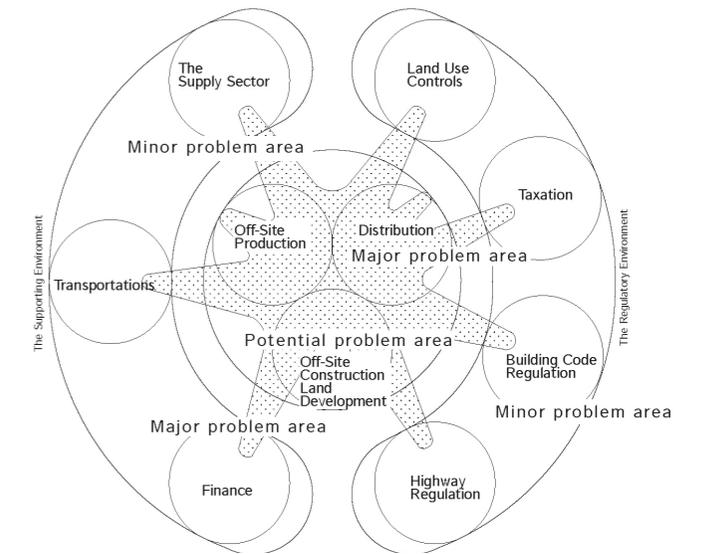


Diagramma di Bernhardt, ridisegno a cura di Andrea Zegna

**Un nuovo approccio alla lavorazione-produzione:
DfMA**

La necessità di un impegno su più fronti da parte delle industrie ha portato all'unione di diversi processi di produzione, al fine di render più performante l'industria delle case prefabbricate. Questo è reso possibile grazie al metodo DfMA, letteralmente, Design for Manufacturing and Assembly.

È un approccio alla progettazione e produzione di prodotti industriali, sviluppatosi recentemente, che ha permesso, e permette tuttora, alle industrie del settore dell'edilizia prefabbricata di avere successo e migliorarsi rispetto i tentativi del secolo precedente. Questo metodo di produzione nasce dall'unione di due approcci preesistenti: il Design for Manufacture, volto a facilitare e potenziare la produzione industriale di elementi, e il Design for Assembly che permette una maggiore facilità di montaggio o messa in opera degli elementi.⁴³

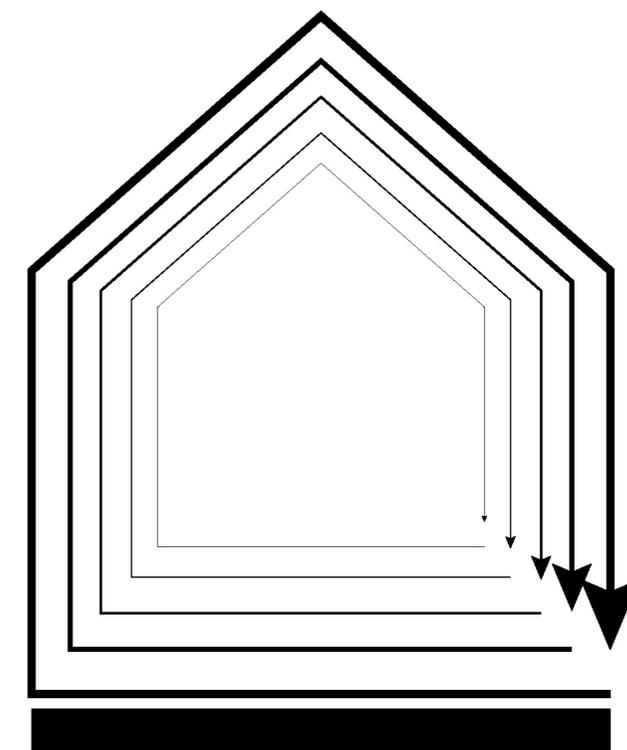
Questo metodo può esser dunque applicato anche alla progettazione e produzione di edifici cercando di mantenere libertà formale e di assemblaggio degli elementi, permettendo, quindi, all'utente finale di poter personalizzare la propria abitazione e non doversi adeguare agli stereotipi di mercato.

L'approccio DfMA si ispira ai più comuni sistemi di produzione come ad esempio quello automobilistico o di arredo interno come potrebbe esser il sistema Ikea; in particolare, lo studio, prevede di partire da una riduzione

dei materiali di costruzione e la loro successiva lavorazione attraverso macchinari e diversi team specializzati. Riducendo il numero di elementi che costituiscono l'oggetto finale permette di avere un maggior controllo delle lavorazioni, una riduzione degli errori e del tempo di lavorazione comportando una successiva facilità di messa in opera delle parti andando a costruire dei componenti sub-assemblati che porteranno al risultato finale assemblato. Essendo necessario ottenere un edificio che sia personalizzabile, è molto facile riducendo i numeri di elementi cercare una inter-compatibilità tra di essi e nella successiva aggregazioni di componenti sub-assemblati, garantendo una certa libertà di aggregazione e soddisfazione dell'utente finale. Questa facilità di suddividere in componenti intercambiabili e di conseguenza facilmente sostituibili si adatta a pieno alla filosofia della costruzione degli edifici per layers; la teoria chiamata "Sharing Layers"⁴⁴ è nata grazie agli studi e le ipotesi del duetto Frank Duffy e Stewart Brand, vede un edificio non come un'entità unica ma come questo sia composto da diversi strati che hanno longevità e durabilità distinte, progettando così un edificio in relazione all'ispezionabilità e manutenzione futura.

Questa visione dell'edificio richiede una progettazione sotto diversi aspetti e tempistiche da parte sia dell'architetto che dell'industria

stessa. In primis bisogna "progettare per la produzione", ovvero basarsi sul triangolo 'tempi-costi-qualità' che rendono più incisiva la progettazione prefabbricata sul mercato rispetto le metodologie costruttive tradizionali. Inoltre, vi è la necessità di "progettare per l'assemblaggio", producendo componenti "plug and play" e organizzando diversi team che possono cooperare o suddividere le azioni di montaggio in maniera parallela e non utilizzando un processo lineare e frammentario di assemblaggio⁴⁵. Come prevede la teoria del Shearing Layers la progettazione deve esser efficace in vista della futura "manutenzione", considerando la vita nominale di ogni livello dell'edificio e la possibile sostituzione di tale; infine, approdando ai criteri di economia circolare e di riutilizzo delle strutture prefabbricate in vista di un ipotetico cambio di destinazione d'uso o di ricollocazione in un secondo luogo, mantenendo il maggior numero di componenti originali è bene "progettare per lo smontaggio".



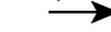
Arredi



Pianta



Impianti



Struttura



Finitura



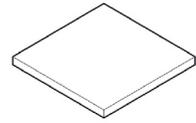
Produzione a cura di Andrea Zegna

43. Tandfonline, 2019

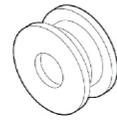
44. Brand. S., How Buildings Learn, Pressa vichinga, 1994

45. Open system lab " The DfMA housing manual"

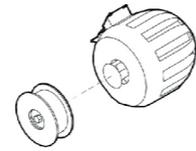
#Produzione automobilistica



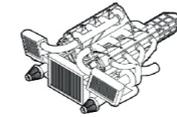
Materiale



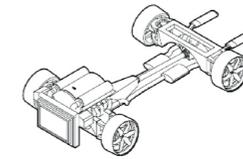
Parte



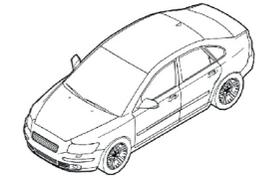
Sub-Assemblaggio



Assemblaggio

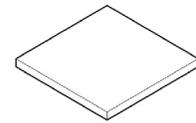


Sistema

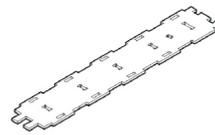


Prodotto

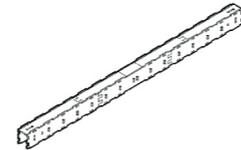
#Produzione Off-Site



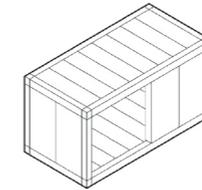
Materiale



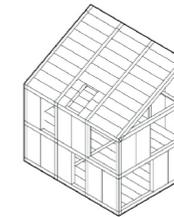
Parte



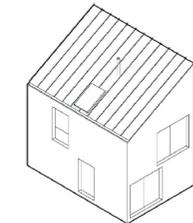
Sub-Assemblaggio



Assemblaggio



Sistema



Prodotto

Principi di progettazione DfMA

Molte industrie produttrici case prefabbricate hanno aderito al metodo di produzione DfMA ottenendo miglior risultati nella catena di progettazione e produzione. Per fare ciò, devono attenersi ad alcune linee guida e metodologie per rendere più efficace ed efficiente l'approccio in questione; di seguito sono elencati gli espedienti:

Progettare per abbassare le soglie di tempo, costi, rischi e spese generali della produzione, riducendo così le spese generali dell'industria e del trasporto rendendo più efficiente il ritorno economico; ciò potrebbe essere attuato grazie alla produzione di elementi più semplici riducendo così i costi e la fatica di movimentazione.

Trasformare conoscenze e competenze in un processo, ciò determina il grande passo evolutivo dalla produzione artigianale a quella industriale, ovvero, le conoscenze del singolo (ad es. un falegname) vengono riprodotte grazie a software e macchine a controllo numerico che possono riprodurre il processo e la lavorazione con maggiore precisione n. volte.

Utilizzare il minor numero possibile di materiali e componenti unici ricercando una

maggiore interoperabilità tra i componenti stessi e i mezzi di unione applicabili in diversi punti per unire differenti elementi; inoltre la riduzione di materiali riduce il numero di lavorazioni e la ricerca di materie prime.

Usare il minor numero possibile di tecniche prevedendo che per ogni fase di assemblaggio e sub-assemblaggio si necessita di una squadra di operai, questi devono poter apprendere facilmente le tecniche e potersi scambiare nelle lavorazioni; si può mirare a ciò migliorando e ottimizzando i sistemi di connessione fra gli elementi.

Utilizzare processi a secco, perchè le parti bagnate o umide sono difficili da legare o incastrare come i sistemi a secco, che possono essere imbullonati, avvitati o incastrati e sigillati; fanno eccezione le vernici e le schiume/malte di riempimento e isolamento dei giunti.

Precisione di serie garantita dalle lavorazioni odierne grazie alla robotica e macchine a controllo numerico; maggiore la precisione (solitamente si utilizza una tolleranza di $1\pm$ mm) più facile risulterà il montaggio senza lavorazioni e tagli secondari; inoltre, al fine di individuare meglio i punti di connessione si potrebbero evidenziare delle maschere in tali punti degli elementi.

Tolleranza di progettazione testando metodi e componenti in grado di assorbire piccole variazioni di dimensioni, che potrebbero essere il risultato di varianza del materiale, espansione o contrazione dovuta a temperatura e umidità, o fattori esterni come vento o subsidenza. Ciò potrebbe essere raggiunto predisponendo elementi ad una successiva modifica o producendone con una dimensione "diversa" in termini di micron o millimetri in relazione alla tipologia di materiale.

Etichettatura degli elementi rendendo più veloce il riconoscimento degli elementi senza dover consultare più volte i disegni progettuali, facilmente attuale creando una nomenclatura e classificazione con codici o nomi standard per ogni sezione e parte.

'Poka Yoke', che letteralmente significa "a prova di errore" consiste nella progettazione di elementi che possono essere uniti solo se disposti nella maniera corretta ed impossibile nel verso sbagliato; per facilitare questo processo è bene produrre elementi che siano simmetrici nella loro completezza e nel sistema di connessione.

Progettare con "canarini", ovvero con elementi che segnalano anomalie o errori nel processo di produzione come il build-in, se un elemento è dentro o fuori determina

in automatico la correttezza (o non) della connessione.

Dipendenze di progettazione, consiste nell'evitare ogni lavorazione che richiede competenze e tecniche specifiche che possano interrompere la catena di produzione o lavorazioni che potrebbero dilatare i tempi, come ad esempio l'inserimento di impianti o la produzione di fondazioni. Il problema può essere facilmente arginato procedendo con una progettazione e costruzione per layers in modo che tutti i sistemi siano integrati e prodotti senza ostacolarsi; inoltre anche la gestione del cantiere e della fase di montaggio può aiutare: se consideriamo che gli elementi possono essere preassemblati in azienda e uniti senza ponteggi in cantiere ciò riduce ulteriormente i tempi.

Componenti interoperabili tra di loro rende i sistemi il più possibile indipendenti dal prodotto, in modo da poter cambiare un prodotto con uno alternativo o concorrente, se necessario; queste è il caso delle fondazioni che in virtù delle caratteristiche del sito possono richiedere variazioni della tecnologia.

Ordinare tutte le parti in anticipo o just-in-time in modo da ridurre i tempi di montaggio e non creare periodi morti, grazie a questo l'edificio in fase di assemblaggio

risulterà subito più compatto e sicuro anche in termini di resistenza alle intemperie senza subire danni.

Progettare i pericoli per prevenire gli infortuni sul lavoro o la possibilità di arrecare danni alle strutture, cose o persone. Questo può essere facilmente arginato producendo dei componenti failsafe e ausili di sicurezza, un esempio potrebbero essere delle indicazioni su ogni elemento circa il loro peso o caratteristiche che potrebbero procurare situazioni di pericolosità o, ancora, cercare di evitare strutture sospese e/o macchinari pesanti.

'Kaizen' dal giapponese KAI e ZEN significa letteralmente "miglioramento continuo". Questo obiettivo può essere raggiunto grazie al contributo di ogni individuo che partecipa alla catena di produzione progettazione attraverso il processo DfMA.

Progettare per un'economia circolare utilizzando materiale e componenti che possono essere recuperati in seguito allo smontaggio, sia per essere riutilizzati o rilavorati oppure per diventare fonte di energia attraverso processi di combustione, o simili, senza arrecare danno all'ambiente con emissioni tossiche; questa pratica può essere facilitata se sui componenti inseriamo dei marchi o etichette

che ci permettono di riconoscerne le caratteristiche in futuro.

Design per la nuova normalità appagando il cliente finale, ricercando un dialogo con il contesto e la cultura-storia in cui si inserisce il nuovo edificio; questo deve essere permesso da una spiccata personalizzazione delle finiture e delle forme senza creare dei vincoli che porterebbero ad un fallimento nel mercato della casa prefabbricata.

Creare un 'menu' di personalizzazione che non sia limitante o illimitato da mettere in difficoltà il cliente; seguendo la suddivisione dell'edificio per strati, qui si può attuare lo stesso criterio e suddividere le finiture e gli arredi in base alle fasce di prezzo o al materiale in modo da fornire un catalogo trasparente e che renda facile la lettura delle eventuali spese.

Ottenere più feedback possibili sia durante la fase di progettazione e costruzione misurando le prestazioni degli elementi, le tempistiche e le difficoltà di chi opera e chi controlla le macchine per le lavorazioni; inoltre è bene cercare di ottenere informazioni dell'edificio anche nella fase di vita nominale al fine di valutare modifiche future e le prestazioni su lungo periodo. Dove possibile,

potrebbe essere una soluzione applicare sensori che diano valori misurabile del comportamento delle strutture.

Assumere assemblatori, non costruttori al fine di migliorare i tempi e la qualità del risultato finale. Questo fattore potrebbe essere dispendioso per le aziende sia dal punto di vista economico che culturale perché spesso ci si basa ancora sulle tecnologie tradizionali e di conseguenza su lavorazioni totalmente differenti e tradizionali; le competenze richieste, in questo caso, sono vicine ad un assemblaggio rapido, una competenza in salute e sicurezza e facilità di adattarsi a diverse tipologie di lavorazione/costruzione.

La tecnologia: i componenti e la rete di sostegno

Nel capitolo iniziale si è compreso come la produzione industriale abbia portato con sé l'evoluzione, con le dovute fatiche, dei giunti e dei sistemi costruttivi nel loro primo secolo di applicazione. In questo secondo capitolo si stanno illustrando quali siano i punti che hanno subito notevoli modifiche come l'approccio industriale illustrato precedentemente. È emerso che all'interno dei nuovi processi di produzione ha un ruolo sempre maggiore la macchina, la tecnologia ma anche il sistema di regole e di competenze umane che ne regolano il funzionamento. La tecnologia e l'innovazione tecnologica, infatti, hanno permesso tentativi, brevetti e progetti di far evolvere la storia dell'architettura prefabbricata e, tutt'ora, sono i motori dell'evoluzione delle tecniche e dei sistemi costruttivi per le strutture prefabbricate. Come è noto, non sempre la tecnologia è stata al passo con i tempi non potendo quindi sostenere brevetti che risultavano avanti rispetto alle conoscenze in cui sono stati ideati; il caso più eclatante è di certo quello del "General Panel System", che portò K. Wachsmann non solo a progettare un sistema costruttivo ma anche a sviluppare un nuovo processo di produzione e dettare delle linee guida per la catena di produzione per i pannelli delle proprie strutture, ma rimanendo ancorato, in ogni caso, perché privo di uno degli elementi che sostengono lo sviluppo tecnologico. Questo è il chiaro

46. Gianluca Bocchi e Mauro Ceruti, *La sfida della complessità*, Feltrinelli, Milano, 1992

esempio che al meglio esplica come già negli anni 40/50 l'interazione tra uomo e tecnologia era assai fondamentale per l'innovazione e il progresso di questo ramo dell'edilizia.

In effetti, se consideriamo la forte interazione tra uomo e tecnologia che è cresciuta a partire dalla Seconda Rivoluzione Industriale fino a far nascere un vero e proprio rapporto simbiotico, da cui l'uomo non potrà più farne a meno, ciò determina l'utilizzo di "una tecnologia superiore"⁴⁶, così viene definita da Milan Zeleny. Per rendere ottimale questa tecnologia non basta comprendere cosa essa sia, ma esser consapevoli che il rapporto tra "macchina" e "uomo" risulta inevitabile e può portare giovamento ad entrambi; la simbiotica, dunque, si pone di comprendere quel legame che si è creato tra le due entità, l'elemento di giunzione e la gestione che si sta costruendo attorno a questa nuova tecnologia a partire dalla nascita della società industriale e che ora sta approdando allo stadio di società simbiotica. Ponendoci in questa visione del contesto storico-culturale attraverso il quale avviene l'innovazione, riusciamo a definire e comprendere al meglio che cosa sia la tecnologia stessa. Se consideriamo questa stretta relazione tra uomo e macchina, non solo come una relazione meccanica e fisica, ma come una vera relazione di simbiosi, ci permette di affermare che ciò che determina il funzionamento di questa relazione non

sono né l'hardware, né il software e neppure il brainware, ma bensì, la stretta relazione tra queste tre componenti che determinano la gestione di questa relazione e le componenti della tecnologia. Queste componenti relazionate permettono alla tecnologia di esprimersi in maniera efficace; si sottolinea che, ognuna di queste tre, se presa singolarmente non può determinare una tecnologia in autonomia, ma bensì è necessaria una stretta collaborazione. Definiti i tre generatori⁴⁷ si potrà quindi approfondire la loro relazione e i fattori esterni che contribuiscono, ed in parte regolano, questo rapporto.

Hardware: l'apparato fisico-logico di una determinata tecnologia (gli attrezzi e congegni meccanici); i mezzi per svolgere i propri compiti in direzione degli obiettivi. L'hardware non si riferisce soltanto a una struttura fisica specifica delle componenti, ma anche alla loro organizzazione logica generale.

Software: l'insieme di regole, di linee di condotta e di tecniche necessarie per l'utilizzazione dell'hardware (programmi, algoritmi, regola di uso e di comportamento); il modo in cui svolgere i propri compiti e raggiungere gli obiettivi servendosi di un determinato hardware.

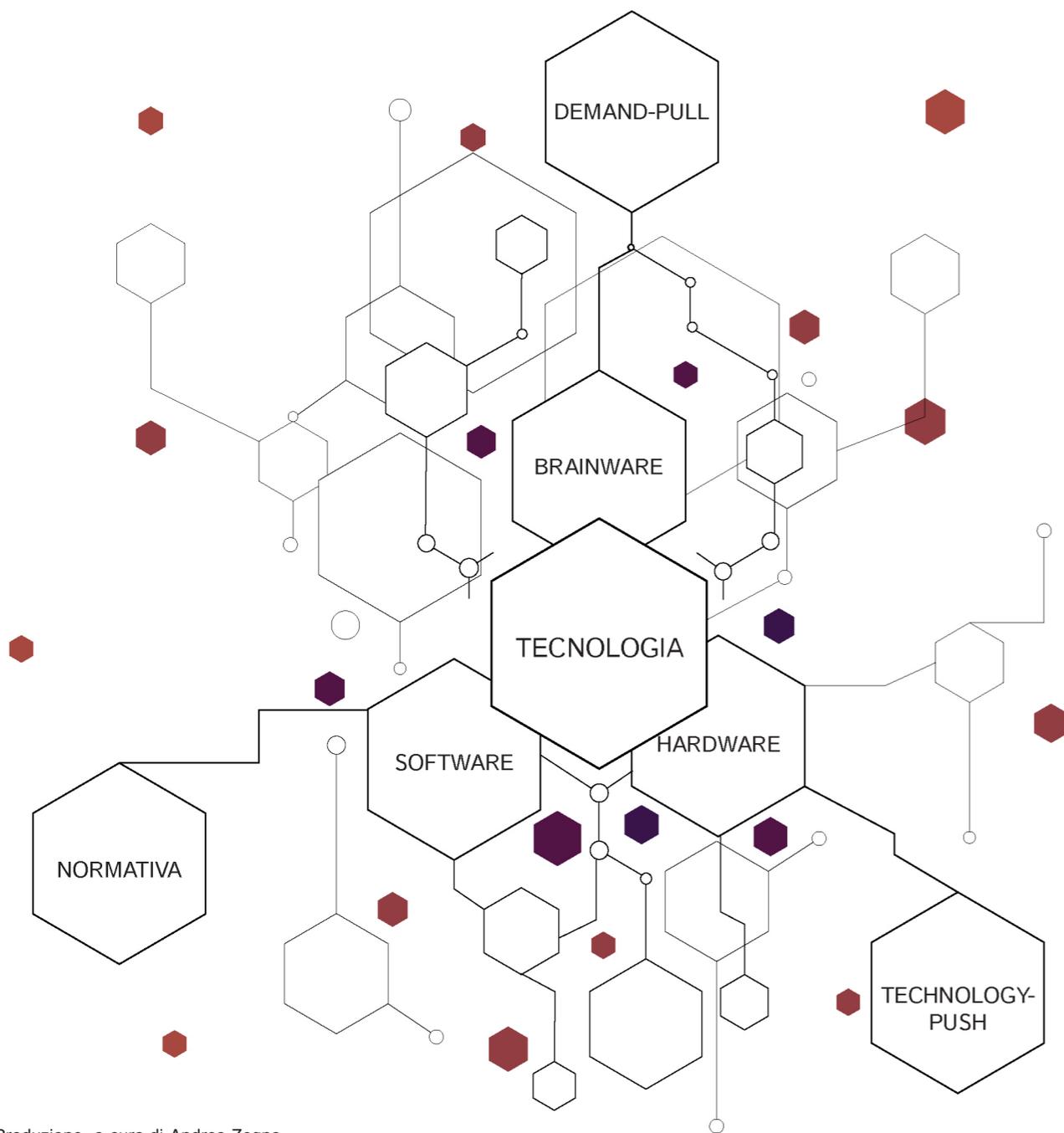
Brainware (knoware): gli scopi, le applicazioni

47. Gianluca Bocchi e Mauro Ceruti, *La sfida della complessità*, Feltrinelli, Milano, 1992

e le giustificazioni dell'uso dell'hardware e del software. Che cosa usare per svolgere i propri compiti, e come, quando, dove? Quali compiti scegliere, e perché?

Per darne un esempio, se consideriamo il giunto nell'architettura e la sua performance all'interno di un sistema costruttivo, l'hardware risulteranno i macchinari che ci permettono di lavorare il materiale (nel caso di un giunto in legno useremo della macchina CNC), i software saranno utilizzati per dare degli input a questi macchinari al fine di effettuare delle lavorazioni precise sul materiale vergine (una successione di lavorazioni ed impiego di utensili per ottenere il giunto più preciso possibile), studiate grazie ad una logica di ordine delle lavorazioni per mantenere il materiale il più performante possibile e che non perda le sue caratteristiche fisico-meccaniche.

La relazione tra queste tre componenti è di tipo circolare, e non gerarchico, poiché una influenza l'altra e soprattutto chi utilizza la tecnologia non può effettuare delle preferenze di utilizzo di una piuttosto che dell'altra; nei casi in cui fosse applicato questo errato utilizzo, per la natura circolare dell'organizzazione, in maniera del tutto naturale, a fine del processo si auto-ristabilisce una parità ed equilibrio fra le parti. La tecnologia, e la sua struttura, si inserisce all'interno di un sistema che è disegnato da regole economico fisiche, con basi socio culturali ed informazioni che danno input e sostengono la struttura; questa fitta rete può essere definita come la rete



di sostegno⁴⁸ dell'hardware, del brainware e del software.

Questa rete di sostegno è molte volte relativa a diversi contesti storico-politici poiché dipende da normative, amministrazioni e situazioni che caratterizzano un determinato periodo, oppure da accordi, necessità e patti di lavoro che determinano approcci e necessità differenti. I flussi di informazioni, saperi, materiali si connettono in maniera simbiotica con le tre componenti della tecnologia e ne permettono lo svilupparsi e il corretto funzionamento; è fondamentale ricordare che senza una rete di sostegno una tecnologia non può svilupparsi, le due entità non possono separarsi perché ciò porterebbe ad uno dei principali problemi di gestione e mal funzionamento del management; questi casi sono determinati quindi una tecnologia sorretta da una rete di sostegno sbagliata o una mancanza di essa.

L'infrastruttura che sostiene la tecnologia è costituita da tre componenti: Demand-Pull, Technology-Push e Normativa⁴⁹. Questi tre fattori permettono alla tecnologia di svilupparsi e di determinare l'innovazione tecnologica qualora si sviluppassero nuove conoscenze, processi e competenze che influenzano la rete di sostegno e ne favoriscono il progresso o il mantenimento.

Demand-Pull, sinonimo di need-pull,

48. Gianluca Bocchi e Mauro Ceruti, *La sfida della complessità*, Feltrinelli, Milano, 1992

49. Massimo Perricoli, *L'officina del pensiero tecnologico*, Alinea Editrice, Firenze, 2010

rappresenta la domanda del mercato e/o degli ipotetici utenti finali, nonché i committenti, che nell'ambito del campo dell'edilizia saranno coloro che fruiranno dell'architettura e di conseguenza portano a definire lo scopo della tecnologia. Le diverse richieste di mercato sono sempre state segnate dal contesto storico-culturale, come evidenziato nel primo capitolo, ad esempio, i primi coloni inglesi scelsero una determinata tecnologia in maniera tale che fosse facile da trasportare e costruire in nuove terre, oppure, nei dopo guerra per le ricostruzioni dovute alla distruzione degli eventi, il mercato portò alla scelta di materiali e tecnologie che permettessero una facile e veloce ricostruzione sfruttando le materie prime con il maggior rapporto qualità-quantità-costi. Dalla domanda "quantitativa" si è passati ad una maggiore richiesta di prestazioni in termini di performance termica dell'edificio, formale e impiantistica, determinando una domanda "qualitativa", fino ai più recenti sviluppi dove la sensibilità ambientale determina una domanda "sostenibile" promossa da una ricerca della riduzione delle emissioni di CO₂, una propensione ad utilizzare materiali naturali e processi che salvaguardano l'ambiente.

Technology-Push, o anche research push, è quel fattore che determina gli strumenti, tecniche e mezzi per l'innovazione tecnologica;

questo viene a determinarsi in stretta relazione con la domanda di mercato e si caratterizza con sperimentazioni e brevetti. La ricerca tecnologica, nel campo dell'architettura, è sempre stata influenzata da altri settori produttivi industriali, basti citare ad esempio l'utilizzo dell'acciaio nella struttura del Crystal Palace che deriva dalle sperimentazioni in ambito stradale e infrastrutturale, oppure, nel periodo della Seconda Guerra Mondiale i settori automobilistico e dell'aeronautica hanno influenzato con le loro tecnologie e catene di produzione. Nel settore edilizio, le tecnologie di produzione, spesso sono state arretrate rispetto alle idee di progettazione, determinando in alcuni casi il fallimento di brevetti e progetti, o la necessità di adattare sistemi di produzioni di altri settori.

Normativa, terza componente che permette lo sviluppo della tecnologia, ha il compito di normare e regolare i campi di applicazione di una determinata tecnologia, definendo parametri e caratteristiche da rispettare al fine che questa possa inserirsi all'interno del mercato e non rimanere un'idea progettuale inespressa. Le norme possono variare in relazione al contesto geografico, al materiale in oggetto e sono variate nei diversi periodi storici, spesso volte ad incentivare e facilitare determinate tecnologie costruttive. Se per esempio, analizzassimo il contesto italiano

50. Caneparo L., Fabbricazione digitale dell'architettura: il divenire della cultura tecnologica del progettare e del costruire, Franco Angeli, Milano, 2012

potremmo notare come siano stati diversi gli enti che sono nati e che si occupano di promuovere, normare la prefabbricazione e l'innovazione tecnologica, di seguito riportati⁵⁰:

- 1928 Ente Nazionale di Unificazione
- 1957 Centro per la ricerca applicata ai problemi dell'edilizia
- 1957 Associazione italiana prefabbricazione per l'edilizia industrializzata
- 1964 Associazione italiana per la promozione delle ricerche e degli studi in edilizia
- 1974 Collegio dei Tecnici dell'Industrializzazione Edilizia

4# Giunti nella contemporaneità

“La casa deve esser concepita come un’entità biologica: per la sua realizzazione deve esser consumata la minor quantità possibile di energia”.

(Imperadori, 1998)

La domanda sostenibile e il ritorno del legno

A partire dagli anni 90, la concezione dell'architettura venne fortemente influenzata dallo sviluppo sostenibile che determinò la domanda che tutt'ora occupa la scena tecnologica: quella sostenibile.

Una prima definizione di sostenibilità, in ambito architettonico, è all'interno del Rapporto di Brundtland del 1987, dove viene definita come il "soddisfare i bisogni del presente senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni"⁵¹. All'interno di questa definizione, appare subito evidente, come il concetto di sostenibilità non comprenda solamente la sfera strettamente legata all'architettura come struttura e materia, ma comprende anche quella rete che ne determina le componenti e gli sviluppi quali l'economia, la società e la cultura.

Il mondo intero a partire dai primi anni 90 si è trovato a dover fronteggiare una crescita demografica che ha portato un incremento dei consumi di energia di oltre il 26%, il cui 39% è determinato dal consumo energetico degli edifici. Risulta quindi evidente che vi sia la necessità di fronteggiare questi dati con un cambiamento al fine di soddisfare sia la domanda quantitativa, producendo nuovi edifici, che quella sostenibile, cambiando i metodi di produzione e agendo, in parte, sul patrimonio esistente.

A risposta di queste domande, l'architettura Off-Site può essere un mezzo che permetta di

progettare e produrre in maniera sostenibile, poiché garantisce minori sprechi di materiali, maggiore facilità di lavorazione e sicurezza, solo per ricordare alcuni dei punti che negli anni si sono consolidati nella produzione industriale, generando, in primis, maggiori guadagni per i produttori e progettisti e minori spese per gli acquirenti. Per quanto riguarda il soddisfacimento dei requisiti sociali, il beneficio è riscontrabile nel lavoro: i processi controllati, l'ausilio di macchinari e le diverse competenze che un operaio acquisisce all'interno dei processi di produzione garantiscono una maggiore sicurezza in stabilimento; successivamente, nelle fasi di montaggio in sito, grazie ai sistemi di connessione appositi e standardizzati, le attività si riducono insieme ai rischi. I benefici, in termini ambientali, ottenuti attraverso la prefabbricazione, sono perseguibili attraverso il controllo dei materiali e relative emissioni/consumi di energia, non solo nella fase di progettazione, ma durante il ciclo di vita dell'edificio e il suo successivo riuso. Il fattore temporale risulta quindi centrale nella costruzione di un'architettura sostenibile; in particolare, è bene considerare l'edificio per strati e la diverse durate di vita di ogni strato dell'edificio, come esplicitato in uno dei principi della produzione DfMA nel capitolo precedente "*Un nuovo approccio alla lavorazione-produzione: DfMA*". In particolare, la prefabbricazione, si pone nella posizione di

non garantire una grande longevità all'edificio, ma piuttosto di curare e garantire un maggiore controllo dei tempi di vita, di montaggio e smontaggio e successivo riutilizzo dei materiali con una riduzione degli sprechi, delle emissioni e un maggiore guadagno in termini di costi e ambientale. La variabilità in termini temporali sia della struttura che della fruizione stessa deve portare la progettazione a suddividersi in più livelli e includere strategie per lo smontaggio, il riutilizzo, la temporalità e il cambiamento.

Il controllo del ciclo di vita dell'edificio, come accennato, porta a ridurre il consumo di energia; in particolare, se consideriamo i consumi, possiamo suddividerli in due macro-momenti:

- La fase di costruzione: consumi generati dall'energia necessaria al fine di produrre nuove strutture o che viene immagazzinata dai materiali
- Fase di vita: consumi generati dalla manutenzione e per permettere il funzionamento dell'edificio stesso.

Nel dettaglio, il National Institute of Building Science (NIBS) dichiara che gli edifici consumano dal 90 al 95% dell'energia totale durante il ciclo di vita degli stessi⁵². L'architettura Off-Site è performante sotto entrambi i punti di vista, poiché, permette principalmente un maggiore controllo durante la costruzione, garantendo un minore uso di materiali e una maggiore facilità di messa in opera grazie a

sistemi progettati ad hoc per giuntare e assemblare le strutture; d'altra parte, permette una gestione della qualità dei materiali e dell'energia che questi possono contenere, sfruttabile in un processo di riuso e ricollocazione successiva.

Questo concetto venne ripreso nel rapporto dell'AIA "External Issues and Trends Affecting Architects, Architectural Firms, and the AIA" del 2008 dove la prefabbricazione viene presentata con: "L'aspettativa del ciclo di vita della costruzione modulare è la stessa di quella convenzionale, e in un mondo in cui la sostenibilità sta guadagnando slancio ogni giorno, ci sono anche diversi principi di base intrinseci al processo di costruzione modulare che lo rendono più ecologico della costruzione convenzionale. Spendono significativamente meno tempo in loco, risultato di un ciclo di costruzione abbreviato (il risultato delle attività simultanee di sviluppo in loco della costruzione di edifici fuori sede), in particolare riduce al minimo l'impatto complessivo sul sito. Infine, i metodi e i materiali di costruzione modulari permettono di "decostruire" più facilmente un edificio e di spostarlo in un altro luogo in caso di necessità, quindi il riutilizzo o il riciclaggio completo dell'edificio è parte integrante della tecnologia di progettazione"⁵³.

Attualmente i materiali e sistemi costruttivi di cui l'architettura dispone sono numerosi

51. Smith R. E., Prefab Architecture: A Guide to Modular Design, John Wiley & Sons Inc, 2010

52. Ibidem 51

53. Ibidem 51

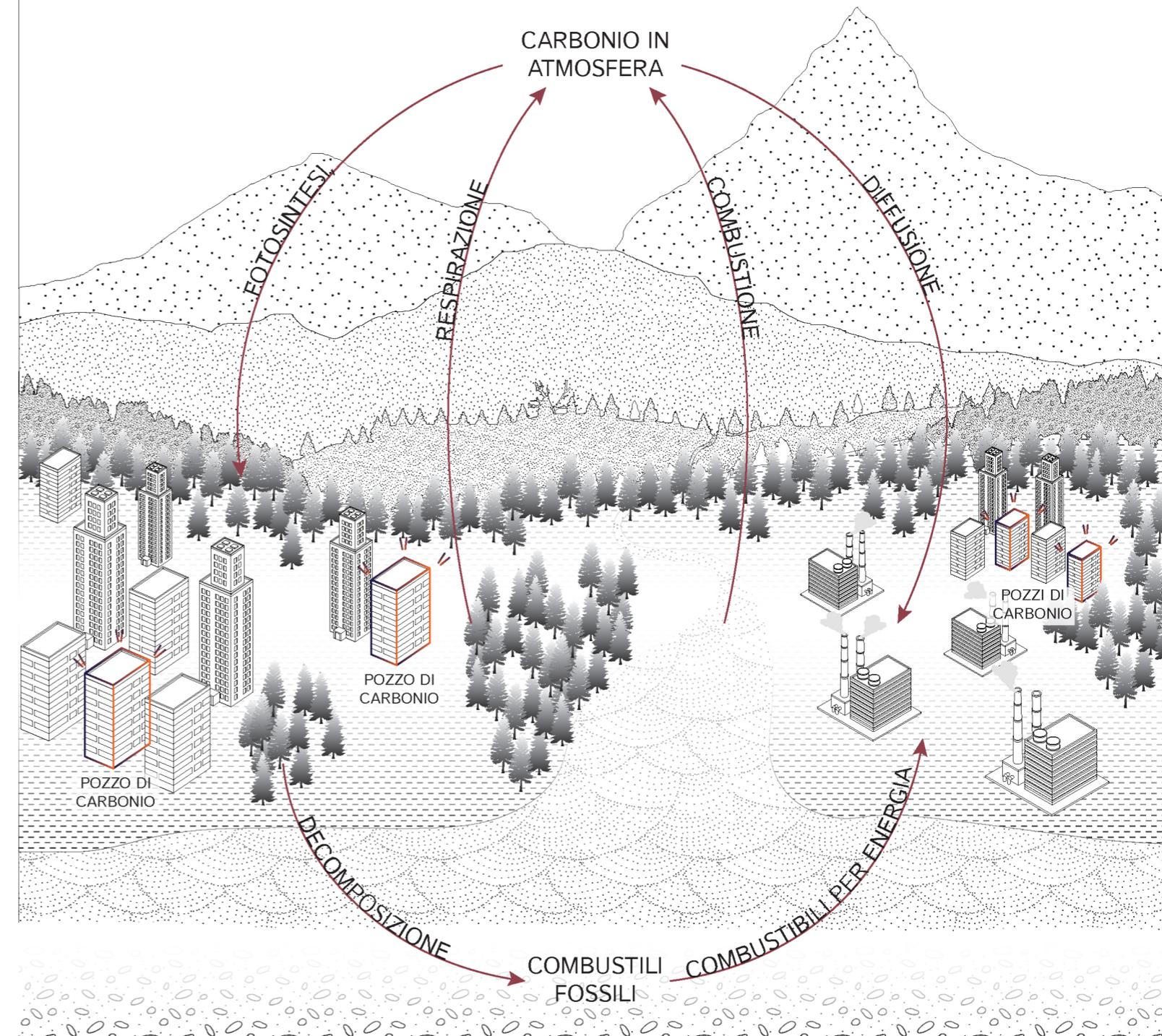
ed ognuno con i propri impatti ambientali e consumi di energia. A partire dalla metà degli anni 90 vediamo come vi sia stato un ritorno trionfante del legno come sistema costruttivo, dopo esser stato surclassato per anni da acciaio, cemento e vetro. Grazie all'innovazione tecnologica, il legno non viene solo considerato come pozzo di CO₂ allo stato naturale, in boschi e foreste, ma viene potenzialmente sfruttato come incubatore negli edifici; basti considerare che un edificio di media altezza, in cemento e acciaio, produce 3210 tonnellate di CO₂, a differenza di uno di pari dimensioni, con struttura in legno, che incuba 4720 tonnellate di CO₂⁵⁴.

Il legno permette quindi numerosi benefici, poiché invece di estrarre materiali dal suolo e utilizzare energia per le lavorazioni, emettendo gas serra, con l'uso delle foreste possiamo invertire questa tendenza e rimediare al danno ambientale che si è evoluto a partire dalla rivoluzione industriale. Inoltre, il legno, produce benefici in termini di salute e benessere per chi lo lavora, chi costruisce e chi fruirà della costruzione, in termini planetari, la Terra ne gioirebbe per le minori quantità di anidride carbonica nell'atmosfera.

Nel precedente paragrafo è stato tratto con importanza il progetto del ciclo di vita dell'edificio; per comprendere la forza del legno e il relativo ciclo di vita, dobbiamo contestualizzarlo all'interno del ciclo del carbonio, ovvero,

il flusso di quest'ultimo tra i vari strati di foreste, terreno e oceano. Possiamo osservare come questo possa dare un grande aiuto a ridurre le quantità di CO₂ presenti nell'aria. La sovrabbondanza attuale è dovuta all'interruzione del ciclo del carbonio a causa della combustione dei combustibili fossili e l'uso spropositato di energia; a differenza di ciò, se consideriamo il ciclo all'interno di una foresta, vediamo come sia caratterizzato dal contenimento della CO₂. Un albero, per effettuare la propria fotosintesi acquisisce e rilascia anidride a fasi alterne nella propria vita, in particolare, quando raggiunge una fase compiuta di maturazione tende a non acquisire più il gas ma a rilasciarlo; l'uomo, controllando questo processo, potrebbe contenere ulteriormente il rilascio di tale sostanza tagliando preventivamente l'albero e immagazzinando le future dispersioni. Controllando il ciclo di vita sin dalla nascita, fino all'impiego per produrre materiale strutturale, e non, il legno funziona da pozzo di carbonio nelle strutture e a scala più ampia, nelle città e nel mondo.

Valutando, in conclusione, i possibili scenari delle strutture alla fine della loro vita, il materiale può esser riciclato o riutilizzato senza diventare un combustibile e quindi rilasciare l'anidride carbonica che per anni aveva immagazzinato. Si genera così un processo a cascata dove il rilascio delle sostanze tossiche in atmosfera viene sempre contenuto, o non



54. Waugh Thistleton Architects, 100 Projects UK CLT, Canada, 2018

permesso, sfruttando il materiale per produrre prodotti a qualità inferiori.

In particolare, parlando di strutture e sottoprodotti derivanti dal legno, l'evoluzione della tecnologia, oggi, ci permette di utilizzare questo materiale come prodotto ingegnerizzato, che, attraverso nuovi processi di stoccaggio, lavorazione e progettazione ci permettono di costruire edifici con strutture che si stanno evolvendo per diversi fattori:

- Prefabbricazione: il processo di innovazione dei materiali, di matrice legnosa, sembra non poter più prescindere dalle costruzioni Off-Site, rispettando i requisiti di maggiore controllo del progetto, della sicurezza, dei costi e dell'impatto socio-ambientale delle nuove strutture.

- Struttura: dal 1996, la scena è stata stravolta dal brevetto dei pannelli CLT (Cross Laminated Timber); inoltre, materiali come il compensato e il legno lamellare stanno subendo evoluzione che permettono di acquisire una buona fetta di mercato delle costruzioni in legno.

- Giunto: subentrando nuovi materiali e necessità dal punto di vista strutturale, materico e ambientale sono stati brevettati nuovi sistemi di connessione nelle strutture, al fine di soddisfare nuovi requisiti e stare al passo con l'innovazione.

In particolare nel successivo sotto capitolo verranno analizzati dei casi emblematici che

al meglio raccontano come il giunto, benché l'industria e la tecnologia si siano evoluti, rimane un elemento fondamentale all'interno dei sistemi prefabbricati e si fa portatore di innovazione.

Il rapporto innovazione - tradizione

Il progetto di giunti e di strutture in legno nella contemporaneità è contraddistinto da diversi scenari, dettati dai diversi materiali di matrice legnosa, dalla funzione degli elementi se strutturali o non, e dalla tipologia di edifici che si desidera ottenere; questi caratteri portano a produrre degli elementi notevoli per un diverso rapporto tra la tradizione ed innovazione. In particolare emergono due principali filoni che delineano questo binomio: uno orientale, in particolare di stampo filo-giapponese, ed uno occidentale; questa differenza nel relazionarsi con la tradizione deriva dai differenti usi che sono stati fatti delle strutture in legno e della concezione stessa del materiale nei secoli precedenti. Se consideriamo l'approccio giapponese, nella maggior parte dei casi contemporanei, tende a ricercare una relazione con la storia. Le strutture del Giappone sono sempre state caratterizzate dall'impiego di numerosi elementi, di variabili dimensioni, in legno per costruire abitazioni o templi come pagode; in particolare l'arte del lavorare il legno era praticata da abili artigiani al fine di produrre giunti ad incastro estremamente precisi; questi si dividono in *Tsugite*⁵⁵, quando trattiamo di connessioni realizzate per ottenere elementi rettilinei o *Shiguchi*⁵⁶ quando abbiamo elementi perpendicolari connessi per sovrapposizione. I giunti possedevano una particolare importanza nelle strutture perché garantivano una certa

55. Zwerger K., Wood and wood joints, Birkhäuser, Basel, 1997

56. Ibidem 55

stabilità strutturale nel tempo e qualità estetica grazie a diverse tipologie di legname e colorazione. Inoltre, queste strutture erano contraddistinte dal solo utilizzo del legno con il rifiuto di collanti e carpenterie metalliche per due motivazioni: la prima è perché le strutture dovevano essere facilmente montabili e smontabili poiché gli edifici, secondo credenze religiose, dovevano essere smontati e rimontati ogni trent'anni⁵⁷; la seconda di carattere strutturale: impiegando solo legno nei giunti, le strutture godevano di una maggiore elasticità in caso di evento sismico, vista la comune presenza di questi eventi in terra nipponica. Inoltre, impiegando legname di diverse dimensioni e specie, era garantito un processo sostenibile dell'utilizzo del materiale, poiché si sfruttavano anche quegli alberi di piccole dimensioni abbattuti per arboricoltura. Questo utilizzo della falegnameria venne lentamente abbandonato nella storia grazie all'invenzione degli elementi di fissaggio metallici, che permettevano giunzioni più veloci, facili da impiegare, una riduzione della lavorazione delle strutture in legno e maggiore sicurezza contro gli eventi sismici. Tuttavia, negli ultimi anni, grazie alla produzione digitale e standardizzata attraverso macchine CNC è possibile produrre elementi e giunti artigianali a basso costo, con un alto grado di precisione in tempi ridotti rispetto al vecchio lavoro manuale: questo ha portato ad una

57. Building CuE - Close-up Engineering

rivalutazione della tradizione in alcuni casi, ad esempio nel Tamedia Building di Zurigo progettato da Shigeru Ban o il sistema costruttivo Suteki System che, partendo dagli incastri lignei della tradizione, ha portato alla produzione di un connettore metallico che si nasconde e collabora all'interno dei telai in legno.

Parallelamente se consideriamo il contesto occidentale, vediamo come vi sia una concezione del legno, inteso come struttura e connessione di elementi strutturali ben diversa da quella orientale; in primis, gli edifici in legno nella storia sono stati sviluppati principalmente per mezzo di legno massiccio, generando strutture abitative solide, pesanti e non sempre adatte a sopportare grandi sollecitazioni sismiche a causa dell'elevata rigidità. Inoltre, la grande rottura con la visione giapponese è dettata dalla concezione stessa dell'edificio: questo, in termini occidentali, viene visto come permanente e non smontabile in un futuro, cercando quindi un dialogo con la visione tradizionale della casa. Questo permanenza ha garantito negli ultimi decenni, a strutture quali X-LAM o legno lamellare, di sostituire i sistemi costruttivi tradizionali e di svilupparsi in totale autonomia senza vincoli o esempi storici. La ricerca di una solidità strutturale, i valori insiti nelle strutture prefabbricate e nessun elemento della tradizione da tramandare hanno permesso alle strutture

e ai relativi giunti di non doversi confrontare con la storia, permettendo la progettazione di sistemi di connessione in carpenteria, metallica e non, ed incastri legno-legno che sono prodotti con lo solo scopo di rendere performanti le strutture, aumentare la sicurezza delle stesse e soddisfare i requisiti di sostenibilità ambientale, sociale ed economica. Ne sono un valido esempio i casi studio che verranno successivamente analizzati quali X-RAD, X-Fix ed il Brock Commons Tallwood House.

Giunti innovativi



Suteki Wood System

Anno

2014

Progettista

Nice Holding

Luogo

Giappone

Processo di produzione

Produzione industriale degli elementi di connessione e della struttura

Giunto

Il giunto è costituito da un elemento in acciaio fuso al carbonio, trattato con sale, che non richiede ulteriore ausilio di carpenteria metallica, come ad esempio dadi o bulloni, che potrebbero compromettere le strutture in caso di variazione del materiale legnoso dovuto a ritiri o espansioni. Viene impiegato principalmente in strutture in legno lamellare, messo in opera attraverso dei tagli nelle travi e colonne per mezzo delle quali permette la connessione fra testa e lato di un elemento, e fissato con delle semplici viti per legno. La forma del connettore è dovuta alla miglior sagoma per poter sopportare alle forze in diverse direzioni e per utilizzare il minor spazio possibile all'interno degli elementi legnosi.

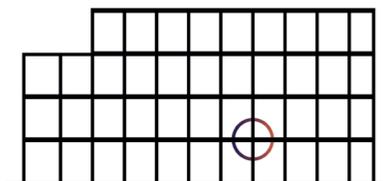
Contesto

Il sistema di connessione permette di riprodurre e migliorare i giunti delle strutture in legno, ispirandosi alla tradizione giapponese. Progettato e brevettato dall'azienda Giapponese, successivamente, esportato in Europa, il connettore rende facili e veloci le attività di montaggio di strutture a telaio, permettendo di erigere case di due piani in soli sessanta giorni. Il connettore permette quindi di rafforzare la falegnameria, un punto considerato debole delle strutture in legno. Grazie alle lavorazioni CNC che sagomano forme e tagli e alla resistenza del materiale che risulta essere 1,5 volte più resistente del legno massiccio, le strutture risultano precise, resistenti al fuoco con un tasso di combustione di soli 0,6mm al minuto ed estremamente atte a subire deformazioni o crepe nel tempo. Inoltre, i connettori e le relative strutture sono stati testati per sopportare le sollecitazioni di terremoti di grandi intensità: basti pensare che è stata riprodotta l'intensità di 7.2 Richter, come nel terremoto del 1995 a Kobe. Dopo i test, le strutture non hanno presentato segni di danno, perché il connettore metallico riesce ad assorbire tutte le sollecitazioni senza deformarsi; chiaramente questo è permesso anche dalla flessibilità del legno.⁵⁸

58. Sutekiwood

Il giunto

Collocazione



Funzione

Strutturale all'interno di telai portanti in legno

Elementi connessi

Trave - montante

Sistema di unione

Incastro e avvitato

Performance

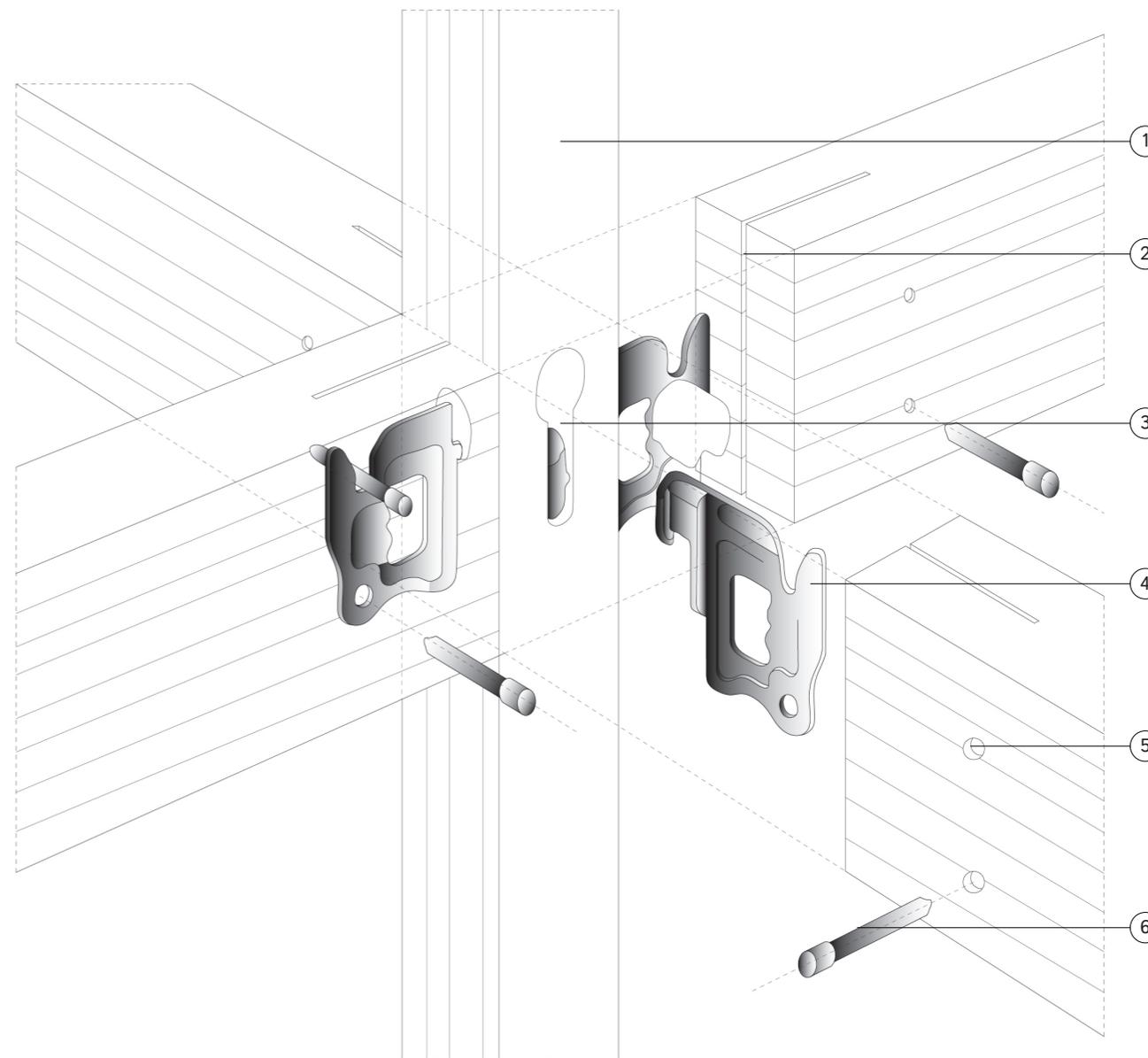
Efficace e durevole strutturalmente, e termicamente

Innovazione

Struttura portante esterna

Descrizione

- ① Montante di sezione quadrata in legno lamellare, le dimensioni variare in relazione alla struttura.
- ② Taglio in trave di sezione rettangolare in legno lamellare, le dimensioni variare in relazione alla struttura.
- ③ Taglio pre-sagomato nei montanti per ospitare il giunto metallico su tutti i quattro i lati dell'elemento.
- ④ Connettore in acciaio trattato, formato da quattro elementi incastrabili fra di loro per collaborare strutturalmente.
- ⑤ Foro pre-eseguito nelle travi per chiodare i connettori metallici nel telaio.
- ⑥ Vite metallica di fissaggio del connettore.



Innovazione - tradizione - sostenibilità

VARIAZIONI PER POSIZIONE



FACILITA' MONTAGGIO



IMPIEGO DEL PERSONALE



SICUREZZA



MATERIALE



ATTREZZI PER L'INSTALLAZIONE



PRECISIONE



TEMPO MESSA IN OPERA



INQUINAMENTO

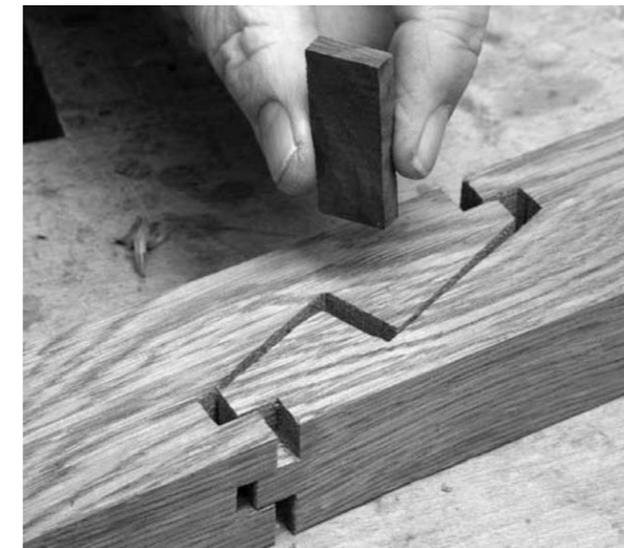


RELAZIONE CON LA TRADIZIONE



Il rapporto con la tradizione

Il sistema di connessione ricerca un dialogo con l'antico artigianato giapponese perseguendo due obiettivi: il primo quello di non "inquinare" l'architettura in legno, per tanto l'acciaio del giunto è inserito all'interno delle strutture e risulta invisibile, camuffando la realizzazione di questo principio; secondo, sfruttando l'evoluzione delle macchine CNC e delle lavorazioni del legno, vengono riprodotte con estrema sottigliezza e precisione i tagli per poter connettere gli elementi lignei delle strutture, riproducendo l'effetto visivo che veniva ottenuto dalla maestria nipponica.





X-RAD

Anno

2014

Progettista

Rothoblaas

Luogo

Italia

Processo di produzione

Produzione industriale del sistema di connessione

Giunto

Il sistema di connessione è formato principalmente da tre parti: X-One, X-Plate ed X-Seal; l'elemento principale del sistema è X-ONE che viene impiegato negli angoli dei pannelli CLT per mezzo del fissaggio al pannello di 6 connettori XVGS11350 inseriti in dei prefori orientati. La direzione calcolata dei fori e l'impiego delle viti autofilettanti permettono al connettore di resistere a tutte le sollecitazioni. A completare il pacchetto ed aumentare le performance acustiche e termiche, vengono impiegati i nastri adesivi X-SEAL, che garantiscono una maggiore tenuta agli agenti atmosferici e migliori performance serrando ogni linea sia tra i giunti metallici stessi che tra i giunti e gli angoli dei pannelli.

Contesto

Il connettore sviluppato dall'azienda italiana è volto a rivoluzionare i sistemi di giunzione tra pannelli x-lam; la sua forma detta nuove forme dei pannelli, metodi di fissaggio e movimentazione durante la fase di messa in opera. In particolare, le tempistiche di fissaggio sono ridotte grazie all'impiego di viti autofilettanti. Vengono così ridotte le lavorazioni in cantiere anticipandole in stabilimento; garantendo:

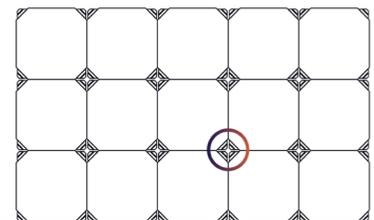
- Maggiore precisione e conseguente riduzione degli errori per gli operatori
- Maggior ordine e pulizia in cantiere
- Riduzione tempi ed impegno fisico per gli operatori.

Il sistema innovativo di connessione, inoltre, garantisce una maggiore tenuta strutturale rispetto ai sistemi tradizionali (ad es. hold-down). Ciò permette inoltre la giunzione in differenti parti delle strutture con il semplice serraggio di pochi bulloni: nella soluzione di fondazione, nei nodi interpiano e di sommità si realizzano in modo semplice e veloce con giunzioni bullonate predefinite. L'unione di queste connessioni permette di far nascere soluzioni innovative come le strutture ibride in legno-calcestruzzo o legno-acciaio, strutture a nucleo irrigidite e strutture modulari pre-assemblate in stabilimento.⁵⁹

59. Rothoblaas

Il giunto

Collocazione



Funzione

Strutturale all'interno di strutture in pannelli x-lam

Elementi connessi

Pannello - pannello

Sistema di unione

Imbullonato e avvitato

Performance

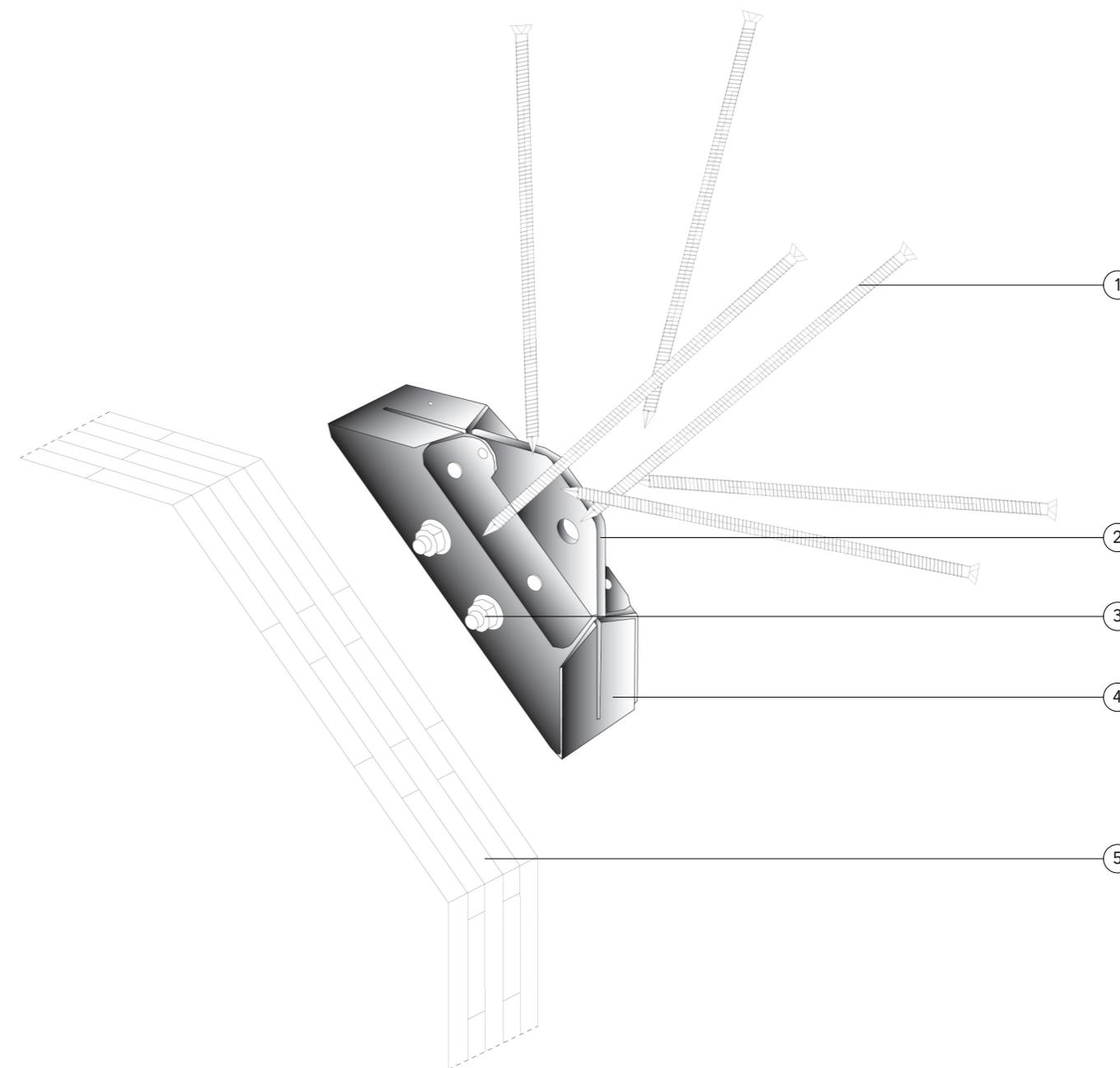
Molto efficace e durevole strutturalmente e termicamente

Innovazione

Facilità di montaggio, impiego e performance strutturale-termica

Descrizione

- ① Connettori XVGS11350, atutto filetto con diametro di 11 mm.
- ② Lingua metallica che permette la connessione agli altri componenti del pacchetto X-RAD.
- ③ Bulloni metallici coposti da dadi e viti filettate.
- ④ Connettore in acciaio X-RAD, composto da due parti unite per mezzo di viti e dadi.
- ⑤ Superficie piana angolare dei pannelli x-lam.



Innovazione - tradizione - sostenibilità

VARIAZIONI PER POSIZIONE



FACILITA' MONTAGGIO



IMPIEGO DEL PERSONALE



SICUREZZA



MATERIALE



ATTREZZI PER L'INSTALLAZIONE



PRECISIONE



TEMPO MESSA IN OPERA



INQUINAMENTO



RELAZIONE CON LA TRADIZIONE



Il rapporto con la tradizione

Il connettore per pannelli X-LAM nasce dalla mera necessità di ottenere un giunto tra pannelli facilmente applicabile, resistente in termini strutturali, termici e al fuoco; la sua forma e il suo utilizzo, data la recente invenzione dei pannelli a cui si lega, non hanno precedenti nel passato; questo elemento metallico è frutto di studi strutturali, delle esperienze dell'architettura prefabbricata che vuole ridurre al minimo i tempi, i costi delle fasi in sito ed aumentare la facilità e sicurezza all'interno del cantiere. Risulta quindi uno dei maggiori esempi dove non vi sia un rapporto con la tradizione.





Wikihouse

Anno

2011

Progettista

00 Design

Luogo

Inghilterra

Processo di produzione

Produzione tramite taglio e lavorazione CNC degli elementi della struttura

Giunto

I componenti della struttura vengono prodotti tramite macchine a CNC; gli elementi prefabbricati sono il mezzo stesso con cui avvengono gli incastri. Per questo motivo vengono lavorati in modo da connettersi senza l'ausilio di ulteriore carpenteria metallica, se non in alcune eccezioni. Oltre ai lati, che per mezzo di linguette sporgenti permettono l'incastro pannello - pannello, vi sono dei giunti appositi a forma di doppia T, che permettono di mantenere uniti e stabili i pannelli, inserendosi all'interno di fori quadrati al lato di ciascun pannello da congiungere.

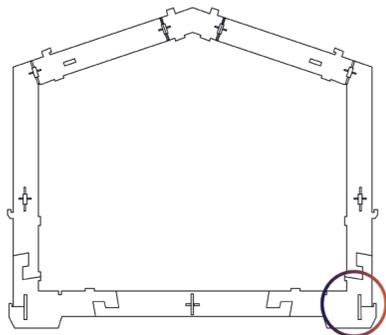
Contesto

Il progetto open source, prevede la produzione di case prefabbricate per mezzo di una struttura interamente in compensato, facilmente riproducibile, assemblabile senza eccessivi costi e tempi. Per la fabbricazione degli elementi non vi sono vincoli sul materiale e sullo spessore, se non dettati dalla sicurezza e resistenza strutturale degli stessi; il migliore risulta il compensato in fogli di sp.18mm. La variazione degli spessori può accettarne inferiori fino a 6 o 12mm; inoltre, il materiale può essere sostituito da fogli di legno o OSB. La facilità di messa in opera e il raggiungimento del risultato sono fortemente caratterizzati dal sistema di connessioni ad incastro legno-legno, ottenuti dalla massima precisione durante la produzione e lavorazione dei pannelli tramite macchinari CNC, dall'altra, grazie alla preparazione del disegno dei pezzi. Le tolleranze, permettono di gestire le variazioni a seconda del materiale e di generare incastri precisi. Nei disegni distribuiti da WikiHouse vi sono degli offset del disegno dei pannelli di 0,25mm e in alcuni casi anche maggiori o minori al fine di permettere la connessione di pannelli difficili; questi accorgimenti determinano una tolleranza massima all'interno del progetto di +o- 0,5mm.⁶⁰

60. Wikihouse

Il giunto

Collocazione



Funzione

Strutturale all'interno di strutture in pannelli di compensato

Elementi connessi

Pannello - pannello

Sistema di unione

Ad incastro

Performance

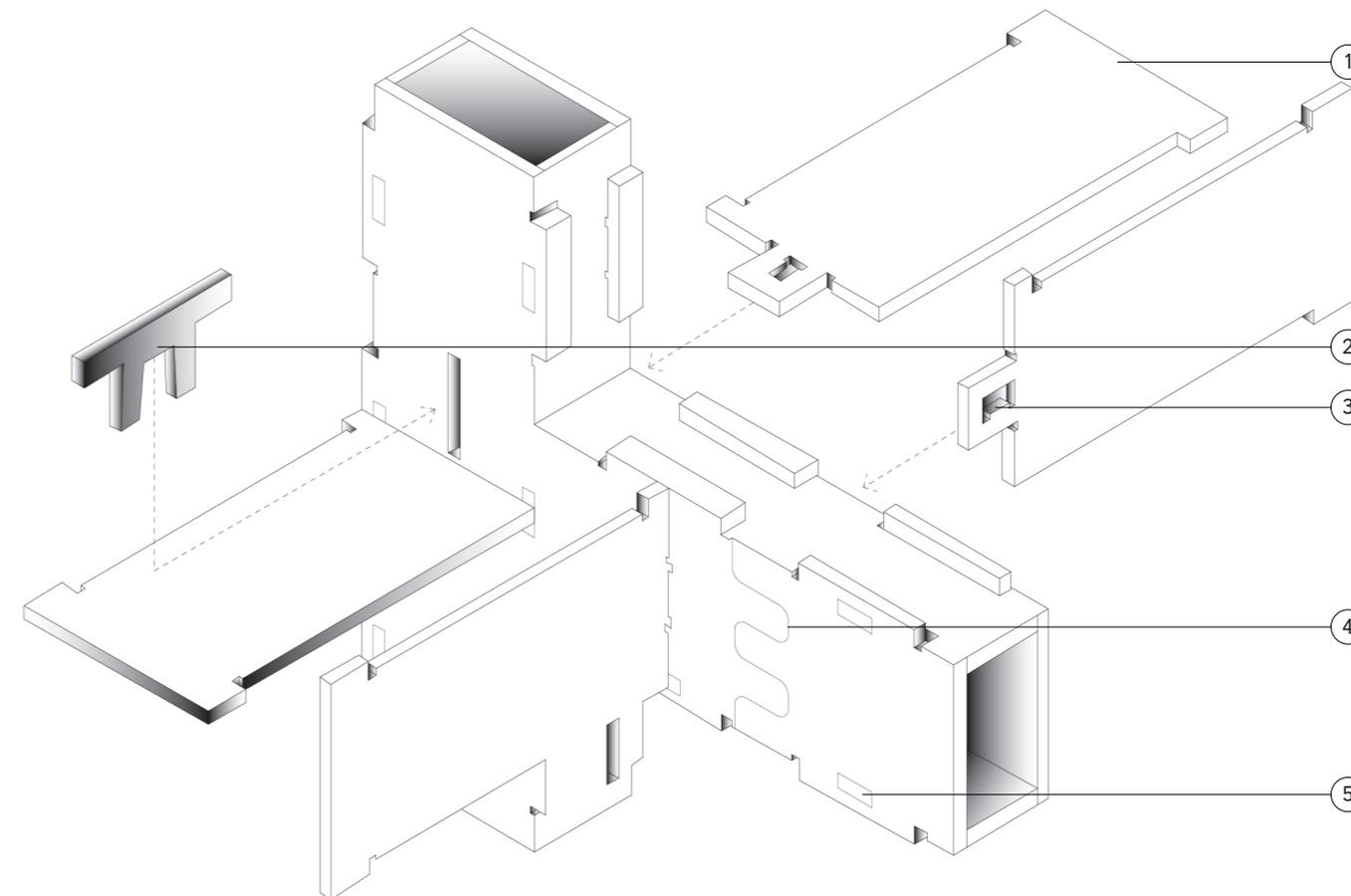
Efficace e durevole strutturalmente, poco efficace termicamente

Innovazione

Facilità di montaggio, precisione e riduzione dei costi totali

Descrizione

- ① Pannello strutturale prefabbricato in compensato, sp 11 mm.
- ② Incastro a doppia TT, per la giunzione di due pannelli preforati.
- ③ Asola di testa forata del pannello strutturale per la connessione ad incastro a doppia T.
- ④ Connessione ad incastro tra due pannelli sullo stesso piano.
- ⑤ Asola laterale forata del pannello strutturale per la connessione ad incastro a doppia T.



Innovazione - tradizione - sostenibilità

VARIAZIONI PER POSIZIONE



FACILITA' MONTAGGIO



IMPIEGO DEL PERSONALE



SICUREZZA



MATERIALE



ATTREZZI PER L'INSTALLAZIONE



PRECISIONE



TEMPO MESSA IN OPERA



INQUINAMENTO



RELAZIONE CON LA TRADIZIONE



Il rapporto con la tradizione

La connessione pannello-pannello generata dagli elementi della struttura progettata da Wikihouse, è influenzata in parte dalla storia e dall'innovazione; prevedendo semplici incastri a 90° tra i pannelli sfrutta la più semplice connessione per elementi strutturali in termini di lavorazione e messa in opera, non facendo riferimento a forme artigianali. La scelta di tale forma nasce dalla necessità di ridurre al minimo le lavorazioni, sfruttando al meglio la precisione il taglio per mezzo di macchine industriali, risulta facilmente prefabbricabile e da mettere in opera senza competenze specifiche.





X-FIX

 **Anno**
2018

 **Progettista**
SCHILCHER

 **Luogo**
Austria

 **Processo di produzione**

Produzione tramite taglio e lavorazione CNC degli elementi della struttura

 **Giunto**

La giunzione tra legno e legno è permessa da un connettore a doppia coda di rondine in legno lamellare. Questo nasce dalla visione del materiale non solo come elemento strutturale portante e di tamponatura, ma come un supporto alla struttura dato da un elemento standard a lunghezze variabili. Infatti, oltre ai modelli che inizialmente sono stati omologati e certificati ETA, ovvero di 45 e 90 mm, sono stati introdotti recentemente di 60, 130 e 180mm; Nel dettaglio X-fix C 45 mm è omologato per pannelli X-LAM a tre strati, così come X-fix C 90.

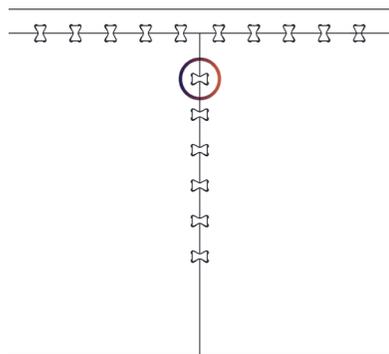
 **Contesto**

Il giunto nasce da due lavorazioni con precisione estrema tramite macchinari a CNC prodotti in esclusiva dall'industria italiana SCM Group per i brevettatori austriaci. Il processo di produzione del connettore richiede un macchinari ad altissima efficienza che sviluppando azioni di profilatura, foratura e fresatura su tutte le cinque face dell'elemento permette di ottenere delle tolleranze comprese tra i +/- 0.25 mm sull'altezza totale del profilo, affinché possa incastrarsi tra i vari pannelli; qualora vi siano delle discrepanze, in cantiere si può intervenire con la fresatura in modo rapido e veloce. La fase di cantiere risulta uno dei punti di forza poiché i tempi sono ridotti grazie alla facilità di messa in opera, evitando l'utilizzo di carpenteria in ferro, basta un martello, con successivo serraggio dei bordi con silicone o colle. La struttura, ed in particolare le code di rondine, possono essere sostituiti in caso di crepe o altri danni con le medesime modalità di posa. Queste qualità permettono quindi di comporre le strutture ad operai che non siano esperti del settore guidati da esperti. Inoltre, data la sua forma e le dimensioni ridotte, permette l'impiego in diverse tipologie di strutture, sia in solaio-solaio, che in connessioni parete-parete.⁶¹

61. X-fix

Il giunto

Collocazione



Funzione

Strutturale all'interno di strutture in pannelli X-LAM

Elementi connessi

Pannello - pannello

Sistema di unione

Ad incastro

Performance

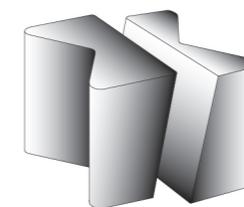
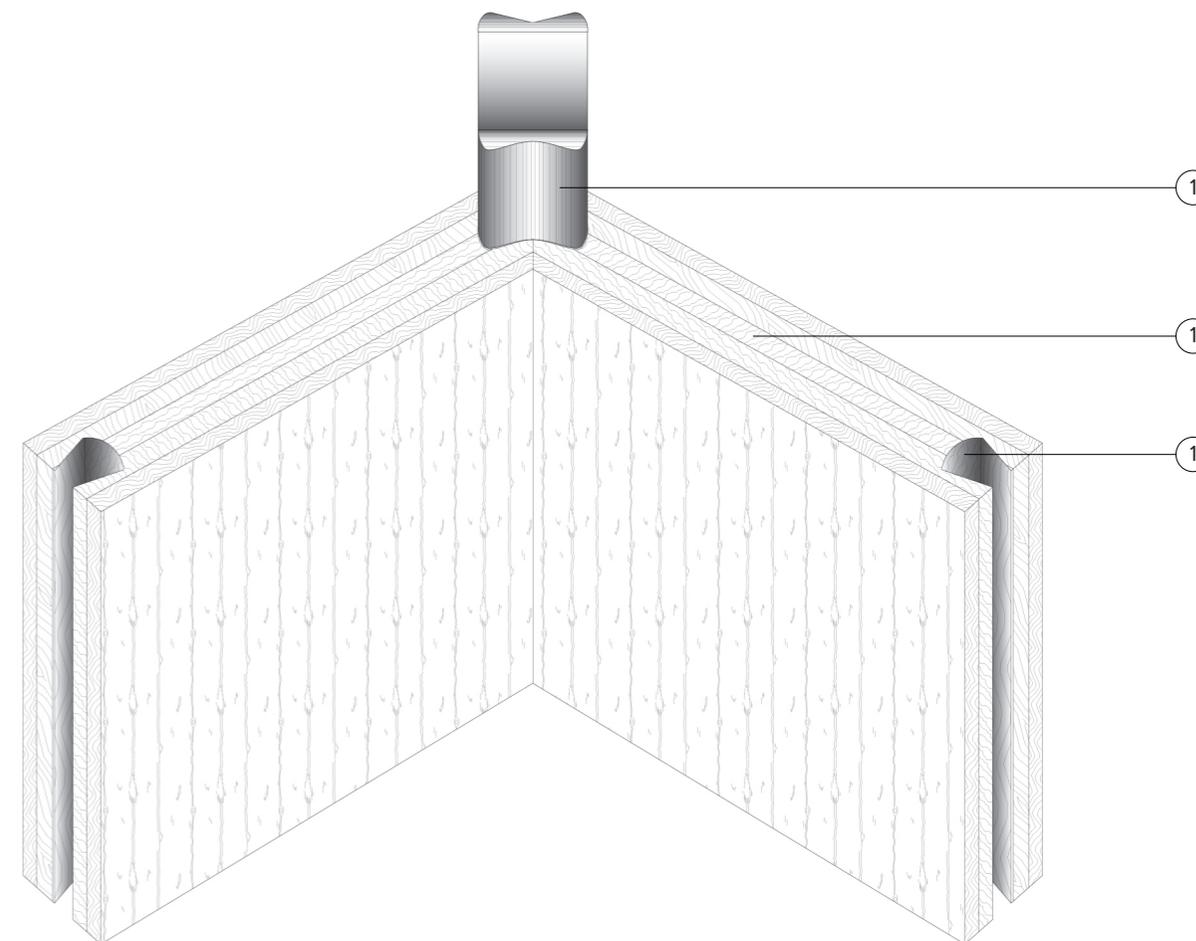
Efficace e durevole strutturalmente, poco efficace termicamente

Innovazione

Facilità di montaggio e precisione

Descrizione

- ① Connettore in legno lamellare X-FIX C, da 90mm.
- ② Pannello in X-LAM a 5 stati, sp. 180 mm.
- ③ Lato del pannello sagomato in stabilimento tramite macchina CNC per ospitare il connettore in legno lamellare.



Innovazione - tradizione - sostenibilità

VARIAZIONI PER POSIZIONE



FACILITA' MONTAGGIO



IMPIEGO DEL PERSONALE



SICUREZZA



MATERIALE



ATTREZZI PER L'INSTALLAZIONE



PRECISIONE



TEMPO MESSA IN OPERA



INQUINAMENTO

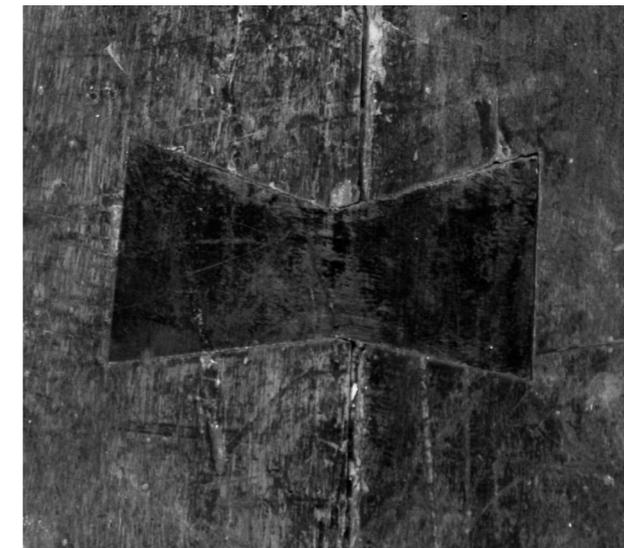


RELAZIONE CON LA TRADIZIONE



Il rapporto con la tradizione

La forma del giunto richiama il noto intarsio/giunto a farfalla, o anche detto a coda di rondine e/o Nakashima. Lo storico elemento in legno veniva utilizzato per scopi estetici o di collaborazione per l'unione di due o più pezzi di legno. Il giunto X-FIX riproduce la forma per mezzo di due elementi che giustapposti riproducono la forma di farfalla. Ora l'elemento assume proprietà strutturali sviluppandosi per estrusione in relazione allo spessore degli elementi che deve collegare. La resistenza del connettore è permessa dal materiale, il legno lamellare.





Brock Commons Tallwood House

 **Anno**
2018

 **Progettista**
Architetti Hermann Kaufmann

 **Luogo**
Canada

 **Processo di produzione**

Produzione industriale della struttura e dei sistemi di connessione

 **Giunto**

Il giunto, simbolo di unione di due materiali strutturali differenti, è costituito dalle piastre HSS che permettono di trasferire i carichi da colonna a colonna e da solaio a colonna senza schiacciare la struttura portante del solaio. Questa per mezzo di viti filettate trasferisce i carichi verticalmente e mantengono salda la connessione; l'unione tra gli elementi verticali, inoltre, è permesso da una sagomatura che permette l'incastro della testa dell'elemento. Per quanto riguarda i carichi laterali, questi sono trasportati, tra un pannello di CLT e l'altro, per mezzo di giunzioni in compensato avvitate e inchiodate ad ogni pannello in loco; questi trasferiscono i carichi fino ai nuclei per poi esser trasportati verticalmente.

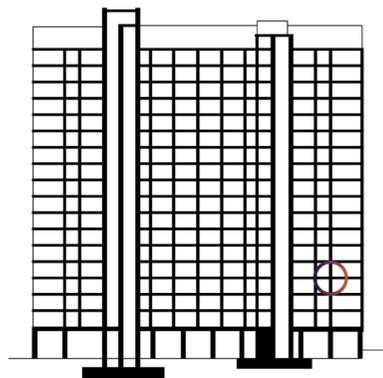
 **Contesto**

L'edificio a diciotto piani si trova presso l'Università della British Columbia (UBC). La struttura portante dell'edificio è una gabbia costituita da pannelli in CLT, per i solai, mentre le colonne portanti sono in legno lamellare; fanno da ulteriore sostegno due nuclei in calcestruzzo armato e la soletta al piano terra, conclude il tetto in acciaio per proteggere tutta l'intera struttura dell'edificio. L'involucro, invece, si compone da una facciata continua e finestre prefabbricate con pannelli in laminati incrociati in acciaio. Il sistema di connessione è stato uno dei temi più dibattuti per sostenere l'intero edificio: ne sono state studiate più versioni tra cui quella colonna-colonna, due connessioni legno-legno e una connessione colonna-colonna in acciaio HSS. Tra queste, è stata scelta l'ultima perché consentiva di ispessire la struttura, dare maggiore stabilità, ridurre le tolleranze e inserire le colonne con una sezione ridotta. Il sistema risulta facilmente montabile in loco, se consideriamo che oltre il 70% dell'intera struttura è stato prefabbricato in stabilimento, permettendo di erigere la struttura in settanta giorni; le viti autofilettanti e il posizionamento con gru risultano lavorazioni veloci per squadre specializzate di assemblatori.⁶²

62. Thinkwood

Il giunto

Collocazione



Funzione

Strutturale nel telaio tra travi in lamellari e solai in x-lam

Elementi connessi

Trave-solaio e solaio-solaio

Sistema di unione

Imbullonato e con piatto metallico

Performance

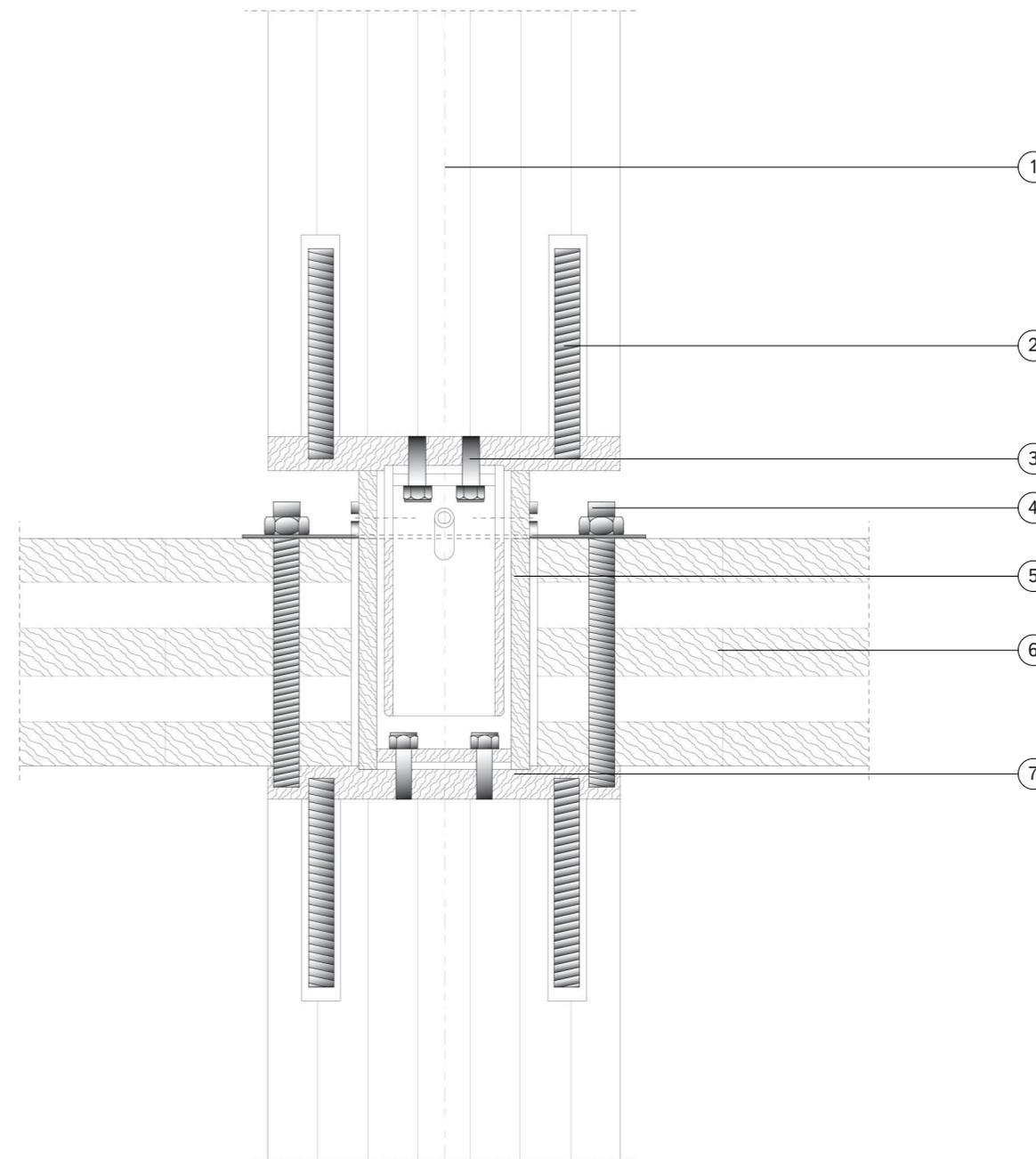
Efficace e durevole strutturalmente, poco efficace termicamente

Innovazione

Collaborazione tra differenti materiali strutturali

Descrizione

- ① Colonna strutturale di sezione quadrata in legno lamellare.
- ② Vite a tutto filetto in acciaio per la connessione tra colonna e piastra HSS.
- ③ Bullone in ferro costituito da dado e vite per connettere compensato e trave.
- ④ Vite filettata in ferro per connettere le staffe ad L tra solaio e compensato interno.
- ⑤ Giunto in compensato interno alla connessione tra solaio e colonna.
- ⑥ Solaio in X-LAM con pannelli a cinque strati incrociati.
- ⑦ Piastre ad L in acciaio HSS per la connessione tra colonna - colonna.



0 2 4 8
1cm

Produzione a cura di Andrea Zegna

Innovazione - tradizione - sostenibilità

VARIAZIONI PER POSIZIONE



FACILITA' MONTAGGIO



IMPIEGO DEL PERSONALE



SICUREZZA



MATERIALE



ATTREZZI PER L'INSTALLAZIONE



PRECISIONE



TEMPO MESSA IN OPERA



INQUINAMENTO



RELAZIONE CON LA TRADIZIONE



Il rapporto con la tradizione

Il giunto, all'interno di questa struttura innovativa, assume una maggiore importanza essendo un nodo strutturale. Le parti portanti sono composte da due tecnologie distinti collaboranti: il legno lamellare e i pannelli X-LAM. Questa scelta innovativa detta la necessità di utilizzare un'apposita carpenteria per connettere gli elementi sia verticalmente che orizzontalmente: piastre e viti a tutto filetto di grosse sezioni danno vita ad un giunto senza eguali; generato per trasmettere i carichi dalle strutture verticali alle orizzontali fino ai corpi in c.a. al centro della struttura dell'edificio.



Sviluppi futuri

Il mondo della prefabbricazione è oggi popolato da diverse proposte di sistemi di connessione e giunti per strutture in legno, i cui principali e più rappresentativi sono stati analizzati nella fase precedente di questo capitolo. L'offerta delineata illustra come per ogni tipologia di sistema costruttivo siano stati perfezionati e ricercati degli elementi al fine di rendere le strutture maggiormente sicure in termini di resistenza alle sollecitazioni sismiche e in termini termici; non da meno sono stati sviluppati quegli aspetti che permettono di raggiungere un alto grado di soddisfacimento dal punto di vista della sostenibilità, sia ambientale, personale ed economica. Inoltre, un altro aspetto che è emerso, è la ricerca di una continuità in alcuni casi di relazione con le forme del passato, come il connettore di Suteki che dialoga con l'artigianato giapponese o il giunto permesso da X-Fix che trae forme ed ispirazione dall'antico giunto a farfalla, il tutto nei termini di innovazione e di rispetto di quei requisiti sopra citati. D'altra parte, invece, è emerso come l'innovazione tecnologica e la scoperta di nuovi materiali, quali x-lam, abbia portato alla produzione di particolari giunti/connettori in carpenteria metallica che rompono totalmente i rapporti con la tradizione.

Essendo questa la scena delineata nella contemporaneità, viene lecito domandarsi quali saranno i possibili sviluppi che potrebbe

avere questo settore dell'edilizia?

Considerando il progresso che è avvenuto nella lavorazione della materia prima, attraverso lo sviluppo di macchinari altamente performanti e precisi come ad esempio quelli CNC, vediamo come questo fattore abbia permesso una maggiore propensione a riutilizzare quelle forme e quei giunti che erano ormai in disuso; in particolare ci si riferisce a quelle tipologie di lavorazioni artigianali quali giunti ad incastro di vario genere che erano stati soppiantati da sistemi di connessione per mezzo di carpenteria metallica perchè più facili da utilizzare, riprodurre a differenza del lavoro manuale, sicuri e precisi. Ora l'ago della bilancia grazie al processo di innovazione tecnologica sembra tornar a pendere per quelle forme artigianali, ma prodotte in maniera industriale.

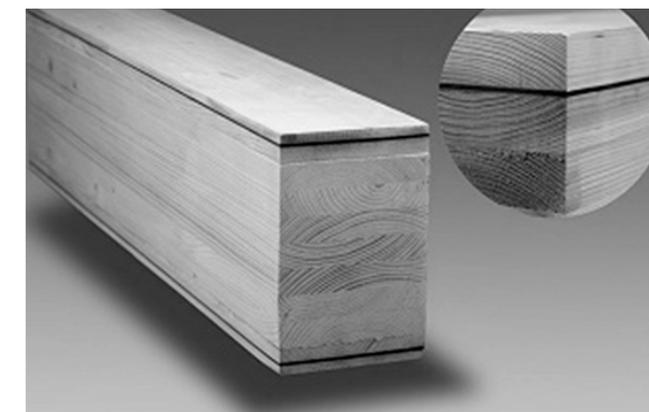
Questo processo non solo è garantito dalle tecniche di lavorazione ma anche da nuovi materiali e migliorie nelle prestazioni del legno o dei derivati, come ad esempio il legno lamellare. Inoltre, a supporto di questo processo di innovazione, filtrato dalla rivisitazione della tradizione, si stanno delineando studi e test per la collaborazione di elementi lineari in legno lamellare, come ad esempio travi giuntate ad incastro, e la collaborazione con elementi in CFRP.⁶³ Questa tecnologia, sfruttando le potenzialità del carbonio, supporta i giunti tra le strutture in legno rinforzando

63. Ascelibrary

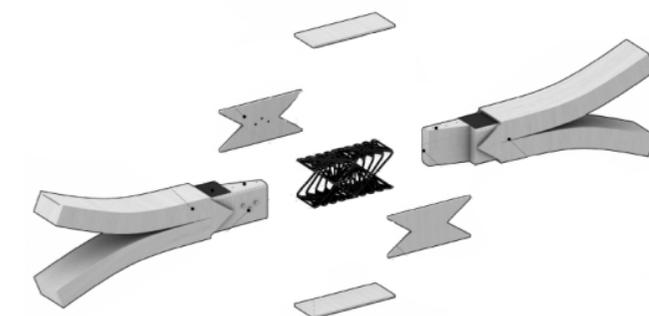
la resistenza a flessione delle travi. Il CFRP, acronimo di Carbon Fiber Reinforced Polymer può collaborare con il legno attraverso due modalità: tramite piastre inserite all'interno delle travi o tramite filamenti stampati che avvolgono il giunto tra due elementi.⁶⁴ La potenzialità, in entrambi i casi, del materiale è di ridurre l'utilizzo di quei sistemi di connessione in acciaio, ad esempio viti autofilettanti, dadi, bulloni che comportano un appesantimento delle strutture e una possibilità di essere soggette a corrosione. È necessario specificare che in entrambi i casi il legno lamellare è soggetto ad una trasformazione del materiale: tra gli starti interni e quello superficiale esterno viene inserito un foglio in carbonio fibro rinforzato; questo permette, nel primo la realizzazione finita del rinforzo; nel secondo, quello prodotto per mezzo di filamenti di stampa 3D, che il giunto possa essere "legato" esternamente da filamenti del medesimo materiale di rinforzo interno. Le due soluzioni, oggi, sono state frutto di studi strutturali e tecnologici per mezzo di software e di esperimenti su elementi di dimensioni standard al fine di comprendere l'effettiva resistenza del materiale "modificato" alle sollecitazioni sismiche e il guadagno in termini di resistenza alle forze di taglio.

Come si evince dal caso studio presentato e come analizzato nel primo capitolo, la stampa 3D per giunti in architettura sembra

64. laacblog



Trave in legno lamellare con rinforzo in foglio in fibra di carbonio



Ipotesi di giunto stampato, progetto IAAC

emergere, seppur ancora in maniera marginale. In particolare, questa tecnologia permette di produrre forme e sfruttare materiali innovativi per produrre giunti in ausilio di strutture portanti. Inoltre i processi di stampaggio si sposano perfettamente con gli scopi e le regole dettate dagli sviluppi contemporanei, avvalendosi di processi di produzione altamente controllati e progettati con precisione, ma soprattutto con una portata innovativa nell'utilizzo di materiali resistenti che possono andare a supporto di strutture in legno con giunti stampati per la connessione di travi o altri elementi strutturali, come nel caso del Steel Connector.

5# Conclusione

Il percorso di tesi ha indagato, attraverso rappresentazioni e ad analisi, la centralità del giunto nei sistemi prefabbricati, evidenziandone le trasformazioni attraverso il processo di innovazione nei diversi contesti della storia recente. I sistemi di connessione hanno sempre determinato l'efficacia e la realizzazione di progetti e brevetti che si avvalevano dei materiali e dei metodi di produzione nelle diverse fasi di sviluppo dell'industria; uno stretto rapporto tra architettura ed industria ha fatto sì che la prefabbricazione rispondesse alle necessità economiche, storiche e sociali. Questa evoluzione lineare si è sviluppata fino ad oggi, dove in virtù dell'emergenza ambientale, la prefabbricazione e i sistemi di costruzione, con giunti innovativi, sono chiamati a rispondere alle necessità del presente. Per mezzo di nuovi materiali, i giunti facilitano i processi di costruzione, montaggio, resistenza strutturale, determinando una maggiore sicurezza per chi partecipa ai processi di lavorazione e montaggio, sia per l'utilizzatore finale: la sostenibilità risulta quindi non solo ambientale, ma bensì anche economica, sociale e lavorativa.

Il processo di innovazione, oggi, può ancora evolversi cercando una maggiore coesione tra le componenti della tecnologia:

- Hardware, utilizzando materiali meno inquinanti come il legno e i relativi processi di controllo e di produzione, con macchinari

come quelli a CNC, si possono sfruttare minori quantità di energia possibili.

- Software, avvalendosi dei programmi oggi giorno sviluppati, quali BIM, CAD e programmazione dei macchinari, risultano più facili da gestire le fasi di progettazione e produzione, comportando minor scarto di materiale e di risorse.

- Brainware, nonché gli scopi e le regole ci vengono da una parte richiesti dalla Terra e dalla nostra volontà di salvaguardare l'ambiente e pensare alle popolazioni future; dall'altra, ci deve esser sempre una stretta collaborazione e rinnovamento delle normative al fine di adeguare e permettere l'uso di sistemi di connessione sempre più performanti e al passo con l'innovazione.

Inoltre possiamo sottolineare, tra gli elementi che influenzano lo sviluppo della tecnologia, l'importanza della tradizione. Tradizione ed innovazione spesso collaborano dando vita a giunti che utilizzano delle forme e conoscenze sviluppate per anni, secoli, ma con una riprogettazione in chiave moderna, attraverso nuovi materiali, metodi di produzione e lavorazione. D'altra parte, abbiamo esempi di sviluppi contemporanei che sono nati in totale rottura con la storia, permettendo alla tecnologia di progredire con forme e materiali del tutto innovativi. Ad ogni modo, è evidente, che l'obiettivo comune sia di raggiungere un'architettura prefabbricata

sostenibile economicamente, matericamente e con forme che raggiungono la loro massima espressione attraverso i giunti. Risulta quindi, inequivocabile, che innovazione e sostenibilità diventino un binomio indissolubile affinché la tecnologia e la prefabbricazione possano conquistare la fetta di mercato e del mondo dell'architettura che per anni non hanno occupato.

6# Riferimenti

#Bibliografia

- Bocchi G. e Ceruti M., *La sfida della complessità*, Feltrinelli, Milano, 1992
- Brand. S., *How Buildings Learn*, Pressa vichinga, 1994
- Caneparo L., *Fabbricazione digitale dell'architettura: il divenire della cultura tecnologica del progettare e del costruire*, Franco Angeli, Milano, 2012
- Elderfield J., *Philip Johnson e il Museo d'Arte Moderna. Il Museo d'Arte Moderna*, MOMA Museum of Modern Art, 1998
- Frampton K., *Studies in Tectonic Culture: The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture*, Massachusetts Institute of Technology, Chicago, 1995
- Giedion S., *L'era della meccanizzazione*, Feltrinelli, Milano, 1967
- Herbert G., *The dream of the factory-made house_ Walter Gropius and Konrad Wachsmann*, The Massachusetts Institute of Technology, 1984
- Imperadori M. e Poli T., *Dubosc e Landowski – Architettura e industria*, Grafo Edizioni, Brescia, 1998
- Kolarevic B., *Architecture in the digital age. Design and manufacturing*, Taylor & Francis, New York, 2005
- Kolb J., *SYSTEMS IN TIMBER ENGINEERING: Loadbearing Structures and Component Layers*, Birkhäuser, 2008
- Konrad W., *Una svolta nelle costruzioni*, Il Saggiatore, Milano, 1960
- Konrad W., *The turning point of building: structure and design*, Reinhold, 1961
- Nardi G., *Progettazione architettonica per sistemi e componenti*, Franco Angeli, Milano, 1977
- Natterer J., Herzog T., Volz M., *Atlante del legno*, Utet, Torino, 1998

- Perricioli M., *L'officina del pensiero tecnologico*, Alinea Editrice, Firenze, 2010
- Smith R. E., *Prefab Architecture: A Guide to Modular Design*, John Wiley & Sons Inc, 2010
- Smith R. E., John D. Quale, *Offsite Architecture: Constructing the Future*, Rout ledge, 2017
- Staib G., Rosenthal M., Dörrhöfer A., *Atlante della progettazione modulare*, Utet Scienze Tecniche, Torino, 2010
- Staib G., Dorrhofer A., Rosenthal M., *Components and Systems: Modular Construction Design, Structure*, New Technologies, Basel, Birkhäuser, 2008
- Tonelli C., *Innovazione Tecnologica in Architettura e qualità dello spazio. Note per un accordo*, Gangemi Editore, Roma, 2003
- Waugh Thistleton Architects, *100 Projects UK CLT*, Canada, 2018
- Zambelli E., Vanoncini P., Imperadori M., *Costruzione stratificata a secco: tecnologie edilizie innovative e metodi per la gestione del progetto*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna 1998
- Zwerger K., *Wood and wood joints*, Birkhäuser, Basel, 1997

- Architettura operativa:
<https://www.proholz.at/zuschnitt/36/operative-architektur>
- Architectuul:
<http://architectuul.com/architecture/moduli-255>
- Arte ed evoluzione della progettazione, un saggio premonitore di Elio Giangreco e Konrad Wachsmann:
<https://www.ingenio-web.it/18919-arte-ed-evoluzione-della-progettazione-un-saggio-premonitore-di-elio-giangreco-e-konrad-wachsmann>
- Ascelibrary:
<https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%291090-0268%282005%299%3A4%28337%29#>
- BAUMStudio:
<http://www.baumstudio.ch/prefabbricazione-tra-storia-e-nuovi-bisogni/>
- Brevetti:
<https://worldwide.espacenet.com/patent/>
- Building CuE - Close-up Engineering:
<https://buildingcue.it/incastri-lignei-giapponesi-mengoshi-sisma/21271/>
- Cartwrightpickard:
<https://www.cartwrightpickard.com/housing/murray-grove/>
- Dach-Holzbau:
https://www.dach-holzbau.de/artikel/firmenportrait-die-fertighaeuser-von-niesky_3179290.html
- Detail Inspiration:
<https://inspiration.detail.de/discussion-a-second-look-genter-strasse-housing-development-in-munich-108900.html>

- Dezeen:
<https://www.dezeen.com/2021/07/16/nakagin-capsule-tower-dismantled-news/>
- Domus, 2020:
<https://www.domusweb.it/it/edifici/crystal-palace0.html>
- Ediltecnic:
<https://www.ediltecnico.it/65211/stampa-3d-in-edilizia-utilizzi-pro-contro/>
- Espacenet:
<https://worldwide.espacenet.com/patent/>
- Formlabs:
<https://formlabs.com/it/3d-printers/>
- Freelabster:
<https://www.freelabster.com/it/blog/i-vantaggi-della-stampa-3d-per-privati-e-aziende/>
- Hclarchitects:
<http://www.hcla.co.uk/projects/type/the-yacht-house>
- IAACblog:
<http://www.iaacblog.com/programs/carts-carbon-fiber-reinforced-timber-structures/>
- Il cottage coloniale portatile Manning (1833):
<http://quonset-hut.blogspot.com/2012/12/the-manning-portable-colonial-cottage.html>
- Invention & Technology, 1998:
<https://www.inventionandtech.com/content/instant-building-1>
- Il progettista industriale:
<https://www.ilprogettistaindustriale.it/dfma-una-tecnica-green/>
- Il legno negli edifici di Jean Prouvé: un materiale industriale:
<https://www.jstor.org/stable/44215909?seq=1>

- Kierantimberlake:
<https://kierantimberlake.com/page/cellophane-house>
- Lustron Corporation. “Case compatte e belle di Lustron: Newport con due e tre camere da letto.” Brochure aziendale:
https://ohiohistorycentral.org/w/Lustron_Corporation
- MIT Press Open Architecture and Urban Studies:
<https://mitp-arch.mitpress.mit.edu/>
- Pagano.it:
<https://www.pagano.it/storia-del-legno-nelle-costruzioni/>
- Researchgate:
<https://www.researchgate.net/>
- Ritratto dell’azienda: le case prefabbricate di Niesky:
https://www.dach-holzbau.de/artikel/firmenportrait-die-fertighaeuser-von-niesky_3179290.html
- Rothoblaas:
<https://www.rothoblaas.it/>
- Shrewsburyflaxmillmaltings:
<https://www.shrewsburyflaxmillmaltings.org.uk/flax-mill-maltings-story2>
- Sutekiwood:
<https://www.sutekiwood.com/>
- Tandfonline:
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207543.2018.1549795>
- The adoration of the joint:
<https://rodel.design/journal/entry/the-adoration-of-the-joint>

- Thefuturohouse:
<https://thefuturohouse.com/>

- Thinkwood:
<https://www.thinkwood.com/projects/brock-commons-tallwood-house>

- Timber city:
<http://timbercity.org/index.html>

- U.S Navy Quonset Hut:
<http://quonset-hut.blogspot.com/>

- Wikihouse:
<https://www.wikihouse.cc/Home>

- X-fix:
<https://www.x-fix.at/>

- 3dprintingmedia:
<https://www.3dprintingmedia.network/mx3d-3d-prints-steel-connector-takenaka/>

- Stienstra David, Introduction to design for (cost effective) assembly and manufacturing:
https://www.academia.edu/28078403/Introduction_to_Design_for_Cost_Effective_Assembly_and_Manufacturing

- The DfMA Housing Manual:
https://docs.google.com/document/d/1OiLXP7QJ2h4wMbdmYPQByAi_fso7zWjLSdg8Lf4KvaY/edit

THE HOUSE AS A PRODUCT:

https://web2.mlp.cz/koweb/00/04/36/32/96/the_house_as_a_product.pdf

- Timber in the buildings of Jean Prouvé: An industrial material:
https://www.researchgate.net/publication/289989870_Timber_in_the_buildings_of_Jean_Prouve_An_industrial_material

- Anya-Burakowski-Question-1-Ditherington-Flax-Mill-Essay:
<https://newn.cam.ac.uk/wp-content/uploads/2018/06/Anya-Burakowski-Question-1-Ditherington-Flax-Mill-Essay.pdf>

- Mid 19th century commercial building by James Bogardus
https://www.icomos.org/monumentum/vol9/vol9_5.pdf

