

Politecnico
di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Architettura
per il progetto sostenibile. a.a. 2023/2024

Tesi di laurea Magistrale

Le costruzioni in legno e la sfida dell'innovazione nel settore edile:
I processi per l'(auto)costruzione di abitazioni unifamiliari nel contesto europeo per
un supporto allo sviluppo di strategie di decarbonizzazione

candidato: Jean Carlos Lapo Procel
relatore: Guido Callegari
correlatore: Paolo Simeone



**Politecnico
di Torino**

POLITECNICO DI TORINO

Laurea magistrale in Architettura per il progetto sostenibile
a.a. 2023/2024

**Le costruzioni in legno e la sfida
dell'innovazione nel settore edile:
I processi per l'(auto)costruzione di abitazioni
unifamiliari nel contesto europeo per
un supporto allo sviluppo di strategie di
decarbonizzazione**

Candidato

Jean Carlos Lapo Procel

Relatore e correlatore

Guido Callegari

Paolo Simeone

Abstract

Affrontando l'inevitabile esigenza di ridurre l'impatto ambientale nel settore edile, il dibattito sulle tecnologie impiegate per la costruzione di abitazioni unifamiliari, rappresentative del 65% della tipologia abitativa più comunemente edificata nel territorio europeo sul 75% delle costruzioni residenziali totali, emerge come un aspetto cruciale da affrontare, considerando le forti implicazioni di tali scelte nel processo di decarbonizzazione.

In risposta a tale necessità, sono state emanate diverse leggi e normative, come il Green Deal, per incentivare l'utilizzo di materiali eco-compatibili capaci di ridurre l'impatto ambientale delle costruzioni edili, come il legno, capace di stoccare 0,765 tonnellate di CO₂ ogni m³.

L'avanzamento delle tecnologie nel settore edilizio, integrando la digitalizzazione nei processi industriali dell'edilizia 4.0, ha dato vita a sistemi costruttivi off-site che si basano sulla prefabbricazione di kit abitativi impiegando metodologie produttive e costruttive innovative come il DfMA e gli MMC. I materiali utilizzati includono legno ingegnerizzato come compensato, OSB, legno lamellare e legno microlamellare, tutti impiegati in pannelli di dimensioni ridotte per agevolarne la movimentazione. Questi kit sono composti da componenti leggeri che possono essere facilmente assemblati in cantiere attraverso connessioni a secco, in modo autonomo, mediante l'autocostruzione, o in modo assistito.

Il coinvolgimento degli utenti nel processo di costruzione, permette di ridurre le spese

complessive di costruzione, rendendo più accessibile l'acquisto di abitazioni di qualità a costi contenuti; Aspetto particolarmente importante considerando l'incremento costante dei prezzi delle nuove abitazioni del 46% dal 2010 al 2023.

Tale processo quindi, combina tecnologie per la decarbonizzazione del settore edilizio residenziale con metodologie costruttive mirate a ridurre i costi complessivi delle abitazioni, facilitando in questo modo un significativo aumento nella costruzione di nuove residenze eco-sostenibili ed eco-compatibili.

Sulla base di queste tematiche, il lavoro di tesi si concentra sull'analisi delle tecnologie impiegate nei sistemi costruttivi leggeri, esaminando i benefici ambientali della prefabbricazione di kit abitativi in legno, dell'autocostruzione e della loro conformità normativa nel territorio europeo; Concludendo con l'analisi di cinque casi studio di sistemi costruttivi leggeri sviluppati nel Regno Unito e in Francia, nati da start up come WikiHouse e PopUp House, da architetti come U-Build, da designer come Facit Homes e da produttori come Blokiwood. Questi sistemi combinano tecnologie digitali con processi produttivi e costruttivi off-site, promuovendo nuovi metodi per la costruzione abitativa al fine di favorire l'adozione di tali sistemi per la trasformazione degli impianti di produzione e lavorazione verso una costruzione sostenibile e a bassa emissione di carbonio nel settore edile residenziale, in linea con gli obiettivi del Green Deal.

Indice

Abstract	4
1. Introduzione	8
2. La tecnologia per i sistemi leggeri	14
2.1 Dall'industrializzazione alla digitalizzazione	16
2.2 Evoluzione dei sistemi prefabbricati leggeri	20
2.2.1 Industrializzazione e standardizzazione dal XVIII' e XIX' secolo	24
2.2.2 Meccanizzazione e produzione di massa del XIX' e XX' secolo	27
2.2.3 Industrializzazione automatizzata de XX' secolo	34
2.2.4 Digitalizzazione dell'industrializzazione nel XXI' secolo	38
2.3 I metodi produttivi DfMA e DfDMA	50
2.4 Modern Method of Construction (MMC)	56
3. La (auto)costruzione con sistemi leggeri	70
3.1 Decarbonizzazione del settore edile	72
3.2 Prefabbricazione dei sistemi leggeri in legno	80
3.3 Kit abitativi	86
3.4 L'autocostruzione	92
3.4.1 L'autocostruzione in Europa	94
4. Casi studio di sistemi leggeri	100
4.1 Facit Homes, Londra, UK, 2007	102
4.2 WikiHouse, Londra, UK, 2011	124
4.3 Blokiwood, Francia, 2012	150
4.4 PopUp House, Francia, 2014	166
4.5 U-Build, Londra, UK, 2015	184
4.6 Rappresentazione sistemi costruttivi	204
4.7 Confronto dei sistemi	216
Conclusioni	224
Bibliografia	228
Sitografia	231

cp.1 Introduzione

Nell'era in cui l'innovazione e la sostenibilità guidano il dibattito sulle abitazioni del futuro, i sistemi prefabbricati con prodotti leggeri a base legno emergono come un catalizzatore fondamentale per la trasformazione del settore edilizio. Questi sistemi fungendo da crocevia tra tecnologie avanzate, processi innovativi e decarbonizzazione, presentandosi come una modello accessibile ad un'architettura "carbon neutral"¹ attraverso la proposta di sistemi adattabili anche da imprese ordinarie, integrando sul mercato sistemi costruttivi volti ad una costruzione semplificata e velocizzata facilmente assemblabile ed autocostruibile.

L'autocostruzione è una pratica che fonda le radici nell'antichità, dalla costruzione spontanea di abitazioni, dando vita alle forme abitative radicate nelle culture locali che, negli anni, si è evoluta adattandosi alle mutazioni dei contesti moderni e contemporanei, mettendo le basi per l'autocostruzione organizzata. Questa pratica moderna si focalizza nella ricerca di processi ed innovazione tecnologica, implementando un approccio strutturato alla progettazione basato sul Know-How dei sistemi proposti, volta all'assemblaggio di abitazioni con componenti leggeri a base legno, progettati per essere montati secondo delle regole e procedimenti ben precisi. Sulla base della possibilità di semplificare la costruzione di un'abitazione, la tesi analizza il tema della prefabbricazione di sistemi costruttivi che favoriscono un assemblaggio di componenti leggeri a base legno improntati alla pratica dell'au-

1. Carbon Neutral significa avere un equilibrio tra l'emissione di carbonio e l'assorbimento di carbonio dall'atmosfera nei carbon sink (pozzi di assorbimento di carbonio ovvero strumenti che sottraggono CO2 dall'atmosfera). European Parliament. (26 settembre 2019). What is carbon neutrality and how can it be achieved by 2050? <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20190926STO62270/what-is-carbon-neutrality-and-how-can-it-be-achieved-by-2050>

tocostruzione organizzata, riportando l'evoluzione dei processi tecnologici che hanno portato alla definizione dei 5 sistemi innovativi analizzati come casi studio. Questi sistemi sono nati da una start up e sistema open source (WikiHouse), da Start Up (PopUp House), da architetti (U-Build), da designer (Facit Homes) e da produttori (Blokwood), i quali hanno basato l'integrazione della digitalizzazione nei processi progettuali, produttivi e costruttivi utilizzando approcci e metodi diversi, in modo da integrare sul mercato europeo un'alternativa innovativa per la costruzione semplificata di abitazioni sostenibili e di qualità in modo semplice, veloce ed economico.

Gli impatti ambientali significativi del settore edilizio sono diventati una leva cruciale per orientare le scelte verso soluzioni sostenibili, causa del 40% di consumo energetico dell'UE e del 36% di emissioni di gas serra legati all'energia². Tra le diverse tipologie costruttive, come evidenzia il rapporto "Europe's buildings under the microscope: A country-by-country review of the energy performance of buildings"³, pubblicato nel 2011 dal Buildings Performance Institute Europe (BPIE), le costruzioni di abitazioni residenziali in Europa equivalgono al 75% di tutte le tipologie costruttive. Le abitazioni unifamiliari rappresentano il 64% delle costruzioni, mentre case e appartamenti multifamiliari costituiscono il restante 36%. Inoltre, facen-

2. Commissione europea. (n.d.). Energy Performance of Buildings Directive. Energy. Recuperato da https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en

3. Marina Economidou (ottobre 2011) EUROPE'S BUILDINGS UNDER THE MICROSCOPE A country-by-country review of the energy performance of buildings [File PDF], Buildings Performance Institute Europe (BPIE), ISBN: 9789491143014, pag. 8 di 132, Estratto da https://bpie.eu/wp-content/uploads/2015/10/HR_EU_B_under_microscope_study.pdf

do riferimento alle emissioni scaturite dalle soluzioni abitative unifamiliari della ricerca "Benchmarks for environmental impact of housing in Europe: Definition of archetypes and LCA of the residential building stock"⁴, è possibile risalire alle abitazioni unifamiliari dei climi freddi europei, come le costruzioni maggiormente impattanti, assumendo oltre l'80% degli impatti delle 11 categorie d'impatto su 15⁵. Questi dati perciò indicano chiaramente che le case unifamiliari rappresentano la forma predominante di costruzione abitativa e allo stesso tempo anche una delle fonti principali di inquinamento ambientale, richiedendo l'adozione di soluzioni più sostenibili, divenendo quindi tipologia costruttiva residenziale presa in esame da questa tesi.

Secondo i protocolli energetico-ambientali della "Green Guide: The Design, Construction, and Operation of Sustainable Buildings" della famiglia LEED-GBC, un edificio è sostenibile quando è capace di:

"Ridurre al minimo il consumo di risorse naturali attraverso un utilizzo più efficiente delle risorse non rinnovabili; Ridurre al minimo le emissioni che hanno un impatto negativo sul nostro ambiente e sull'atmosfera del nostro

planeta; Ridurre al minimo lo scarico dei rifiuti solidi e degli effluenti liquidi, compresi i rifiuti di demolizione e degli occupanti, le fognature e le acque piovane e le infrastrutture associate; Ridurre al minimo gli impatti negativi sugli ecosistemi del sito; Massimizzare la qualità dell'ambiente interno, inclusa la qualità dell'aria, il regime termico, l'illuminazione, l'acustica/rumore e gli aspetti visivi per fornire percezioni fisiologiche e psicologiche umane confortevoli".⁶

Tutti questi criteri di sostenibilità trovano una reale applicazione nei processi che portano a soddisfare gli obiettivi climatici nati dalle conferenze delle nazioni unite, nel limitare il riscaldamento globale da 2°C, con l'Accordo di Parigi della COP21 del 2015, a 1,5°C, con la COP26 di Glasgow del 2021, entro il 2050. L'Europa risponde a questi obiettivi risponde con il "Green Deal"⁷, un "pacchetto di iniziative strategiche che mira ad avviare l'UE sulla strada di una transizione verde, con l'obiettivo ultimo di raggiungere la neutralità climatica entro il 2050", sottolineando la necessità di intraprendere approcci più sostenibili in tutti i settori tra cui anche quello edile, in modo da ridurre le emissioni nette di gas a effetto serra di almeno il 55% entro il 2030 e di raggiungere la neutralità climatica entro il 2050. A tale scopo il CESE (Comitato economico e sociale europeo)⁸ afferma che "i biomateriali da costruzione" sono "uno strumento importante per la transizione

6. William Coad, Tom Lawrence. (2006) ASHRAE GreenGuide Design, Construction, and Operation of Sustainable Buildings Fifth Edition. W. Stephen Comstock.

7. Consiglio dell'Unione Europea. (n.d.). Green Deal. Recuperato da <https://www.consilium.europa.eu/it/policies/green-deal/>

8. Parere del Comitato economico e sociale europeo sul tema «Edilizia in legno per la riduzione di CO2 nel settore edile»

Introduzione

verde" incoraggiando l'utilizzo del legno al fine di ridurre le emissioni di carbonio, capaci di ridurre il 40% delle emissioni di CO2 rispetto ai metodi tradizionali come il calcestruzzo. Questo risultato è portato sia dall'energia primaria del legno di 1Mj/t, nettamente inferiore rispetto ai materiali tradizionali (4 cls, 60 acciaio e 250 per l'alluminio), che dalla capacità di stoccare CO2 nel corso di crescita del materiale che equivalgono a 0,765 t per metro cubo di legno (misto legno tenero e duro). Inoltre, riguardo alla natura versatile del legno, legata a sistemi che ne permettono il riutilizzo e riciclo controllato, la CESE afferma: "il legno richiede un consumo nettamente inferiore dell'energia cosiddetta «grigia», ossia di energia utilizzata per la produzione, il trasporto, lo stoccaggio e il riciclaggio di prodotti", evidenziando maggiormente i benefici ambientali portati dall'utilizzo del legno nelle costruzioni.

Dal punto di vista tecnologico, il processo di decarbonizzazione del settore edile è supportato dall'integrazione della digitalizzazione nei sistemi industriali. Questa integrazione ha permesso una lavorazione innovativa del legno, attraverso l'utilizzo dei sistemi produttivi DfMA (Design for Manufacture & Assembly), in modo da produrre componenti prefabbricati progettati per l'assemblaggio, lavorati da macchine a controllo numerico CNC di piccole dimensioni, viste le dimensioni contenute dei componenti da produrre.

Questo approccio alla produzione consente una lavorazione semplificata senza la necessità di grandi impianti produttivi, come per esempio per il progetto di WikiHouse in Brasile, che è stato capace di produrre

numerosi kit abitativi per un'intera comunità, con un solo router CNC; oppure, dal punto di vista de emissioni ridotti dovute al trasporto dei componenti leggeri di piccole dimensioni, lo si ha con il sistema produttivo MPF (Mobile Production Facility)⁹ di Facit Homes, con il quale è possibile produrre direttamente i componenti in cantiere, in modo da risparmiare tempo, costi ed emissioni. Ai sistemi tecnologici produttivi inoltre, si legano quelli costruttivi portati dall'impiego degli MMC (Modern Method of Construction), i quali rappresentano l'innovazione contemporanea e digitalizzata dei metodi costruttivi tradizionali.

Legando quindi i vantaggi ecologici del legno con sistemi produttivi DfMA e costruttivi MMC è stato possibile generare i sistemi innovativi analizzati (Facit Homes, WikiHouse, Blokiwood, PopUp House e U-Build) che permettono la progettazione dei sistemi costruttivi strutturali formati da blocchi scatolari, composti da pannelli bidimensionali in compensato e OSB, leggeri e facili da assemblare, rivoluzionando totalmente i metodi costruttivi abitativi tradizionali. L'insieme di queste tecnologie perciò innesca un processo verso un'edilizia sostenibile che applica i principi dei sistemi off-site capace di decarbonizzare il settore edile e rispettare gli obiettivi del Green Deal europeo.

Sulla base di tali constatazioni, si è deciso di concentrare il lavoro di tesi sull'analisi dei sistemi costruttivi prefabbricati con componenti leggeri che facilitano l'assemblaggio in cantiere in modo autonomo, tramite l'autocostruzione, o in modo assistito.

9. Facit Technologies. (n.d.). Mobile Production. Recuperato da <https://www.facit-technologies.com/mobile-production>

Per comprendere meglio questo processo, la tesi si articola su 3 parti:

La prima parte esamina le tecnologie applicate ai sistemi prefabbricati leggeri analizzando l'evoluzione dei processi tecnologici che hanno portato all'integrazione della digitalizzazione nei sistemi industriali scaturendo i casi studio di sistemi costruttivi leggeri analizzati nel terzo capitolo, approfondendo successivamente la prefabbricazione in legno, il metodo produttivo DfMA e i sistemi costruttivi MMC, in modo da comprendere le possibili applicazioni di tali metodi nei sistemi prefabbricati con componenti leggeri.

La seconda parte si focalizza sullo stato dell'arte della prefabbricazione leggera avvenuta mediante kit abitativi, riportandone i vantaggi tecnologici ed ambientali per poi analizzare la condizione di sistemi leggeri volti all'assemblaggio semplificato nel territorio europeo, in modo da delineare lo stato di adattamento ed applicazione di questi sistemi nel territorio europeo.

La terza parte coniuga il versante tecnologico della prima parte con quello operativo della seconda parte, esplorando 5 casi studio di sistemi costruttivi mirati a semplificare la realizzazione di abitazioni unifamiliari in legno attraverso l'assemblaggio di componenti leggeri che favoriscono, in alcuni casi, l'autocostruzione. Si esaminano casi europei come Blokiwood e PopUp House per il contesto francese e Facit Homes, WikiHouse e U-Build per il Regno Unito. L'analisi dettagliata di ciascun caso studio consente di acquisire una comprensione

approfondita dei processi che contribuiscono o ostacolano l'adozione di questi sistemi in modo da fornire le informazioni necessarie che possano portare l'adozione degli approcci tecnologici che hanno portato alla definizione di questi sistemi da parte di aziende tradizionali e/o ordinarie. Questo approfondito è supportato dal confronto delle diversità di ogni sistema attraverso schede di confronto sulle, tecnologie costruttive, aspetti produttivi di ciascun sistema e peculiarità del sistema.

L'obiettivo di tutte e tre le fasi è quello di mettere in luce le tecnologie, i vantaggi eco-ambientali dei kit, l'adozione dei sistemi nel territorio europeo e le peculiarità di ciascuna soluzione analizzata, in modo da fornire una panoramica completa dei differenti approcci nel contesto della prefabbricazione di sistemi leggeri per la costruzione di abitazioni unifamiliari mediante sistemi produttivi e costruttivi decarbonizzanti.

cp.2 La tecnologia per i sistemi leggeri

Nel corso degli anni, progressi nella conoscenza e tecnologia hanno portato a un'innovazione sostanziale nei sistemi produttivi e costruttivi, con un attuale focus sulla digitalizzazione tecnologica. Questo approccio integra la progettazione assistita da computer con la produzione avanzata, utilizzando processi di "Digital Fabrication"¹ che comprendono sia la produzione additiva delle stampa 3D che la lavorazione sottrattiva tramite taglio laser o macchine CNC, mirando alla decarbonizzazione del settore edile. Questo approccio favorisce la costruzione di abitazioni con componenti leggeri prefabbricati e modulari, assemblabili in cantiere mediante sistemi di connessione a secco, approcciandosi in questo modo all'impiego dei sistemi off-site, i quali offrono vantaggi notevoli in termini di tempi e costi², ma soprattutto dal punto di vista ambientale grazie alla riduzione degli sfridi, al riciclo dei materiali³ e, di conseguenza, a una notevole diminuzione delle emissioni totali. La tecnologia off-site, in questo contesto, coniuga approcci costruttivi e produttivi per raggiungere uno scopo ultimo mediante l'utilizzo avanzato della tecnologia. Infatti, come afferma Milan Zeleny⁴, la tecnologia è parte di un contesto più ampio che crea una connessione simbiotica tra uomo e macchina, guidata dalle necessità umane per produrre beni

con le tecnologie disponibili. Questi elementi costituiscono la totalità della tecnologia: l'Hardware (strumenti e macchinari), il software (regole e linee guida per l'hardware) e il brainware (scopi e giustificazioni dell'uso del software). Nel contesto dell'autocostruzione abitativa, l'hardware sono i macchinari per produrre i componenti, il software sono le regole per l'applicazione dell'hardware e l'utilizzo dei componenti costruttivi, e il brainware sono gli obiettivi di realizzare abitazioni sostenibili e decarbonizzanti. La relazione tra queste tre parti è circolare, beneficiando reciprocamente ed essendo indivisibili, poiché la tecnologia non può essere considerata tale se non comprende in modo equo ed essenziale tutte e tre le componenti. La tecnologia, d'altro canto, è parte di una più ampia "Rete di sostegno" che influisce su strutture organizzative e culturali attraverso regole e obiettivi. Questa rete guida e supporta l'applicazione della tecnologia, stabilendo relazioni essenziali che, nel caso dell'autocostruzione, fa riferimento alle regole e obiettivi su scala più ampia, di una città, di un paese o di un intero continente, come l'Europa. I problemi comuni nei sistemi tecnologici spesso derivano dalla separazione delle componenti interne della tecnologia e/o dalla mancanza di integrazione tra tecnologia e rete di sostegno. Sulla base di questa affermazione, l'analisi sull'autocostruzione abitativa mira a fornire una panoramica completa, analizzando le tecnologie produttive e costruttive nel tempo e la loro integrazione nella rete di sostegno europea, concludendo con l'analisi della tecnologia attraverso lo studio di casi specifici riguardanti i sistemi di autocostruzione abitativa leggera appartenenti alla rete di sostegno.

1. Neil Gershenfeld. (2012). *How to Make Almost Anything The Digital Fabrication Revolution*. Vol.91, n°6. *Foreign Affairs*.

2. Nick Bertram, Steffen Fuchs, Jan Mischke, Robert Palter, Gernot Strube, and Jonathan Woetzel. (luglio 2019). *Modular construction: From projects to products*. McKinsey & Company.

3. Giulia Vignati, Gianluca Pozzi, Elisabetta Ginelli. (4 luglio 2023) *LIFE CYCLE THINKING PER L'ORGANISMO EDILIZIO; IL VALORE DEL PROCESSO PROGETTUALE NELLA CIRCOLARITÀ*. *Ingegneria dell'Ambiente* Vol. 10 n. 2/2023. Politecnico di Milano. dx.doi.org/10.32024/ida.v10i2.461

4. Milan Zeleny (2007) *La gestione a tecnologia superiore e la gestione della tecnologia superiore*, pubblicato in Italia su Bocchi, G. Ceruti, M. (a cura di) *La sfida della complessità* Mondadori, Milano, 2007 - seconda ristampa (prima stampa nel 1985)

2.1

Dall'industrializzazione alla digitalizzazione

L'industrializzazione del settore edilizio avvenuta a cavallo tra il XXIII' e XX' secolo⁵ con la prima e la seconda rivoluzione industriale, ha subito una trasformazione significativa, abbandonando le soluzioni tradizionali a favore di metodologie tecnologicamente avanzate. Il panorama attuale è caratterizzato da approcci innovativi che definiscono sistemi avanzati, mettendo in risalto i processi produttivi digitali additivi e sottrattivi della "digital fabrication"⁶, un tratto distintivo dell'edilizia 4.0, termine introdotto per la prima volta nel 2011 "all'Hannover Industrial Fair"⁷, con riferimento al contemporaneo contesto dell'industria 4.0. Questo approccio ridefinisce il concetto di edilizia attraverso l'utilizzo di soluzioni "off-site", sfruttando appieno il potenziale delle fabbriche e del lavoro in loco.

Secondo Thomas Miorin, presidente di Rebuild Italia "un approccio all'edilizia 4.0 può essere oggi l'unico in grado di affrontare i processi di decarbonizzazione su larga scala", traendo beneficio dai sistemi "off-site", dove si fa riferimento alla fabbrica come "[...] luogo

dove le attività possono essere codificate e ripetute e in parte standardizzate, realizzate in un luogo a temperatura costante, non dipendente dal meteo. Si riesce così ad aumentare la qualità e a diminuire i costi. Abbracciando poi quello che è il passaggio all'edilizia 4.0, attraverso l'infrastruttura digitale, si va dal progetto, alla manifattura e all'assemblaggio"⁸. Sulla base di questo concetto, come verrà illustrato nel capitolo "2.1.4 Digitalizzazione" e dall'analisi dei casi studio del capitolo 4, le tecnologie moderne utilizzate nei sistemi produttivi e costruttivi prefabbricati e modulari, sono orientate alla produzione di sistemi costruttivi per l'assemblaggio semplificato volto all'autocostruzione. Questi sistemi coinvolgono l'assemblaggio di componenti leggeri prodotti attraverso il processo sottrattivo della digital fabrication, con la lavorazione di pannelli in compensato e OSB in fabbrica, successivamente assemblati in cantiere. Tali approcci, allineati con i principi dei sistemi off-site e integrati nell'ambito dell'edilizia 4.0, si propongono come tecnologie avanzate mirate a migliorare le condizioni ambientali del settore edile.

Nel contesto dei sistemi leggeri autocostruibili quindi, i componenti prefabbricati

8. Leonardo Berlen (19 aprile 2019). Intervista con Thomas Miorin, presidente di Rebuild Italia: Uno dei filoni dei metodi moderni di costruzione è quello dell'edilizia off-site. Cos'è, quali opportunità offre al settore e come il nostro paese potrebbe svilupparla al meglio. QualEnergia. <https://www.qualenergia.it/articoli/edilizia-industrializzata-e-digitale-riqualificare-tagliando-tempi-e-costi/?print=print>

5. Massimo L. Salvadori. (2006). Rivoluzione industriale. Enciclopedia dei ragazzi. Treccani. [https://www.treccani.it/enciclopedia/rivoluzione-industriale_\(Enciclopedia-dei-ragazzi\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/rivoluzione-industriale_(Enciclopedia-dei-ragazzi)/)

6. Neil Gershenfeld. (2012). How to Make Almost Anything The Digital Fabrication Revolution. Vol.91, n°6. Foreign Affairs <https://cba.mit.edu/docs/papers/12.09.FA.pdf>

7. Nabil Suleiman (29 agosto 2022). Breve Storia delle "Rivoluzioni Industriali" dall'industria 1.0 alla 4.0, La Qualità nei diversi Orientamenti industriali. LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/breve-storia-delle-rivoluzioni-industriali-10-alla-40-nabil-suleiman/?originalSubdomain=it>

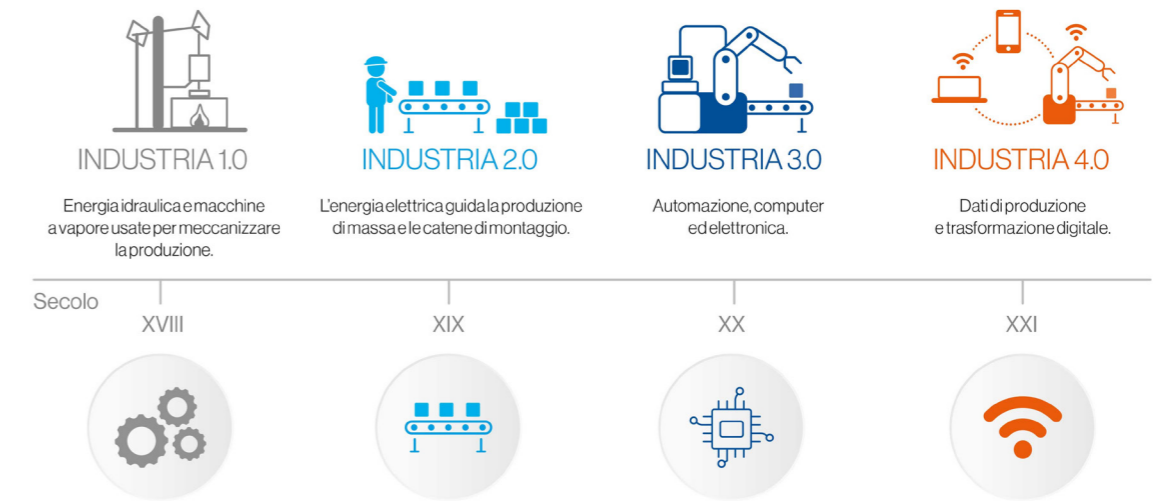


Fig.1. Le 4 fasi di sviluppo dello sviluppo tecnologico e industriale. Dall'industria 1.0 all'industria 4.0. Fonte: <https://www.mecalux.it/articoli-sulla-logistica/trasformazione-digitale-yasel-costa>

che costituiscono un'abitazione, possono essere assemblati autonomamente grazie a una progettazione che tiene conto dello spostamento e della posizione di ciascun componente. Questo approccio progettuale legato ai processi produttivi ha dato vita a termini come "prefabbricazione edilizia" o "edilizia off-site", entrambi sinonimi di "industrializzazione edilizia", definita da Nardi G.M. nel libro "Progettazione architettonica per Sistemi e Componenti"⁹ come "una gamma di diversi metodi e procedure di costruzione basati sulla standardizzazione e sull'uso di materiali standardizzati", legando quindi le innovazioni dell'industrializzazione alla prefabbricazione e modularità di componenti per la costruzione di abitazioni assemblabili, dando vita all'evoluzione del settore edile abitativo. Tale innovazione è dipendente dall'avanzamento tecnologico derivante dalle diverse rivoluzioni indu-

9. Nardi G.M. (1976). Progettazione architettonica per Sistemi e Componenti, Franco Angeli, Milano

striali che hanno portato a variare in modo radicale i sistemi tecnologici adoperati nella produzione e costruzione.

La fase iniziale, denominata **Industria 1.0**, si collega alla prima rivoluzione industriale compresa tra il 1740 e il 1840¹⁰. Durante questo periodo, furono scoperte nuove fonti di combustibile, come il vapore e il carbone, accelerando l'introduzione di macchinari complessi nella produzione. Ciò condusse alla scoperta e alla lavorazione di materiali fondamentali per l'innovazione nel settore edile, tra cui vetro, ghisa e ferro. La seconda fase, conosciuta come **Industria 2.0**, si sviluppò durante la seconda rivoluzione industriale, che ebbe luogo tra il 1870 e il 1950¹¹. Durante questo periodo, nuove fonti di energia come l'elettricità e il petrolio emersero, sostituendo gradual-

10. Paul Bairoch. (1994). Industrializzazione. Enciclopedia delle scienze sociali. Treccani. [https://www.treccani.it/enciclopedia/industrializzazione_\(Enciclopedia-delle-scienze-sociali\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/industrializzazione_(Enciclopedia-delle-scienze-sociali)/)

11. L. Guaragna. (2018). La seconda rivoluzione industriale (1870-1950). leoneg.it. <http://www.leoneg.it/archivio/Industrializzazione%20e%20societa%20di%20massa.pdf>



Fig.2. Catena di montaggio di Henry Ford. Produzione del caccia Bell P-39Q-30-BE Airacobra a Wheatfield, durante la Seconda guerra mondiale. Fonte: https://it.wikipedia.org/wiki/Produzione_di_massa

mente il vapore. Questa transizione segnò l'inizio della produzione di massa e dell'implementazione della catena di montaggio, con la prefabbricazione che divenne l'emblema dell'industria 2.0. Inoltre, la produzione e lavorazione dell'acciaio rappresentarono importanti progressi strutturali, consentendo un alleggerimento verticale delle strutture costruttive.

Nella terza fase dell'industria, conosciuta come **Industria 3.0** e compresa tra il 1949¹² e i primi anni del XXI' secolo, si fa riferimento alla terza rivoluzione industriale derivante dall'introduzione dell'elettronica, dell'informatica e di Internet negli anni. Questi sviluppi hanno consentito nuovi livelli di automazione, dando inizio alla "Digital Transformation"¹³ delle fabbriche, dove l'automazione è integrata nei proces-

si produttivi con un focus sulla produzione di qualità anziché sulla quantità, come nella fase dell'industria 2.0. Durante questa fase, la connessione tra macchine e computer è diventata essenziale, permettendo la generazione di modelli 3D innovativi attraverso software avanzati per migliorare la precisione nella produzione e costruzione. I processi produttivi hanno richiesto maggiore precisione, integrando le macchine CNC (Computer Numerically Controlled), che lavorano i materiali attraverso istruzioni codificate. Inoltre, sono stati integrati i modelli CAD con i modelli CAM (Computer Aided Manufacturing)¹⁴ per la produzione di elementi costruttivi. In questa fase, la prefabbricazione dei componenti leggeri è stata contrastata dall'obiettivo comune di

14. CAM (Computer Aided Manufacturing) consiste nell'uso di software e macchinari controllati da computer per automatizzare un processo di produzione. Fonte articolo online: Marti Deans. (17 marzo 2021). What is CAM (Computer-Aided Manufacturing)? Autodesk. [https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/computer-aided-manufacturing-beginners/#:~:text=Computer%20Aided%20Manufacturing%20\(CAM\)%20is%20the%20use%20of%20software%20and,to%20automate%20a%20manufacturing%20process](https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/computer-aided-manufacturing-beginners/#:~:text=Computer%20Aided%20Manufacturing%20(CAM)%20is%20the%20use%20of%20software%20and,to%20automate%20a%20manufacturing%20process)

12. Paolucci, Signorini. (2010). GLI ANNI DELLA TERZA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE. p.376. Zanichelli editore S.p.A. Bologna. Edizione rossa. https://online.scuola.zanichelli.it/paolucci/volume3/archiviocontemporanea/paolucci_terza-rivoluzione-industriale.pdf

13. PMI (s.d.). Information Technology Advancements in Project Management. PMI. <https://www.pmi.it/tag/information-technology>

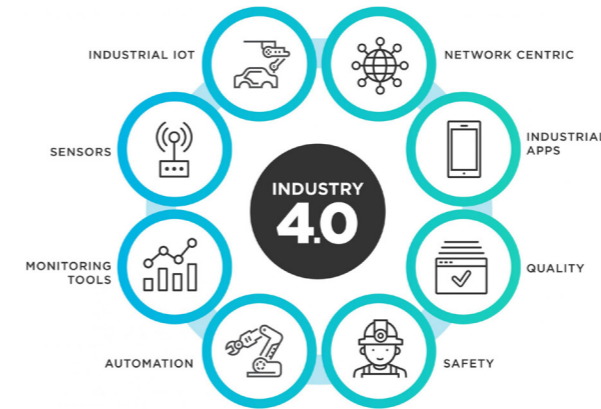


Fig.3. L'industria 4.0. Fonte: <https://www.intelegain.com/the-ultimate-guide-to-iiot-driven-digital-transformation-in-manufacturing/>

ottenere componenti di grandi dimensioni per ridurre le operazioni di assemblaggio. Le prime tre fasi hanno gettato le fondamenta per la rivoluzione industriale contemporanea, definita **Industria 4.0**. Questa fase è caratterizzata dall'introduzione dell'automazione industriale che sfrutta le più recenti innovazioni tecnologiche per la connessione tra macchina e uomo tramite la condivisione delle informazioni via web. Emergono concetti fondamentali, come le imprese "Smart", che sfruttano le potenzialità della rete "IoT (Internet of Things)"¹⁵, l'intelligenza artificiale basata sul "Machine Learning"¹⁶, ed il sistema progettuale BIM (Building Information Modeling)¹⁷, divenuto

15. L'Internet of Things consente alle aziende di monitorare, gestire e automatizzare le proprie operazioni in modo più efficiente e con maggiore controllo. Fonte pagina web: IBM. (s.d.) What is the internet of things (IoT)? IBM. <https://www.ibm.com/topics/internet-of-things>

16. Il "Machine Learning" è una branca dell'intelligenza artificiale (AI) e dell'informatica che si concentra sull'uso di dati e algoritmi per imitare il modo in cui gli esseri umani apprendono, migliorando gradualmente la precisione. Fonte pagina web: IBM. (s.d.) What is machine learning? IBM. <https://www.ibm.com/topics/machine-learning>

17. Il National Institutes of Building Science definisce il BIM come

to lo strumento di riferimento nel settore delle costruzioni, rispondendo a problemi tramite la prevenzione degli eventi grazie a una progettazione integrata. L'unione tra IoT e BIM ha permesso di migliorare il flusso di informazioni durante l'intero ciclo di vita di un prodotto, ottimizzare l'efficienza energetica e migliorare la sicurezza, in fabbrica e in cantiere, generando in questo modo la qualità dell'edilizia 4.0 quasi in modo automatico, come risultato intrinseco del processo produttivo digitale.

Tuttavia, l'applicazione di tali sistemi da parte delle aziende è ancora in una fase iniziale, poiché vi è una lenta adozione da parte di alcune aziende e coloro che li hanno adottati non ne sfruttano appieno le potenzialità¹⁸ ma, la necessità abitativa portata dall'aumento demografico costante, che portò alla crisi abitativa del 2005, legata alla necessità di apportare tecnologie innovative che portino a decarbonizzare il settore edile, sottolineano la necessità di promuovere sistemi tecnologici all'avanguardia che possano risolvere l'aumento demografico, l'aumento dei costi e l'aumento delle emissioni di CO₂, riconducibili all'autocostruzione abitativa off-site con componenti leggeri.

la "rappresentazione digitale di caratteristiche fisiche e funzionali di un oggetto". Il BIM quindi non è un prodotto né un software ma un "contenitore di informazioni" in cui inserire dati grafici (come i disegni) e degli specifici attributi tecnici (come schede tecniche e caratteristiche) anche relativi al ciclo di vita previsto. Consente di integrare in un modello le informazioni utili in ogni fase della progettazione, da quella architettonica a quella esecutiva, (strutture, impianti, sicurezza, manutenzione, prestazioni energetiche, ecc.) e gestionale (computi metrici, distinte fornitori, ecc.). Fonte: Orientatium. (s.d.). Building Information Modeling (BIM). Definizione. <https://www.orientatium.net/bim/definizione/#pa-ge-content>

18. R. Maskuriy, A. Selamat, K. N. Ali, P. Maresova, O. Krejcar (2019). Industry 4.0 for the Construction Industry—How Ready Is the Industry? MDPI. doi:10.3390/app9142819

2.2

Evoluzione dei sistemi prefabbricati leggeri

Ubicazione e diffusione

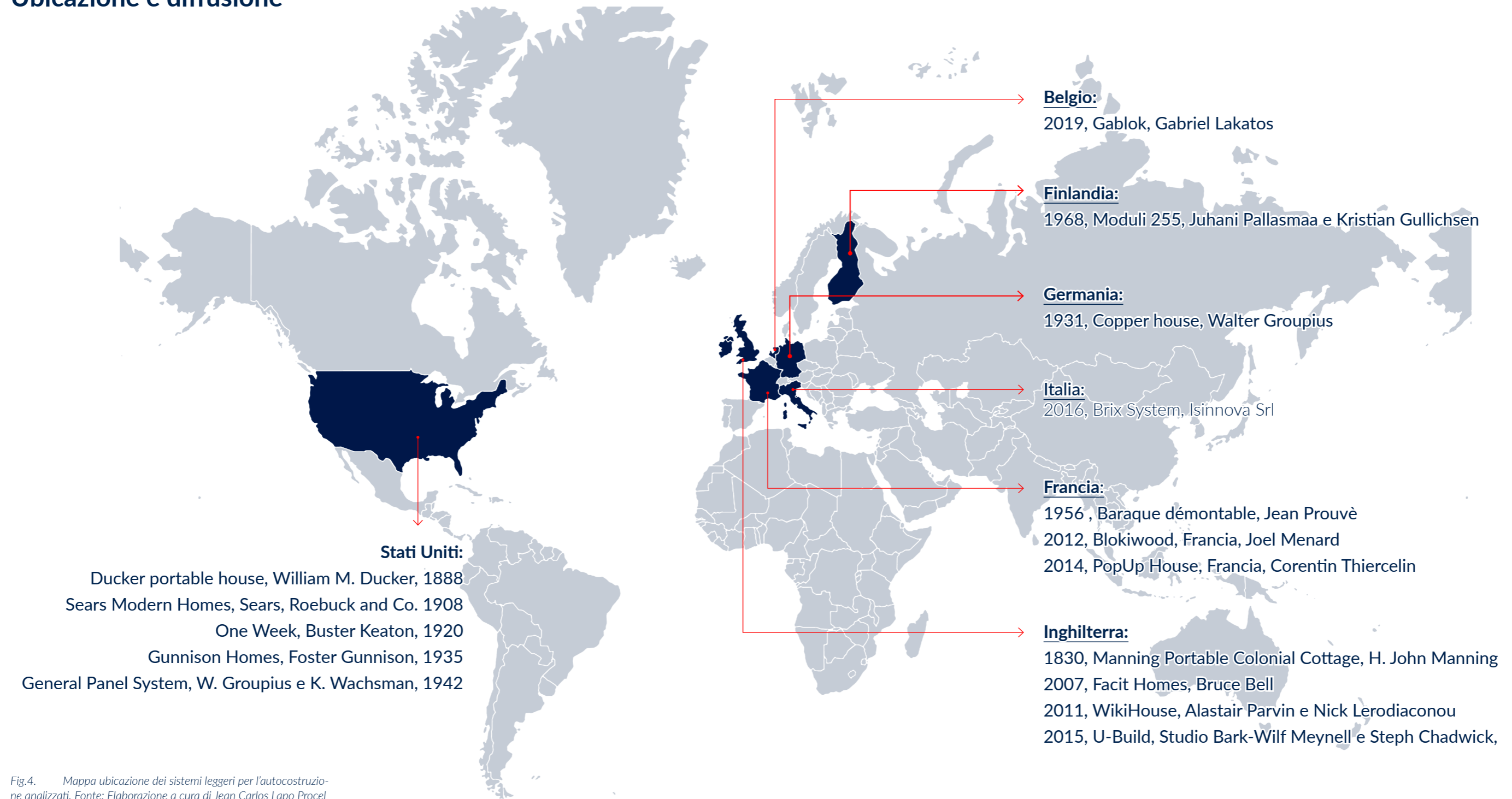


Fig.4. Mappa ubicazione dei sistemi leggeri per l'autoconstruzione analizzati. Fonte: Elaborazione a cura di Jean Carlos Lapo Procel

Time line

Manning Portable Colonial Cottage



📍 Inghilterra
👤 H. John Manning

Sears Modern Homes



📍 New York, USA
👤 Sears, Roebuck and Co.

Copper House



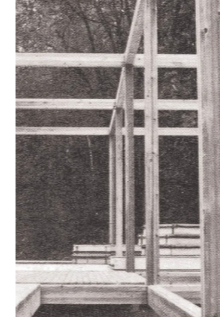
📍 Germania
👤 Walter Gropius

General Panel System



📍 Stati Uniti
👤 Walter Gropius e Konrad Wachsman

Moduli 255



📍 Finlandia
👤 Juhani Pallasmaa e Kristian Gullichsen

WikiHouse



📍 Inghilterra, UK
👤 Alastair Parvin e Nick Lerodiaconou

PopUp House



📍 Francia
👤 Corentin Thiercelin

Brix System

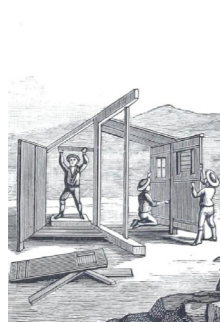


📍 Brescia, Italia
👤 Isinnova Srl

Sistemi costruttivi approfonditi nel capitolo 4

1830 1888 1908 1920 1931 1935 1942 1956

Ducker portable house



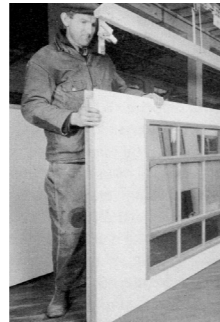
📍 New York, USA
👤 William M. Ducker

Cortometraggio One Week



📍 Stati Uniti
👤 Buster Katon

Gunnison Homes



📍 Stati Uniti
👤 Foster Gunnison

Baraque démontable



📍 Francia
👤 Jean Prouvé

1968 2007 2011 2012 2014 2015 2016 2019

Facit Homes



📍 Londra, UK
👤 Bruce Bell

Blokiwood



📍 Francia
👤 Joel Menard

U-Build



📍 Londra, UK
👤 Wilf Meynell e Steph Chadwick

Gablok



📍 Liegi, Belgio
👤 Gabriel Lakatos

2.2.1 Industrializzazione e standardizzazione del XVIII' e XIX' secolo

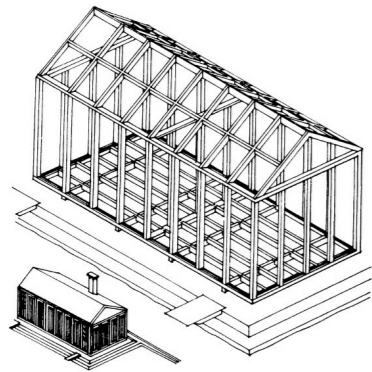


Fig.5. Struttura portante a telaio con componenti in legno di un "Manning Portable Colonial Cottage". Fonte: <http://quonset-hut.blogspot.com/2012/12/the-manning-portable-colonial-cottage.html>

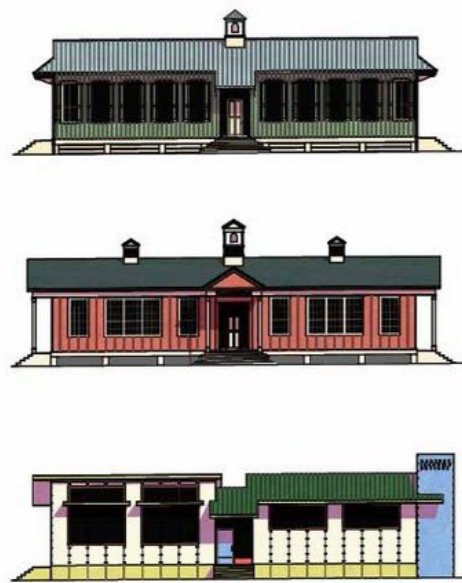


Fig.6. Destinazioni d'uso diversificate del cottage coloniale di H. John Manning. Venivano trasformati in scuole, ospedali e negozi. Fonte: <http://quonset-hut.blogspot.com/2012/12/the-manning-portable-colonial-cottage.html>

L'avvento dell'industrializzazione nel settore edilizio ha portato a una trasformazione radicale nella produzione e costruzione. Nonostante le scoperte legate al combustibile al carbone e l'utilizzo di materiali innovativi come vetro e ghisa, la prefabbricazione di sistemi costruttivi per l'assemblaggio di componenti leggeri in legno era già presente ben prima della prima rivoluzione industriale. Il primo esempio documentato di prefabbricazione abitativa risale al 1624, quando una casa prefabbricata fu spedita dall'Inghilterra agli Stati Uniti per soddisfare la crescente richiesta di costruzioni rapide nelle colonie inglesi. I componenti furono prodotti in fabbriche inglesi, assemblati e trasportati via mare al villaggio di pescatori di Cape Anne, nell'odierno Massachusetts.¹⁹ Tali sistemi vennero ripresi negli anni, infatti, durante la colonizzazione del Sud Africa nel 1820, furono inviate abitazioni prefabbricate chiamate "cottage", caratterizzate da telai di legno pretagliati con rivestimenti in assi di legno e pannelli completi di porte e finestre.

Questi sistemi furono successivamente rivisitati e adottati per la creazione dei "Manning Portable Colonial Cottage"²⁰ nel 1830 da H. John Manning in Inghilterra. Manning sviluppò questo modello come abitazione destinata a suo figlio, che stava emigrando in Australia. Il sistema prefabbricato includeva pannelli di legno, montanti scanalati, solai e capriate triangolari per il tetto, offrendo una struttura standar-

19. Baum Studio. (s.d). Prefabbricazione: tra storia e nuovi bisogni. Baum Studio. <https://www.baumstudio.ch/wp-content/uploads/2016/06/Prefabbricazione-tra-storia-e-nuovi-bisogni.pdf>
20. Lola Abraham, Shannon Kennelly, Charles Kim, Fiona Lu. (10 dicembre 2012). The Manning Portable Colonial Cottage (1833). Quonset-hut.blogspot. <http://quonset-hut.blogspot.com/2012/12/the-manning-portable-colonial-cottage.html>

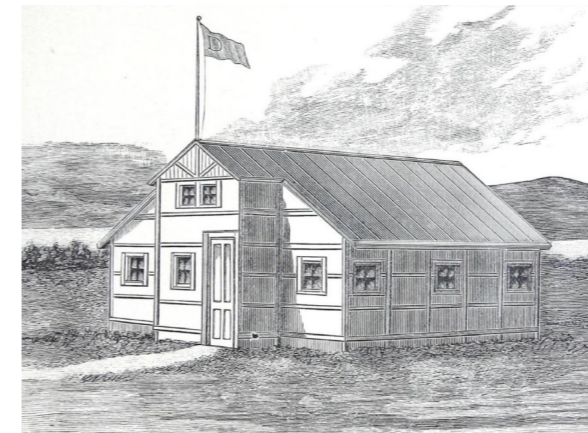


Fig.7. "Camping cottage" 4,8x5,4 m. Peso complessivo 907kg. Prezzo da \$375. Fonte: Ducker Portable House Co. (1888) Illustrated catalogue: Ducker Portable houses. New York. London, England

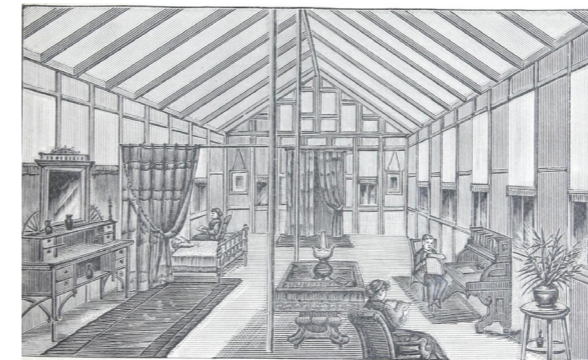


Fig.8. Interni di una "Ducker Portable Cottage" estiva. Fonte: Ducker Portable House Co. (1888) Illustrated catalogue: Ducker Portable houses. New York. London, England

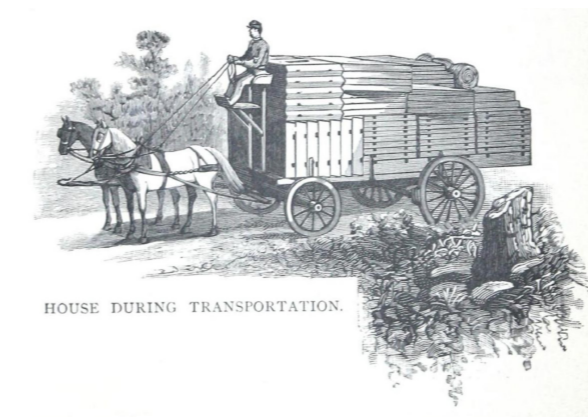


Fig.9. Pannelli di un'abitazione Ducker durante il trasporto. Fonte: Ducker Portable House Co. (1888) Illustrated catalogue: Ducker Portable houses. New York. London, England.

dizzata e intercambiabile. La peculiarità del progetto risiedeva nella sua mobilità, progettata per essere facilmente trasportabile, considerando le limitate infrastrutture di trasporto nelle nuove colonie. L'assemblaggio dell'intero edificio poteva essere realizzato con una chiave inglese standard, senza la necessità di giunti, tagli o chiodi, rendendolo adatto agli emigranti con risorse limitate e scarsa qualificazione tecnica. Il successo commerciale del cottage portò Manning a sviluppare diversi modelli di varie dimensioni e costi, diventando una soluzione chiave per le colonie britanniche in rapida espansione nel corso del XIX secolo. Un esempio ulteriore di sistema costruttivo standardizzato, nato dalla spinta dell'industrializzazione nel settore edilizio, è rappresentato dalla "Ducker Portable House". Fondato da William M. Ducker nel 1888, intorno a quel periodo, questo sistema, analogamente alle "Manning House", si contraddistingueva per la facilità di assemblaggio e disassemblaggio. Secondo quanto affermato nel catalogo "Illustrated catalogue: Ducker Portable houses"²¹, queste abitazioni presentavano il costo più basso rispetto a qualsiasi altra costruzione prefabbricata dell'epoca. Il sistema costruttivo di queste abitazioni si basava su pannelli in legno con sistemi di apertura e chiusura per agevolarne il trasporto e l'assemblaggio. L'assemblaggio dei pannelli avveniva senza l'uso di chiodi, viti o bulloni, ma attraverso sistemi ad incastro con ganci a U. Il pavimento, sollevato a otto pollici dal suolo, era progettato per evitare l'umidità, mentre il tetto, composto da pannelli

21. Ducker Portable House Co. (1888) Illustrated catalogue: Ducker Portable houses. New York. London, England.

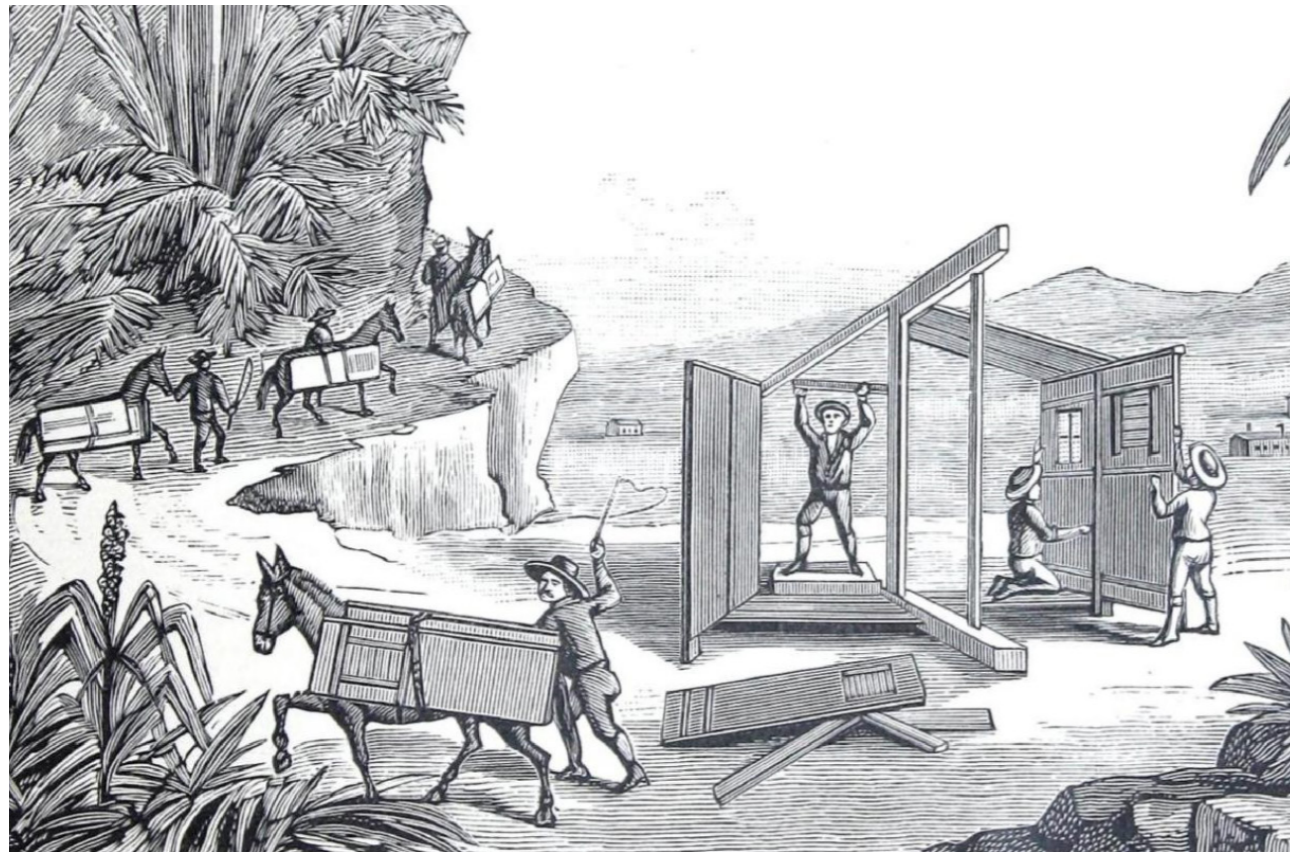


Fig.10. Trasporto dei componenti di una abitazione Ducker nelle città di montagna. Fonte: Ducker Portable House Co. (1888) Illustrated catalogue: Ducker Portable houses. New York. London, England

incastrabili, era coibentato ed ignifugo. La trave di colmo era suddivisa in più parti per agevolare il trasporto, e ogni estremità delle pareti integrava un sistema impiantistico di riscaldamento. Gli acquirenti avevano la possibilità di assemblare autonomamente queste case seguendo le istruzioni fornite, senza necessità di manodopera specializzata, e potevano completare l'operazione con soli due operatori in appena due ore. Nonostante i tratti distintivi della prefabbricazione in legno fossero già consolidati nel settore edilizio, il brevetto della "Ducker Portable House" rappresentò un'innovazione significativa, consentendo la creazione di strutture adatte a nuovi scopi e con varie

forme, evidenziando così l'alta flessibilità del sistema. Oltre alla progettazione dell'edificio, fu data attenzione alla progettazione degli arredi, facilitando il loro trasporto insieme ai componenti strutturali. Inoltre, l'integrazione di sistemi di riscaldamento permetteva al sistema di adattarsi efficacemente a diverse zone climatiche.

Questi elementi hanno non solo migliorato la qualità e la funzionalità degli edifici prefabbricati in legno, ma hanno anche aperto la strada a nuove idee innovative nel campo delle abitazioni prefabbricate.

2.2.2 Meccanizzazione e produzione di massa del XIX' e XX' secolo

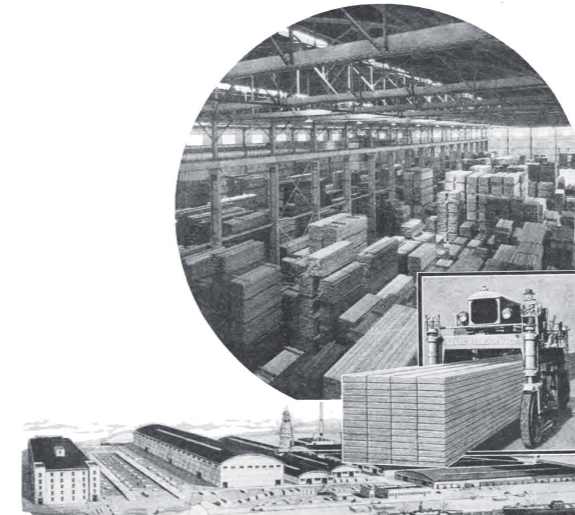


Fig.11. Fabbrica della Sears, Roebuck and Co. in Illinois e stoccaggio dei pannelli. Rielaborazione propria della fonte: https://dahp.wa.gov/sites/default/files/ModernHomessears1936.small_.pdf

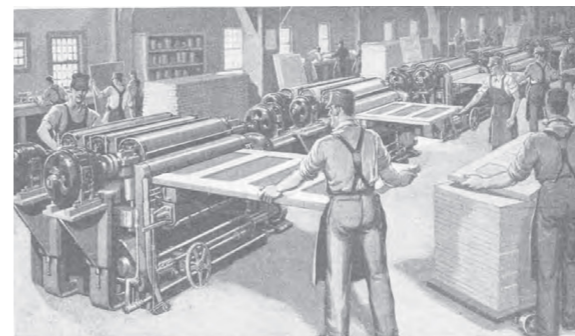


Fig.12. Macchine elettriche moderne per la produzione di massa di pannelli in legno della Sears, Roebuck and Co. Fonte: https://dahp.wa.gov/sites/default/files/ModernHomessears1936.small_.pdf

La prima vera trasformazione dell'industria avvenne nel XIX secolo, durante l'industria 2.0. In questo periodo, il settore edilizio sperimentò una significativa trasformazione, integrandosi nel nuovo processo industriale di produzione di massa. Questo cambiamento fu fortemente influenzato dalla meccanizzazione dei processi produttivi, prendendo spunto dal sistema di produzione in serie introdotto da Henry Ford. L'adozione di catene di montaggio permise la produzione di componenti prefabbricati in serie, un approccio originariamente sviluppato in altri settori e successivamente trasformato e applicato con successo all'edilizia. Architetti, designer, ingegneri e costruttori si sono impegnati nella ricerca di soluzioni abitative industriali caratterizzate da facilità di costruzione in qualsiasi contesto, trasportabilità e produzione agevolata attraverso l'utilizzo dei nuovi macchinari delle catene di montaggio e materiali, il tutto mantenendo costi contenuti. La scelta e l'impiego dei materiali strutturali erano strettamente legati alle risorse locali, inizialmente orientate verso il legno e il metallo, soprattutto l'acciaio. Solo in un secondo momento, con l'introduzione e la brevettazione del calcestruzzo armato, si aprirono nuove prospettive nel panorama architettonico, pur discostandosi dalla produzione di componenti leggeri in legno. Nonostante però la scoperta di nuovi materiali, questo periodo è noto per la proliferazione di progetti di abitazioni prefabbricate e modulari in legno, particolarmente diffusi nel Regno Unito e negli Stati Uniti tra le due guerre mondiali. Questa diffusione fu influenzata dalla necessità di una rapida ricostruzione e dalla crescente richie-



Fig.13. Assemblaggio della struttura a telaio del sistema costruttivo dell'abitazione "Honor Bilt" 100 del catalogo "Modern Homes Sears, Roebuck and Co. Chicago - New York" 1936. Fonte: https://dahp.wa.gov/sites/default/files/ModernHomessears1936.small_.pdf

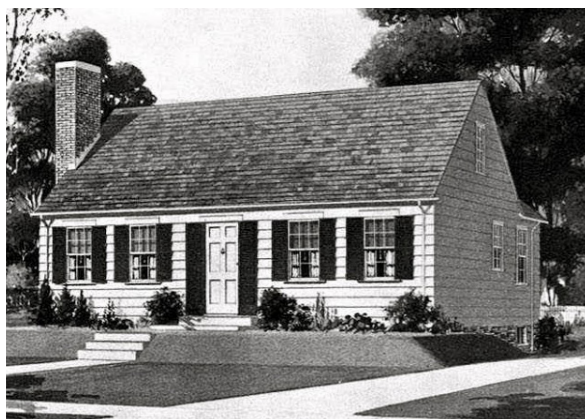


Fig.14. Abitazione Sears "The Caped Cod". Fonte: <https://smallscalehomes.blogspot.com/2012/12/sears-kit-homes.html>

sta di alloggi sociali. In questo contesto, le fabbriche, precedentemente utilizzate per la produzione bellica, erano ora disponibili, mentre la scarsità di acciaio e manodopera ha contribuito a rendere il legno una scelta preferenziale.

Durante questo periodo negli Stati Uniti, una delle soluzioni abitative più diffuse furono le "Sears Modern Homes"²² progettate da Sears, Roebuck and Co. nel 1908. Queste abitazioni adottavano un sistema costruttivo a telaio con sezioni portanti in legno, rivestite da pannelli e componenti in legno. In un arco temporale di 34 anni, Sears vendette oltre 70.000 di queste case in diverse località del Nord America, tra cui la Florida, la California, l'Alaska e il Canada. Le "Sears Modern Homes" offrivano una vasta gamma di oltre 370 progetti, declinati in vari stili e dimensioni, dotati dei comfort più moderni dell'epoca, tra cui riscaldamento centralizzato, impianto idraulico, telefono ed elettricità. Molte di queste case venivano assemblate dai proprietari o da carpentieri locali, sebbene Sears offrisse servizi di costruzione in determinati casi. I kit, prodotti in fabbriche industriali con macchinari elettrici moderni per un taglio preciso, garantendo alta qualità e prezzi competitivi, confermati dai feedback positivi dei clienti, venivano spediti principalmente tramite vagoni ferroviari. Ogni componente del kit, principalmente realizzato in legno, presentava una facilità di assemblaggio notevole grazie a codici identificativi che corrispondevano alle planimetrie, indicando chiaramente la posizione esatta di ciascun elemento nell'edificio.

22. Sears, Roebuck and Co. (1936). *Modern Homes*, Sears, Roebuck and Co. Chicago - New York" 1936. Fonte: https://dahp.wa.gov/sites/default/files/ModernHomessears1936.small_.pdf/

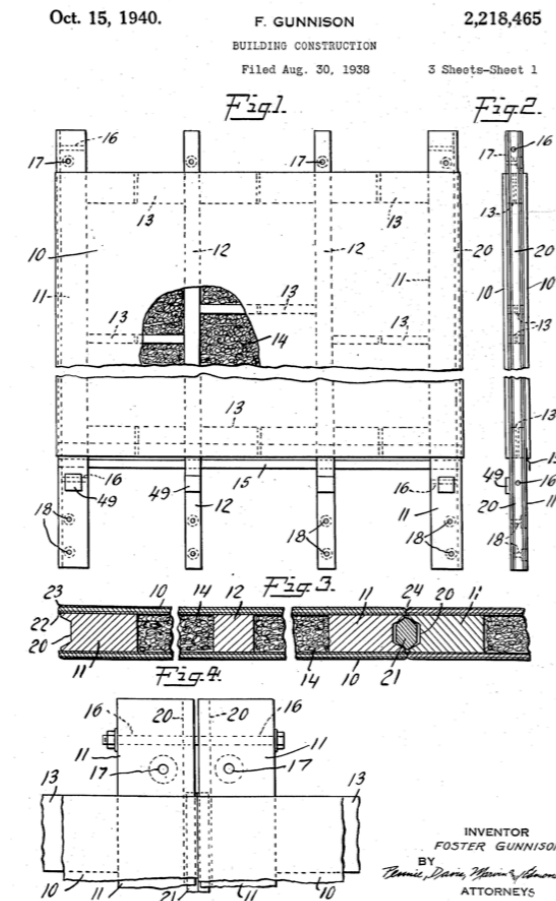


Fig.15. Disegno tecnico dei pannelli Gunnison Homes. Fonte: <https://instanthouse.blogspot.com/2012/01/>

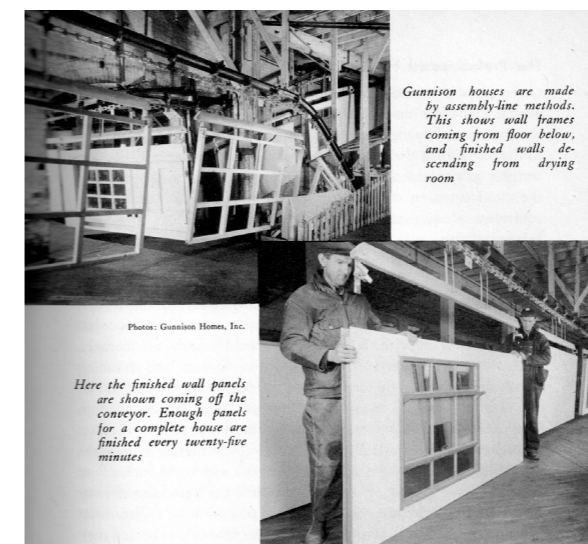


Fig.16. Produzione in serie dei pannelli Gunnison Homes. Fonte: <https://instanthouse.blogspot.com/2012/01/>

Sempre negli Stati Uniti, Foster Gunnison, noto per il suo coinvolgimento nella progettazione dell'Empire State Building di New York, fondò la Gunnison Magichomes nel 1935, divenuta "Gunnison Homes, Inc."²³ nel 1944. Gunnison si affermò come un pioniere nel campo della prefabbricazione edilizia, introducendo un innovativo processo che permetteva la produzione su larga scala di componenti in legno per case prefabbricate in soli 25 minuti. Questi elementi risultavano pronti per essere trasportati e assemblati direttamente in cantiere, evidenziando l'efficienza e la rapidità del suo approccio alla costruzione. Le abitazioni venivano costruite utilizzando pannelli di compensato di dimensioni approssimative di 1,22 metri per 2,44 metri. Questi pannelli erano prodotti in serie, con elementi intercambiabili per creare diverse planimetrie. Le pareti, il soffitto e i pavimenti venivano perfezionati all'interno della fabbrica, con l'inserimento diretto di porte e finestre. Questo processo era agevolato dai nastri trasportatori che accompagnavano l'intero procedimento, culminando nell'uscita dalla fabbrica, dove i componenti venivano caricati direttamente su camion, pronti per essere trasportati in ogni parte del paese.²⁴ Questi sistemi innovativi di costruzione abitativa, basati su kit con componenti assemblabili e originari degli Stati Uniti, hanno avuto un riflesso significativo nella cultura americana attraverso il mondo ci-

23. Marisa Gomez Nordyke (2018) *Restyling the Postwar Prefab: The National Homes Corporation's Revolution in Home Merchandising*, *Buildings & Landscapes: Journal of the Vernacular Architecture Forum*, University of Minnesota Press, Vol. 25, No. 2, 66-94.

24. Connie J. Zeigler. (27 agosto 2015). *Foster Gunnison and His Magic Homes*. Docomomo US. <https://docomomo-us.org/news/foster-gunnison-and-his-magic-homes>



Fig.17. Kit dell'abitazione del cortometraggio "One week" di Buster Keaton. Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=Xd6d-dOlKp8&ab_channel=ClassicsofWorldCinema



Fig.18. Assemblaggio pannelli dell'abitazione del cortometraggio "One week" di Buster Keaton. Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=Xd6d-dOlKp8&ab_channel=ClassicsofWorldCinema



Fig.19. Abitazione del cortometraggio "One week" di Buster Keaton. Fonte copertina libro: Penelope Maddy. (2014). *The Logical Must: Wittgenstein on Logic*. Oxford University Press.

nematografico. *Buster Keaton*, celebre attore e regista, ha contribuito a questa rappresentazione attraverso la realizzazione di tre cortometraggi muti dedicati a tali sistemi. Questi film offrono uno sguardo umoristico e bizzarro sul processo di costruzione sequenziale, mettendo in evidenza la grande innovazione dei sistemi assemblabili e autocostruibili, ma allo stesso tempo evidenziando le sfide che possono emergere durante i processi costruttivi.

Nel primo cortometraggio, intitolato **"One Week"**²⁵, il protagonista riceve una casa prefabbricata a kit con componenti da assemblare come regalo di matrimonio. Tuttavia, a causa di uno spiacevole corteggiatore rifiutato, i numeri delle casse d'imbroglio vengono scambiati in segreto, portando a una serie di risultati catastrofici. La storia culmina in un finale comico con la casa in vendita sopra un cumulo di resti accatastati. Le scene di montaggio alludono alla compagnia Sears, Roebuck and Company e al suo "Catalog Modern House", che in quel periodo vendeva numerose case standard da catalogo. Buster Keaton, pur riconoscendo i vantaggi autentici di questi sistemi, crea situazioni paradossali emergendo come un interprete delle nuove correnti tecnologiche, anticipando un cambiamento in atto. Queste tendenze indicano una maggiore flessibilità strettamente legata alle future esigenze abitative, come evidenziato nella rappresentazione umoristica e visivamente straordinaria dei cortometraggi. La sperimentazione della prefabbricazione abitativa in Europa ebbe luogo principalmente in Germania nel 1929, quando Wal-

25. Virginia Cucchi. (01 settembre 2021). Prefabbricazione. *Floornature*. <https://www.floornature.it/design-trends/strongprefabbricazione-strongbr-16492/>

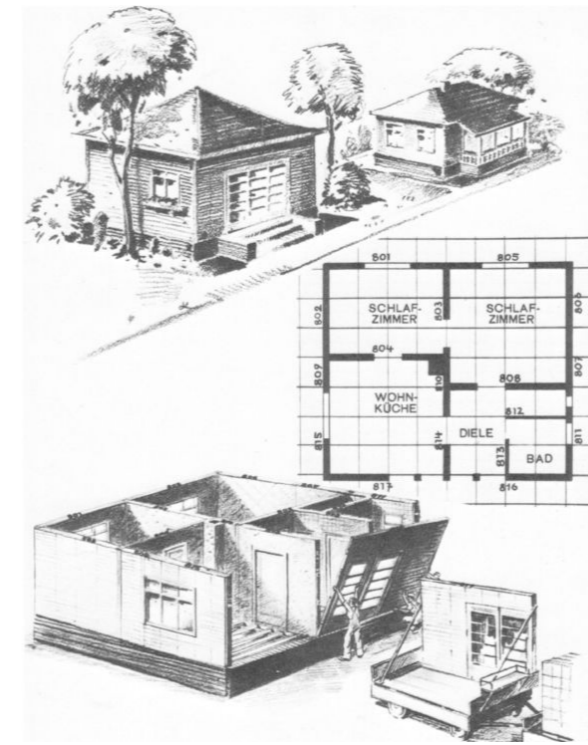


Fig.20. Processo costruttivo di un'abitazione con il sistema "Copper House". Fonte: <https://mitp-arch.mitpress.mit.edu/pub/vyw6e8nx/release/1>



Fig.21. Movimentazione ed assemblaggio di un pannello parete costruito con il sistema Copper House. Fonte: Walter Gropius: *Förster-Krafft-System House exhibited at "Das wachsende Haus" ("The Growing House") exhibition, Berlin, 1931-1932*. Wagner, p.67-68

ter Gropius, fondatore della scuola di architettura, arte e design Bauhaus, progettò le **"Copper Houses"**. Sebbene Gropius realizzò solo due abitazioni dimostrative, questa iniziativa rappresentò una pionieristica incursione nella produzione industriale per un progetto al quale vi fu partecipe negli anni successivi. Durante il suo periodo alla guida della Bauhaus, Gropius si focalizzò sull'industrializzazione nei processi edilizi, concependo una casa kit destinata all'imprenditore Adolf Sommerfeld. Il progetto, basato su una struttura a scheletro in acciaio e pannelli monopiano però, non fu mai materializzato. Successivamente, tra il 1931 e il 1932, Gropius rielaborò il concetto per una fabbrica di rame chiamata "Hirsch Kupfer- und Messingwerke", denominandolo "Förster-Krafft-System". Questo sistema prevedeva l'utilizzo di pannelli autoportanti in legno con una superficie esterna rivestita in rame, congiunti da supporti a C e U in ferro e assemblati con semplici bulloni. Solo due di queste abitazioni furono effettivamente prodotte e esposte alla mostra "Das wachsende Haus" del 1932 a Berlino. La struttura si distingueva per la sua innovazione nel processo di installazione, poiché l'eliminazione del telaio semplificava notevolmente le operazioni di messa in opera. Inoltre, essendo completamente prodotto in fabbrica, garantiva una maggiore attenzione alla qualità della produzione e alla ricerca di prestazioni superiori per l'edificio. I pannelli includevano isolanti di varia natura, come la lana di legno e la segatura. Il metodo di connessione tra le piastre era basato su un semplice bullone.

Successivamente Gropius procedette con



Fig.22. Impianto produttivo General Panel Corporation. Fonte: <https://www.acsa-arch.org/proceedings/Fall%20Conference%20Proceedings/ACSA.FALL.12/ACSA.FALL.12.8.pdf>



Fig.23. Konrad Wachsmann e Walter Gropius durante il montaggio di una Packaged House costruita con il General Panel System. Fonte: <https://medium.com/@jimenezmorenopablo/the-conflict-of-prefabrication-e891d00a0921>

lo sviluppo di sistemi prefabbricati in legno insieme a Konrad Wachsmann nei anni della seconda guerra mondiale. Il duo Gropius e Wachsmann cominciò a progettare il nuovo sistema prefabbricato chiamato **“General Panel System”** in Germania ma, viste le problematiche portate dalla guerra, fu poi portato avanti negli Stati Uniti nel 1942, dove fu fondata la General Panel Corporation. Questo sistema si fondava sull'assemblaggio di 10 tipi di pannelli diversi, ciascuno con dimensioni di circa 1,016 metri x 3,048 metri, presentando diverse funzioni o aperture, ma mantenendo una base standard di circa 1,016 metri. I pannelli venivano collegati tra loro attraverso un sistema ad incastro metallico semi circolare, permettendo di connettere da due a quattro pannelli. La struttura standardizzata e il costante processo di innovazione di Wachsmann portarono a un miglioramento del sistema di prefabbricazione nelle fabbriche sfruttando la catena di produzione fino al trasporto dei componenti in cantiere. Tuttavia, a causa dell'approccio totale alla rivisitazione del sistema tecnologico, nel 1949, con l'ultima revisione del sistema, si verificò l'abbandono da parte degli investitori per colpa dei continui ritardi, determinando così che il sistema non fosse mai effettivamente prodotto.²⁶

Oltre ai sistemi prefabbricati di kit leggeri per l'assemblaggio di abitazioni in legno mediante la produzione in massa dei componenti edilizi, un passo ulteriore nell'innovazione dell'industria edilizia dei sistemi meccanizzati è rappresentato dai precursori dei sistemi automatizzati. Questi sistemi

26. Seelow, A. (2018) *The Construction Kit and the Assembly Line – Walter Gropius' Concepts for Rationalizing Architecture Arts*, 7(4): 1-29 <http://dx.doi.org/10.3390/arts7040095>

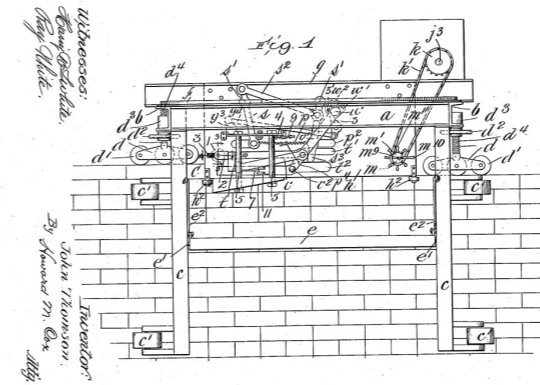


Fig.24. Brevetto statunitense del 1904 concesso a John Thomson il "Motor Mason", un muratore meccanico. Fonte: <https://www.theb1m.com/video/a-short-history-of-bricklaying-robots>



Fig.25. Macchinario "Motor Mason" per la posa di calce e mattoni. Fonte: <https://www.theb1m.com/video/a-short-history-of-bricklaying-robots>



Fig.26. Automatizzazione della posa di calce e mattoni del "Motor Mason". Fonte: <https://www.theb1m.com/video/a-short-history-of-bricklaying-robots>

miravano all'automatizzazione meccanizzata di diverse fasi dei processi costruttivi e produttivi al fine di semplificare il processo produttivo e costruttivo delle abitazioni. Questa evoluzione nella contemporanei per esempio include tecnologie moderne come le stampanti 3D e le braccia robotiche, sfruttando la digitalizzazione del sistema industriale, come illustrato nel capitolo successivo. Un esempio pionieristico di tale innovazione nel settore edile risale alla fine degli anni '60 con il **“Motor Mason”²⁷**, un macchinario per la posa automatica di mattoni documentato nel filmato della British Pathé. Il macchinario era capace di posare in modo automatico mattoni e calce, muovendosi parallelamente al muro, richiedendo però la presenza di 3 operai per il controllo e caricamento dei materiali sul macchinario. Nonostante però promettesse di posare i mattoni a una velocità cinque o dieci volte superiore rispetto agli operai, la sua efficienza non fu eccezionale, portando al mancato successo dell'apparecchio.

27. British Pathé. (13 aprile 2014). *Mechanical Bricklayer (1967)* [Video]. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=4MWald-1Goqk&ab_channel=BritishPath%C3%A9

2.2.3. Industrializzazione automatizzata del XX' secolo

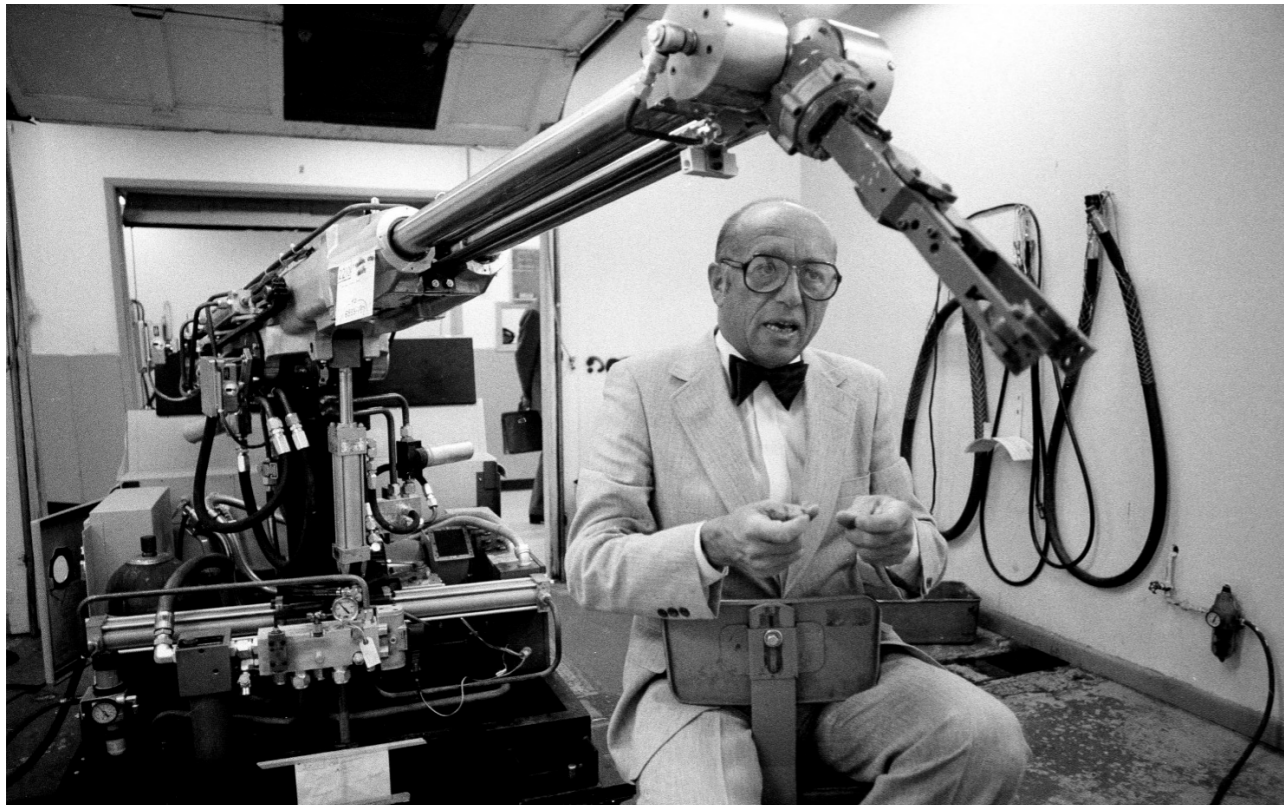


Fig.27. Primo braccio meccanico "Unimate" di George Devol e Joseph Engelberger. Fonte: <https://wcsa.world/news/world-creators-federation/top-100-global-creator-p81-george-devol-creator-of-first-industrial-robot>

L'evoluzione dei sistemi tecnologici meccanizzati per l'automazione delle fasi produttive di componenti prefabbricati e modulari per la produzione di sistemi costrutti di abitazioni con componenti da assemblare in cantiere, furono ulteriormente rinnovati negli anni '70 del XX' secolo dell'industria 3.0, con l'avvento dell'automazione resa possibile dall'elettronica e dall'informatica, con l'integrazione di nuovi macchinari a so-

stegno della catena di produzione e montaggio, caratterizzati principalmente da bracci meccanici capaci di automatizzare diversi processi. Il primo esempio di questa evoluzione la si ha con il primo braccio robotico commercializzato di George Devol e Joseph Engelberger introdotto a metà del XX' secolo chiamato **"Unimate"**. Questo innovativo dispositivo ha segnato l'inizio dell'automazione industriale, con la sua



Fig.28. Abitazione 8x8 assemblata con il sistema "Baraque démontable" di Jean Prouvé, Bezaumont, 1945. Fonte: <https://www.jeanprouve.com/en/fiche/1944-14>

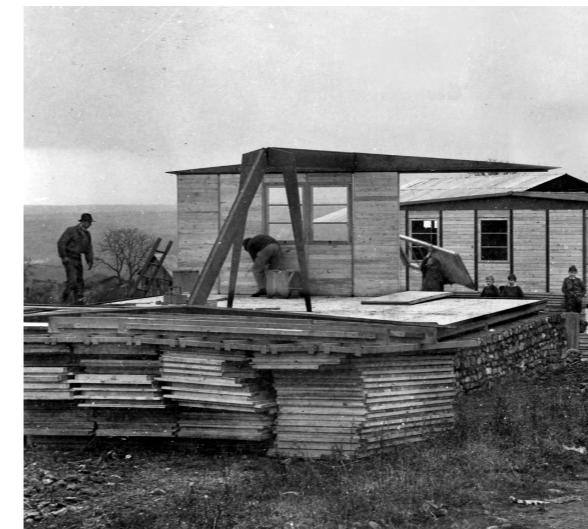


Fig.29. Assemblaggio dell'abitazione 8x8 con il sistema "Baraque démontable" di Jean Prouvé, Bezaumont, 1945. Fonte: <https://www.jeanprouve.com/en/fiche/1944-14>

prima applicazione presso la General Motors nel 1961²⁸. L'Unimate ha rivoluzionato i processi di produzione, portando notevoli miglioramenti in termini di efficienza e sicurezza sul posto di lavoro. Il grande successo commerciale dell'Unimate ha aperto nuove strade nello sviluppo della robotica industriale, trasformando radicalmente il modo in cui i robot vengono impiegati in diversi settori tra cui anche quello edilizio. Seppur non si hanno dati certi dell'utilizzo di questi sistemi per le fasi produttive dei sistemi che si riportano a seguito, si pensa comunque sia che tali macchinari venissero usati all'interno delle fabbriche per produrre i componenti dei sistemi prefabbricati e modulari per abitazioni assemblabili. Un sistema costruttivo a cavallo di questo periodo storico per esempio lo abbiamo con il progetto delle case a capanna smontabili da Jean Prouvé, commissionategli dall'esercito francese durante la Seconda Guerra Mondiale, dove attraverso la produzione industriale di pannelli in legno, portarono alla formazione brevettazione del sistema nel 1940 e vendute a partire dal 1956 con il brevetto **"Baraque démontable"** n° FR865235A²⁹. L'invenzione proponeva una struttura facilmente smontabile composta da quattro pali, con piastre collegate da un telaio inizialmente realizzato in compensato e successivamente in legno lamellare, materiale inventato da Freidrich Hetzer già nel 1901 Nella concezione di questa strut-

28. World Creators Federation. (30 novembre 2020). Top 100 Global Creator - P81. George Devol: Creator of the first industrial robot. <https://wcsa.world/news/world-creators-federation/top-100-global-creator-p81-george-devol-creator-of-first-industrial-robot>

29. JEAN PROUVE ATEL. (16 maggio 1941 Baraque démontable. (Brevetto francese. n° FR865235A). Ministère de la production industrielle et du travail. <https://www.epo.org/en>



Fig.30. Abitazione "Moduli 255". Fonte: <https://architectuul.com/architecture/moduli-255>

tura, i pannelli non avevano una funzione portante, ma erano utilizzati come tamponamento delle facciate insieme alle porte e finestre, accorate in una struttura in acciaio. Questo sistema, seppure non interamente in legno, mette in luce l'evoluzione dei sistemi costruttivi e la produzione di pannelli sandwich tamponati in legno agganciabili tra loro mediante sistemi di connessione a secco innovativi.

Un altro sistema a cavallo di questo periodo è il progetto "Moduli 225"³⁰ di Juhani Pallasmaa e Kristian Gullichsen, nato inizialmente come progetto unico e poi sviluppatosi come sistema aggregativo di

30. Bostjan Bugarić. (29 settembre 2016). Moduli 255, Helsinki, Finland, by Juhani Pallasmaa e Kristian Gullichsen. Architectuul. <https://architectuul.com/architecture/moduli-255>

moduli prefabbricati che però non ebbero un grande commercio visti i problemi energetici che portava a grandi spese per manutenzione, visto lo sviluppo del sistema avvenuto nei climi freddi della Finlandia, infatti nacque come abitazione estiva poi divenuta come residenze principali per alcuni utenti. A differenza del sistema di Prouvé, questo sistema era realizzato interamente in legno, dalla struttura alla tamponatura. Il sistema si basa sulla concezione di un modulo geometrico di 225 cm che organizza la struttura. Queste abitazioni, realizzate principalmente in legno, acciaio e vetro, presentano un modulo cubico dove ciascun telaio è diviso in tre parti da 75 cm. Questa suddivisione consente l'inserimen-

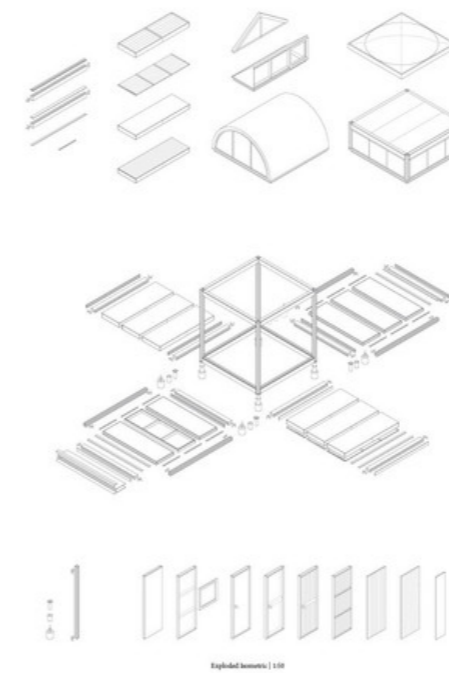


Fig.31. Componenti del sistema Moduli 255. Fonte: <https://www.danielshefford.co.uk/moduli-225-study>

to di pannelli variabili come pareti solide, porte e finestre. Il tetto, dal profilo piano, è costruito con pannelli formati da due strati di tavole di legno, con isolamento in lana di vetro. Attraverso l'uso di elementi standard prefabbricati, il sistema consentiva a chiunque di costruire un edificio di elevata qualità estetica in modo flessibile e modificabile, combinando i componenti secondo le proprie preferenze personali. Per via delle implicazioni energetiche furono prodotte solo sessanta case portando successivamente all'abbandono del sistema. Tutti questi sistemi prefabbricati e modulari misero le basi per l'innovazione degli attuali sistemi costruttivi figli del progresso innovativo tecnologico portato dalla digitalizzazione dei processi industriali nel settore edile.

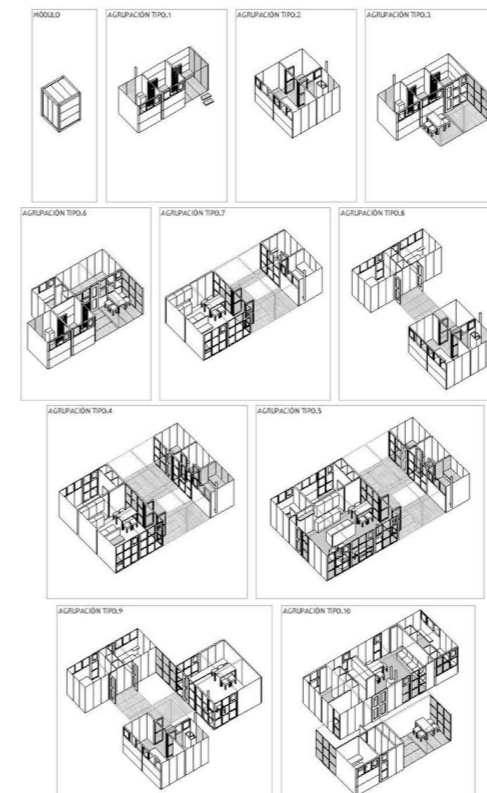


Fig.32. Schema esemplificativo di agregazione moduli. Fonte: <https://architectuul.com/architecture/moduli-255>

2.2.4

Digitalizzazione dell'industrializzazione nel XXI' secolo



Fig.33. Vantaggi dell'utilizzo del BIM. Fonte: <https://blog.archi-cad.it/bim/bim-che-cosa-chi-lo-usa>



Fig.34. Taglio pannelli in compensato con macchina CNC. Fonte: <https://www.wikihouse.cc/mission>

Nel contesto del capitolo 2.1 dedicato all'industria 4.0, l'apice contemporaneo dell'innovazione tecnologica si raggiunge tra la fine del XIX e l'inizio del XX secolo con l'integrazione dello scambio di informazioni attraverso l'Internet of Things (IoT)³¹. Questo progresso ha notevolmente contribuito al perfezionamento della gestione automatizzata delle operazioni, con particolare riferimento al settore edile, abbracciando tutte le fasi della progettazione, produzione, costruzione e smantellamento di edifici. L'integrazione di sistemi progettuali orientati alla prevenzione degli eventi, grazie al Building Information Modeling (BIM)³², ha segnato l'innovativo passaggio verso l'**Edilizia 4.0**, testimoniando una contemporanea evoluzione nei sistemi costruttivi e produttivi dell'edilizia.

Questo processo innovativo ha generato benefici significativi per le costruzioni abitative prefabbricate attraverso l'integrazione della digitalizzazione in diversi contesti. Nell'ambito della progettazione, si è posto un particolare accento sull'importanza della progettazione integrata BIM (Building Information Modeling); nei processi produttivi, sono state introdotte tecnologie avanzate come la "digital fabrication", che

31. L'Internet of Things consente alle aziende di monitorare, gestire e automatizzare le proprie operazioni in modo più efficiente e con maggiore controllo. Fonte pagina web: IBM. (s.d.) What is the internet of things (IoT)? IBM. <https://www.ibm.com/topics/internet-of-things>

32. Il National Institutes of Building Science definisce il BIM come la "rappresentazione digitale di caratteristiche fisiche e funzionali di un oggetto". Il BIM quindi non è un prodotto né un software ma un "contenitore di informazioni" in cui inserire dati grafici (come i disegni) e degli specifici attributi tecnici (come schede tecniche e caratteristiche) anche relativi al ciclo di vita previsto. Consente di integrare in un modello le informazioni utili in ogni fase della progettazione, da quella architettonica a quella esecutiva, (strutture, impianti, sicurezza, manutenzione, prestazioni energetiche, ecc.) e gestionale (computi metrici, distinte fornitori, ecc.). Fonte: Orientatium. (s.d.). Building Information Modeling (BIM). Definizione. <https://www.orientatium.net/bim/definizione/#pa-ge-content>

comprende sia l'uso di tecnologie additive come la stampa 3D, sia di tecnologie sottrattive tramite il taglio a laser o la fresatura con macchinari CNC. Queste tecnologie sono parte di sistemi tecnologici integrati dell'AM (Advanced Manufacturing)³³, che abbracciano approcci produttivi quali DfMA (Design for Manufacturing and Assembly). Nei processi costruttivi, sono stati adottati sistemi costruttivi innovativi noti come MMC (Modern Methods of Construction)³⁴, un termine industriale che descrive una gamma di produzione e alternative innovative alla costruzione tradizionale. Questi argomenti saranno esplorati dettagliatamente nei prossimi capitoli 2.4 e 2.5.

L'insieme di queste tecnologie consente la realizzazione di componenti con forme complesse e elevata precisione, portando a una significativa riduzione di tempi, costi e sprechi di materiale, con conseguente diminuzione delle emissioni. Inoltre permettendo l'assemblaggio di componenti prefabbricati, assemblati direttamente in fabbrica, dando vita in questo modo agli attuali sistemi costruttivi prefabbricati innovativi, tra cui quelli leggeri per la produzione di abitazioni in kit, applicando tecnologie, sistemi ed approcci specificamente orientati all'edilizia off-site.

Basandosi su tali innovazioni, **si procede ora con la descrizione di sette sistemi co-**

33. Utilizzo di tecnologie innovative per la realizzazione di prodotti esistenti e la realizzazione di nuovi prodotti. La produzione avanzata può includere attività di produzione che dipendono da informazioni, automazione, calcolo, software, rilevamento e rete. Fonte: Manufacturing.gov. (s.d.). Glossary: Advanced Manufacturing. <https://www.manufacturing.gov/glossary/advanced-manufacturing>

34. Buildoffsite. (2019). MODERN METHODS OF CONSTRUCTION - INTRODUCING THE MMC DEFINITION FRAMEWORK. MMC I-Pad Base. Gov.uk. https://www.buildoffsite.com/content/uploads/2019/04/MMC-I-Pad-base_GOVUK-FINAL_SECURE-1.pdf

struttivi leggeri, sviluppati da aziende tra il 2007 e il 2019, destinati alla costruzione di abitazioni con kit abitativi di componenti lignei leggeri. Questi sistemi, che incorporano gran parte delle tecnologie innovative precedentemente menzionate, sono esaminati come casi studio con un'analisi dettagliata nel capitolo 4. L'obiettivo è comprendere come tali soluzioni possano contribuire in modo significativo alla decarbonizzazione del settore edile.

Questi sistemi si contraddistinguono per l'innovazione tecnologica che collega la progettazione avanzata tramite software di modellazione 3D e BIM. Tale approccio comprende la progettazione di ogni fase del progetto, dalla produzione al trasporto, dall'assemblaggio al disassemblaggio della struttura. L'obiettivo è creare sistemi costruttivi all'avanguardia, che, pur essendo complessi, risultano semplici nell'applicazione, realizzati sfruttando prodotti leggeri come l'OSB³⁵ e il compensato³⁶ per creare sistemi strutturali resistenti, capaci perfino di edificare abitazioni a tre piani in alcuni casi. Inoltre, questi sistemi consentono di rivoluzionare l'approccio alla costruzione contemporanea in legno, che è prevalentemente orientata verso la realizzazione con

35. Oriented Strand Board è un pannello strutturale in legno ingegnerizzato, prodotto con adesivi termoindurenti impermeabili e fili di legno di forma rettangolare disposti in strati orientati a croce. Fonte: APA - The Engineered Wood Association. (n.d.). Oriented Strand Board (OSB). <https://www.apawood.org/osb>

36. Il compensato è un prodotto versatile che unisce un aspetto estetico attraente a prestazioni superiori in condizioni avverse, mantenendo allo stesso tempo rapporti di resistenza-peso relativamente elevati. Viene prodotto con leganti a base di resina che vanno da quelli adatti solo per uso interno a quelli che resistono a livelli elevati di umidità in esposizione esterna. Fonte: Wood Panel Industries Federation, TRADA Technology Ltd, the National Panel Products Division. (2014). Panel Guide Version 4. BM TRADA. https://wpif.org.uk/uploads/PanelGuide/PanelGuide_2014_An-nex2D.pdf

prodotti lignei pesanti come il CLT³⁷. Questo cambio di prospettiva si traduce nella riduzione dei costi di produzione e costruzione, con un impatto diretto sulla diminuzione delle fasi operative e delle procedure necessarie per gestire il prodotto, implicando una significativa riduzione delle emissioni generate dalla produzione, trasporto, movimentazione, applicazione e smaltimento, tematica approfondita nel capitolo 3.3, e al contempo, grazie ai sistemi strutturali che incorporano il materiale isolante consentono una notevole diminuzione del fabbisogno energetico delle abitazioni grazie alle elevate prestazioni termiche dei componenti parete, solaio e copertura. Oltre ai vantaggi tecnologici, questi sistemi adottano un approccio costruttivo che mira a coinvolgere attivamente l'utente nei processi progettuali, costruttivi e gestionali legati alla logistica di cantiere. Questo coinvolge la progettazione, l'organizzazione e la gestione degli spazi destinati a materiali, spazi di lavoro e strutture accessorie per i lavoratori, concependo quindi un sistema capace di coinvolgere l'utente, consentendo di autocostruire l'intera abitazione o di partecipare solo a specifiche fasi seguendo le seguenti tipologie di assemblaggio del kit abitativo:

1. Autocostruzione:

Questa tipologia offre all'utente la possibilità di gestire completamente le fasi costruttive dell'abitazione, comprese struttura, finiture e impiantistica. Questo avviene

37. Il CLT è costituito da diversi strati di pannelli di legno massiccio incollati con un adesivo strutturale ad angoli retti alternati, ideale per elementi di pavimenti, tetti e pareti di grandi dimensioni. Fonte: Stora Enso. (n.d.). Cross Laminated Timber (CLT). <https://www.storaenso.com/en/products/mass-timber-construction/building-products/clt>

attraverso la fornitura di guide dettagliate, consentendo all'utente di creare autonomamente il proprio team di lavoro, con indicazioni su quali professionisti integrare per le parti più complesse, come la realizzazione delle fondazioni e del sistema impiantistico.

2. Autocostruzione assistita:

L'autocostruzione avviene con l'assistenza di professionisti. L'utente ha l'opportunità di partecipare alle diverse fasi della costruzione, compresa la costruzione di fondamenta, struttura e sistema impiantistico, sempre affiancato da professionisti dell'azienda o da esperti esterni istruiti dall'azienda del sistema.

3. Autofinitura:

L'utente può intervenire autonomamente solo nella fase finale della costruzione dell'abitazione, comprendente l'applicazione delle finiture interne e, in alcuni casi, di alcuni sistemi impiantistici.

Sulla base di queste innovazioni e tipologie costruttive, si procede con la descrizione di 7 sistemi costruttivi, dei quali i primi cinque saranno successivamente analizzati dettagliatamente nel capitolo 4:

1. Facit Homes, UK, 2007
2. WikiHouse, UK, 2011
3. Blokiwood, Francia, 2012
4. PoUp House, Francia, 2014
5. U-Build, UK, 2015
6. Brix System, Italia, 2016
7. Gablok, Belgio, 2019

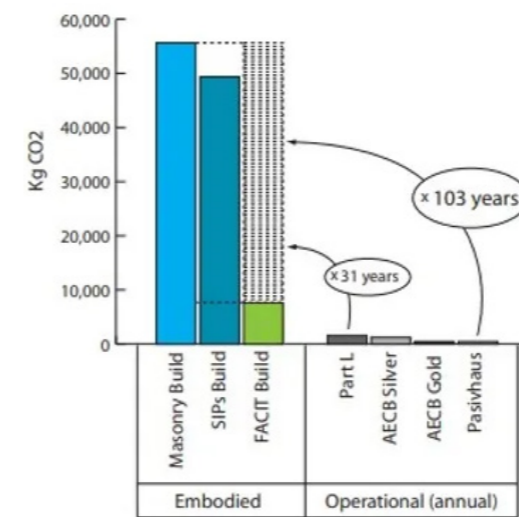


Fig.35. Analisi svolta da Facit Homes nel 2010 sulle emissioni di CO2 incorporate e operative per una casa Facit da 160 mq di due piani. Fonte: <https://www.facit-homes.com/low-carbon-homes>



Fig.36. Componenti scolare strutturale di forma complessa del sistema Facit Homes. Fonte: <https://www.facit-technologies.com/low-carbon>



Fig.37. Assemblaggio della struttura portante di Villa Asserbo costruita con il sistema Facit Homes. Fonte: <https://www.archdaily.com/264572/villa-asserbo-a-sustainable-printed-house-that-snaps-together>

1. Facit Homes, UK, 2007

Il sistema costruttivo di Facit Homes³⁸, fondato da Bruce Bell nel 2007 nel Regno Unito, si distingue per la sua notevole flessibilità, ridotte emissioni di carbonio e facilità di costruzione. Questo sistema consente la produzione di kit abitativi chiamati "Facit Chassis"³⁹ altamente personalizzabili, permettendo la realizzazione di edifici su misura senza alcun vincolo legato a modelli standard. L'approccio innovativo di Facit Homes si evidenzia grazie all'integrazione dei programmi BIM. In dettaglio, il sistema utilizza un riconoscimento automatico dei componenti necessari, inviando le informazioni direttamente a una macchina di taglio CNC. Quest'ultima produce i profili dai pannelli in compensato, che costituiscono i blocchi scolare strutturali. Questi blocchi incorporano materiali isolanti, consentendo di raggiungere un notevole valore di trasparenza termica fino a U 0,12 W/m²K. Queste prestazioni rispondono ai requisiti normativi italiani ed inglesi per le zone climatiche più fredde, che richiedono un valore di 0,13 W/m²K.⁴⁰ I pannelli di compensato vengono tagliati direttamente in loco, come parte dell'offerta completa di Facit Homes, che include la spedizione di un container, il Mobile Production Facility (MPF)⁴¹, con tutti i sistemi di taglio necessari, insieme al personale specializzato per operare tali macchinari e sistemi. L'integra-

38. Facit Homes. (n.d.). The Facit Homes. <https://www.facit-homes.com/the-facit-hom>

39. Facit Technologies. (n.d.). The Facit Chassis. <https://www.facit-technologies.com/the-facit-chassis>

40. Facit Homes. (n.d.). Low Carbon Homes. <https://www.facit-homes.com/low-carbon-homes>

41. Facit Technologies. (n.d.). Mobile Production. <https://www.facit-technologies.com/mobile-production>

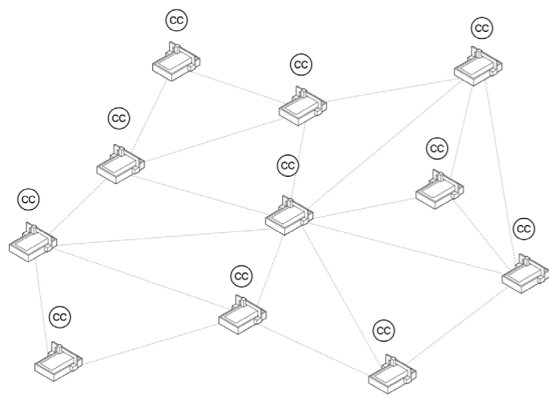


Fig.38. Schema sulla rete di connessione tra piccoli produttori dell'approccio WikiHouse. Fonte: <https://www.wikihouse.cc/mission>

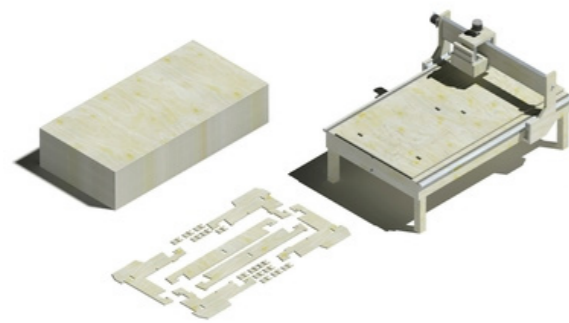


Fig.39. Processo produttivo del sistema WikiHouse con taglio a macchina CNC dei pannelli in compensato o OSB. Fonte: <https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Wikihouse>



Fig.40. Assemblaggio della struttura portante del "Wikipavillon". Fonte fotogrammi da videoclip YouTube: https://www.youtube.com/watch?v=tdYBML6VCMA&ab_channel=PulpBuild

zione di taglio in sito e modellazione BIM consente un'adattabilità rapida a eventuali problematiche o modifiche, anche durante la fase di costruzione in loco. Ciò consente l'assemblaggio dei componenti attraverso un processo di autocostruzione o di costruzione assistita, offrendo inoltre la possibilità di ricevere un progetto chiavi in mano direttamente dall'azienda.

2. WikiHouse, UK, 2011

WikiHouse propone un sistema di costruzione **open source**⁴², fondato da Alastair Parvin e Nick Lerodionou nel 2011 in Inghilterra, che permette a chiunque di accedere e scaricare i file di progettazione necessari per costruire la propria abitazione. Questo sistema si basa sull'assemblaggio di componenti standardizzati, i quali possono essere combinati in diverse configurazioni per creare una vasta gamma di kit abitativi. Gli elementi principali comprendono blocchi scatolari formati dall'assemblaggio di componenti bidimensionali, costituendo pareti, solai e coperture, con l'inclusione di materiale isolante al loro interno. La produzione dei componenti avviene tramite macchine CNC di piccole fabbriche affiliate al sistema WikiHouse presenti in diverse parti del mondo. Questo approccio produttivo mira alla decentralizzazione delle strutture produttive e favorisce una produ-

42. Il concetto di "open source" è stato utilizzato per la prima volta nel regno del software. Il software open source si riferisce a software con codice sorgente accessibile gratuitamente aperto per la ridistribuzione e la modifica. L'open source applicato all'architettura, in questo modo, fornisce alcune direzioni principali di azione per la progettazione, per la creazione e gestione di piattaforme in grado di ospitare comunità trans-scalari di utenti, focalizzate sulla trasformazione sostenibile, adattabile e a basso costo dell'ambiente costruito. Andrea Rosada. (2012). L'open source come modello di sviluppo dell'abitare contemporaneo. DAD - Politecnico di Torino. <https://core.ac.uk/download/pdf/11432475.pdf>



Fig.41. Abitazione "Farmhouse" costruita con il sistema WikiHouse. Fonte: <https://www.wikihouse.cc/featured-projects/farmhouse>



Fig.42. Trasporto dei blocchi preassemblati del sistema WikiHouse. Fonte fotogrammi da videoclip: https://www.youtube.com/watch?v=tdYBML6VCMA&ab_channel=PulpBuild



Fig.43. Sistema strutturale piano terra e primo piano di "Une maison individuelle en Isère" costruita con il sistema Blokiwood. Fonte videoclip: https://www.youtube.com/watch?v=2znN5AM-61Po&t=6s&ab_channel=Blokiwood

zione distribuita in modo da formare reti di sostegno finalizzate ad includere i piccoli produttori all'interno del mercato del legno abbattendo i costi necessari per avviare un'unica grande fabbrica⁴³. Il sistema è progettato per essere user-friendly e facilmente assemblabile, senza richiedere competenze specialistiche o attrezzature costose, infatti, la leggerezza dei componenti consente il trasporto e l'assemblaggio da parte di 1 a massimo 4 persone⁴⁴. Inoltre, il sistema WikiHouse fa parte di un complesso di servizi offerti da Open System Lab⁴⁵, un'organizzazione guidata dai fondatori di WikiHouse, che mira a semplificare i vari processi che emergono nella fase di progettazione e costruzione di un'abitazione, fornendo al consumatore piattaforme che consentano una gestione autonoma degli aspetti produttivi e costruttivi. Il sistema WikiHouse è ancora in fase di sviluppo, ma è stato utilizzato in diversi progetti in tutto il mondo, dimostrando il potenziale di questo approccio innovativo alla costruzione.

3. Blokiwood, Francia 2012

Blokiwood si fonda su un innovativo sistema di costruzione in legno prefabbricato, ideato nel 2012 dallo **studio Dom'Innov**, fondato da Joel Menard in Francia⁴⁶. La sua concezione risponde alle complessità di accessibilità del sito, alla facilità di implementazione rispettando le scadenze e

43. WikiHouse. (n.d.). Mission. Recuperato da <https://www.wikihouse.cc/mission>

44. WikiHouse. (n.d.). WikiHouse Assembly Guide. Recuperato da <https://www.wikihouse.cc/guides/assembly>

45. Open Systems Lab. (s.d.). Projects. <https://www.opensystemslab.io/projects>

46. Blokiwood. (n.d.). Blokiwood. Recuperato da <https://blokiwood.fr/blokiwood/>

all'adattamento ai cambiamenti normativi termici e ambientali. Questo sistema si avvale di blocchi strutturali prefabbricati, realizzati mediante la lavorazione di pannelli OSB da 18mm e 12mm, oltre a pannelli in legno ibrido RWH (Resin Wood Hybrid) da 16mm. Tali elementi compongono un kit abitativo⁴⁷ con componenti standardizzati, adattabili alle specifiche richieste del cliente o personalizzabili seguendo il progetto fornito dall'utente, nel rispetto delle dimensioni standard dei blocchi di 30x60cm. I blocchi strutturali sono già isolati, ermetici, leggeri e portatili, adatti a qualsiasi stile architettonico, consentendo varie finiture. Il sistema è progettato per essere di facile installazione, con un peso medio di 60kg per un blocco parete, permettendo a soli 3 operatori di assemblare la struttura di una casa di 100 m² in soli 2 giorni⁴⁸. Al momento, Blokiwood è stato impiegato con successo in diversi progetti in Francia e nel Benelux, dimostrando la sua facilità e rapidità di assemblaggio. A differenza dei due precedenti sistemi descritti, Blokiwood offre un servizio di autocostruzione assistito.

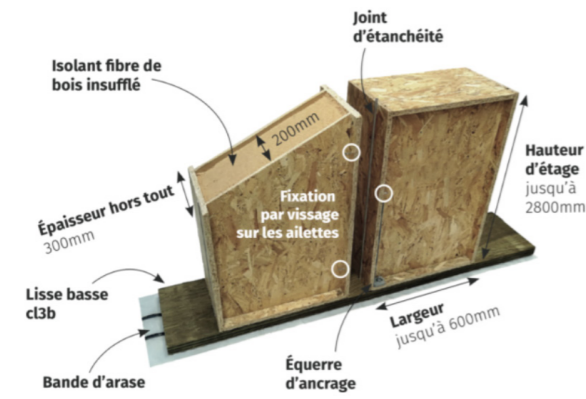


Fig.44. Blocco parete Blokiwood. Fonte: <https://blokiwood.fr/nos-produits/murs/>



Fig.45. Assemblaggio di un blocco tetto Blokiwood. Fonte: <https://blokiwood.fr/nos-produits/toitures/>



Fig.46. Movimentazione dei blocchi EPS per la copertura del progetto "Maison passive montée en 4 jours" costruito con il sistema PopUp House. Fonte: <https://www.batiactu.com/edito/pop-up--une-maison-passive-montee-en-4-jours-38024.php>

4. PoUp House, Francia 2014

Il sistema PopUp House è stato inizialmente fondato nel 2014 da Corentin Thiercelin con l'obiettivo di trasformare il settore edilizio attraverso l'innovazione e la sostenibilità. L'azienda ha cessato la sua attività nel giugno del 2023 a causa di sfide economiche derivanti dall'alta concorrenza presente sul mercato, nonostante il successo

47. Blokiwood. (n.d.). Maison Bois Kit. Blokiwood. <https://blokiwood.fr/maison-bois-kit/>
48. Blokiwood. (2023). Fabricant Ossature Bois. <https://blokiwood.fr/fabricant-ossature->

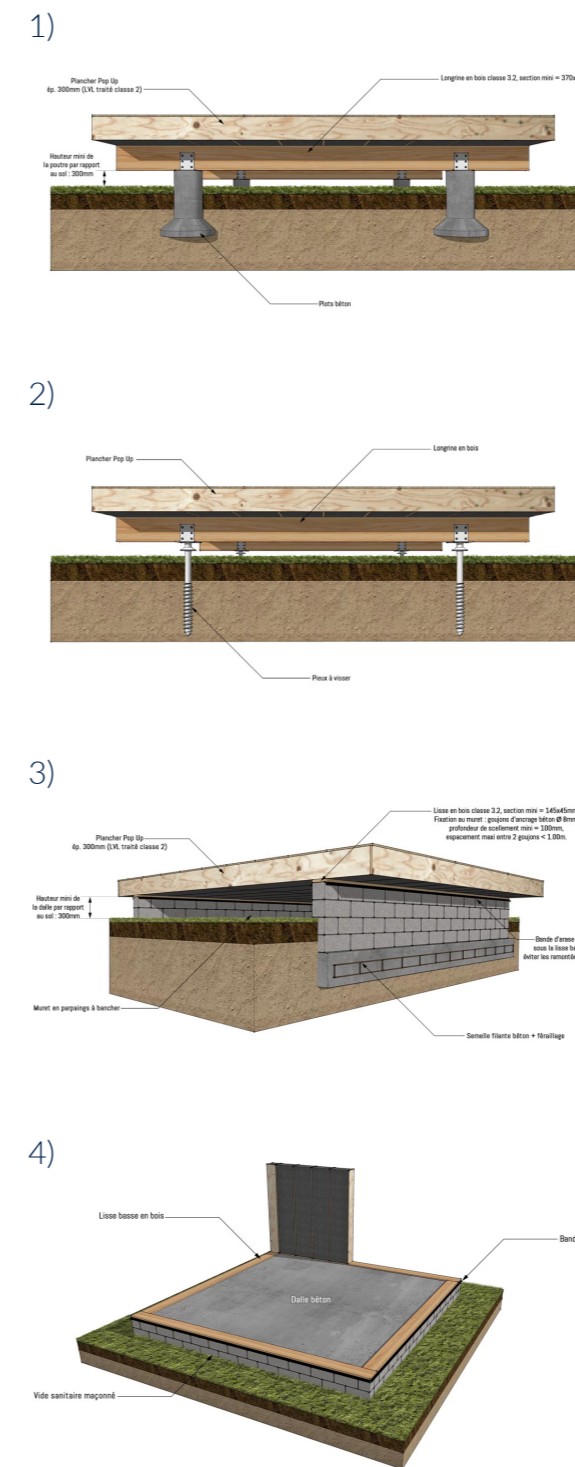


Fig.47. 1) Fondazioni su plinti in cemento armato. 2) Fondazioni su pali elicoidali. 3) Fondazione in cemento con muri di sostegno. 4) Fondazione a platea cementizia per il sistema PopUp House. Fonte: <https://www.popup-house.com/en/what-type-of-foundations-can-be-used/>

nella realizzazione di 700 progetti innovativi.⁴⁹ La produzione delle case PopUp avveniva in modo altamente digitalizzato presso la PopUp Factory, uno stabilimento di 15.000 m² situato a Rousset, Francia. Il sistema costruttivo si basa sull'assemblaggio di blocchi isolanti EPS e pannelli di legno LVL, consentendo un'installazione rapida e precisa da parte di tecnici Pop Up, permettendo di coinvolgere l'utente solo nelle fasi di finitura; un'elevata efficienza termica e resistenza strutturale. I componenti del kit sono leggeri e numerati per facilitare il trasporto e l'assemblaggio, richiedendo un team di montaggio specializzato per completare un'abitazione in pochi giorni. Grazie al suo elevato isolamento termico, il sistema PopUp House offriva vantaggi significativi in termini di riduzione delle emissioni e risparmio energetico proponendo abitazioni con valori di trasmittanza $U = 0.11 \text{ W/m}^2\text{K}$ e resistenza termica $R = 9 \text{ m}^2\text{K/W}$, che andavano oltre ai valori minimi delle PASSIVHAUS di $U \leq 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$, $R > 6.66 \text{ m}^2\text{K/W}$.⁵⁰ Oltre alla sua efficienza costruttiva, una peculiarità di questo sistema era la possibilità di fornire numerose soluzioni abitative a 2 piani⁵¹ adattabili ad ogni tipo di fondazione grazie alle diverse soluzioni di fondazioni che proponeva (su plinti in cemento armato, su pali elicoidali, in cemento con muri di sostegno e a platea come illustrato nella figura fig.47. La mancata possibilità economica di procedere

49. PopUp House. (n.d.). PopUp Clap de fin. Recuperato da <https://www.popup-house.com/popup-clap-de-fin/>
50. PopUp House. (n.d.). Quelles sont les performances thermiques d'une PopUp House ? Recuperato da <https://www.popup-house.com/quelles-sont-les-performances-thermiques-dune-popup-house-2/>
51. PopUp House. (n.d.). Collection. Recuperato da <https://www.popup-house.com/collection/>

con la vendita di soluzione abitative innovative e passive di questo sistema, evidenzia la difficoltà di integrare sistemi abitativi prefabbricati di qualità che puntano alla decarbonizzazione nel settore edile.

5. U-Build, UK, 2015

U-Build è un sistema costruttivo modulare innovativo, ideato nel 2015 dallo Studio Bark fondato da Wilf Meynell e Steph Chadwick, un team di giovani architetti impegnati nella realizzazione di edifici sostenibili e personalizzabili.⁵² Il sistema si fonda sull'utilizzo di pannelli bidimensionali in compensato di abete rosso WISA, betulla o OSB Smarply, tagliati con precisione mediante una macchina CNC. Tali pannelli formano blocchi scatolari, successivamente riempiti con lana di pecora su misura, e vengono inseriti all'interno di una griglia progettuale di dimensioni 300mmx300mm, su cui si erige l'intera struttura abitativa. Questi pannelli inoltre, oltre a essere utilizzati per la costruzione di abitazioni, possono essere impiegati nella realizzazione di mobili e pods da interno o esterno. I componenti del kit sono leggeri e facilmente trasportabili, il che consente di ridurre i tempi di costruzione e il numero di persone necessarie per l'assemblaggio. Questa operazione può essere svolta autonomamente dal futuro proprietario, previa istruzione e formazione fornita dall'azienda, o in modo assistito. Il sistema costruttivo è basato su scatole modulari che possono essere impilate e fissate insieme per formare le pareti, il pavimento e la struttura



Fig.48. Spaccato assonometrico di una casa tipo progettata con il sistema U-Build. Fonte: <https://u-build.org/design-category/self-build-homes/>

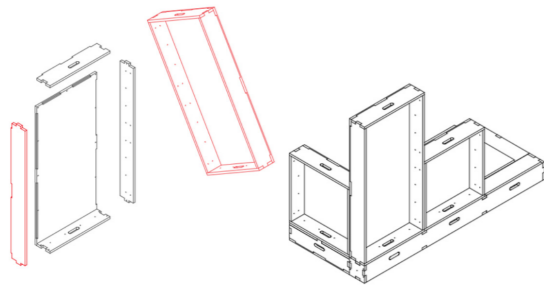


Fig.49. Fotogramma dell'animazione del assemblaggio dei componenti bidimensionali per formare il blocco parete U-Build. Fonte: <https://www.dezeen.com/2019/05/10/ubuild-studio-bark-modular-architecture/>



Fig.50. Componenti per l'aucostruzione di un blocco del sistema U-Build. Fonte: https://issuu.com/rumoer/docs/rumoer_72_digital_copy/s/10436700

52. u-build.org. (n.d.). About Us. Recuperato da <https://u-build.org/about-us/>



Fig.51. Progetto "Manbey Pod" costruito con il sistema U-Build. Fonte: <https://u-build.org/projects/garden-studio/>



Fig.52. Travi e pilastri in legno lamellare con taglio a pettine per le connessioni a secco dei componenti del sistema Brix System. Fonte: <https://u-build.org/projects/garden-studio/>

del tetto. I materiali utilizzati sono ecologici e atossici, con un'attenzione particolare alla riduzione dell'impronta di carbonio. Inoltre, il sistema si ispira ai principi "cradle-to-cradle" stabiliti da William McDonough, "dalla culla alla culla", utilizzando materiali naturali compostabili o facilmente riciclabili. I valori di trasmittanza sono notevolmente bassi, rispettando i regolamenti edilizi, con possibilità di ottenere valori U di 0,3 W/m²k per costruzioni standard di stanze da giardino e di 0,15 W/m²k per pareti a doppio spessore.⁵³ U-Build offre la possibilità di personalizzare l'edificio in base alle preferenze individuali, consentendo a ogni persona di creare una casa unica e su misura.

6. Brix System, Italia 2016

Il Brix System è un sistema costruttivo innovativo e brevettato, fondato nel 2016 da Isinnova Srl. Il sistema si basa su travi modulari in microlamellare di abete con tagli a pettine, che vengono assemblate tra loro per formare una griglia di 60x60cm.⁵⁴ Il legno utilizzato è certificato FSC e proviene da foreste sostenibili, garantendo un impatto ambientale ridotto. Il sistema Brix offre una maggiore flessibilità nella personalizzazione delle finiture interne ed esterne, mantenendo al contempo un'elevata efficienza energetica. Il peso dei componenti del kit è ridotto, facilitando il trasporto e l'assemblaggio permettendo anche a figure non specializzate, sotto la supervisione di un progettista, di costruire e assembla-

53. u-build.org. (n.d.). FAQs. Recuperato da <https://u-build.org/faqs/>

54. Brix System. (28 luglio 2020). Presentazione Brix System [file pdf]. Recuperato da https://www.brixsystem.com/wp-content/uploads/2020/09/2020-07-28_BrixSystem_presentazione_ITA.pdf



Fig.53. Assemblaggio del primo prototipo di costruzione **Brix System** di circa 35 mq realizzata in circa 6 ore a Brescia. Fonte: https://www.brixsystem.com/wp-content/uploads/2020/09/2020-07-28_BrixSystem_presentazione_ITA.pdf



Fig.54. Travi e pilastri in legno lamellare con taglio a pettine per le connessioni a secco dei componenti del sistema **Brix System**. Fonte: <https://u-build.org/projects/garden-studio/>



Fig.55. Autocostruzione della struttura portante **Gablok** del progetto di estensione di un'abitazione a Libin in Belgio. Fonte: <https://gablok.be/en/projets/building-extension-libin>

re le strutture portanti non richiedendo necessariamente l'utilizzo di macchinari pesanti.⁵⁵ Tuttavia in alcuni casi, i componenti possono essere pre-assemblati per poi movimentarli con dei macchinari appositi, come nel caso della costruzione di Villa Esine⁵⁶. Dal punto di vista dell'efficienza energetica, le abitazioni in legno presentano un alto coefficiente termico che agevola l'isolamento e la riduzione dei ponti termici. In definitiva, il Brix System rappresenta una soluzione edilizia sostenibile, efficiente e innovativa per la costruzione di edifici residenziali e non solo ma, al momento presenta una sola abitazione realizzata, un solo ampliamento e diverse strutture temporanee e arredi.+

7. Gablok, Belgio, 2019

Gablok è stata fondata nel 2019 da Gabriel Lakatos in Belgio, emergendo come un'azienda innovativa e fortemente orientata alla digitalizzazione industriale nel settore edilizio. Il sistema costruttivo di Gablok si basa sull'utilizzo di blocchi isolati in legno coibentato OSB e blocchi isolanti in EPS con grafite, realizzati in collaborazione con aziende locali specializzate come l'Atelier Les Gaillettes per le strutture in legno OSB e l'azienda X-Pack per i blocchi isolanti in EPS. Questi blocchi, generati dalla lavorazione dei pannelli in OSB, presentano elementi bidimensionali ai lati che, una volta assemblati, formano il blocco tridimensionale, all'interno del quale viene posiziona-

55. Brix System. (n.d.). Perché Brix? Recuperato da <https://www.brixsystem.com/perche-brix/>

56. Lignebois. (2021, gennaio). Gablok - Manuale di installazione. Recuperato da https://www.lignebois.be/wp-content/uploads/2021/01/2020-06_gablok.pdf



Fig.56. "General insulated block" del sistema **Gablok**. Fonte: <https://gablok.be/en/>

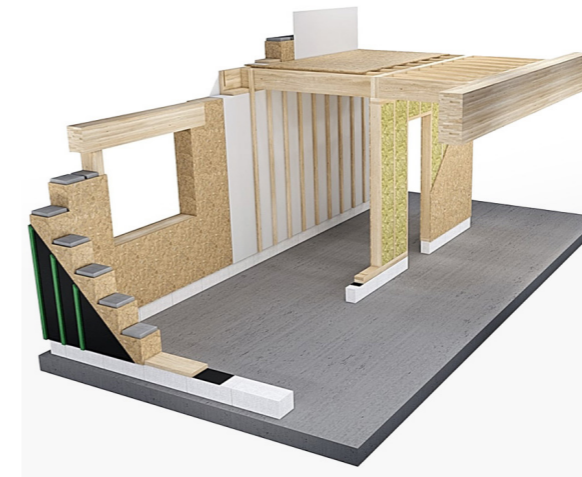


Fig.57. Rappresentazione tramite spaccato prospettico dei componenti del sistema costruttivo **Gablok**. Fonte: Gablok.<https://gablok.be/en/elements>

to il materiale isolante (vedi figura fig.56) . Questi blocchi sono disponibili in diverse lunghezze (30, 60 e 90 cm) con larghezza e profondità fisse a 30 cm⁵⁷. L'utilizzo combinato di questi materiali assicura un'elevata efficienza energetica e un ottimo isolamento termico, contribuendo alla sostenibilità ambientale, con valori di trasmittanza della struttura pari a 0,15 W/m²K. I componenti leggeri del kit Gablok, con un peso medio di 7,5 kg per blocco⁵⁸, semplificano il trasporto e l'assemblaggio. Grazie al design 3D e alla facilità di montaggio, un'abitazione standard può essere costruita in soli 5-6 giorni dall'utente, sia in modo assistito che da installatori certificati⁵⁹. Il sistema di assemblaggio dei blocchi Gablok si ispira al sistema di gioco Lego, rendendo il processo intuitivo e accessibile a tutti. La peculiarità di Gablok risiede nella sua filosofia di costruzione circolare, con blocchi riutilizzabili e riciclabili, riducendo così l'impatto ambientale, offrendo soluzioni personalizzate per ogni progetto edilizio e garantendo efficienza, sostenibilità e rapidità nella costruzione dell'abitazione.

57. Gablok. (n.d.). Elements. Recuperato da <https://gablok.be/en/elements>

58. Lignebois. (2021, gennaio). Gablok - Manuale di installazione. Recuperato da https://www.lignebois.be/wp-content/uploads/2021/01/2020-06_gablok.pdf

59. Gablok. (n.d.). FAQ. Recuperato da <https://gablok.be/en/faq>

2.3 I metodi produttivi DfMA e DfDMA

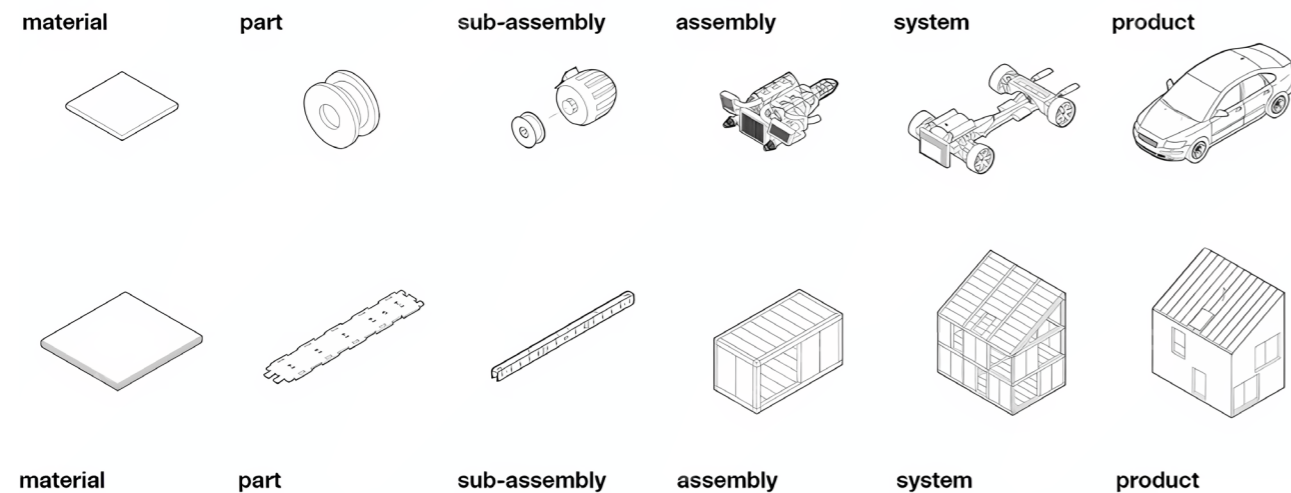


Fig.58. Schema sulla suddivisione di un'abitazione in componenti standardizzati come per un'automobile. Rielaborazione propria della fonte: Urban Francesco. (a.a. 2019/2020). Dalla fabbricazione digitale ai processi di prefabbricazione del progetto di architettura: Analisi degli scenari di innovazione e dei casi studio sperimentali (Tesi di laurea magistrale). Politecnico di Torino. Torino.

I sistemi costruttivi prefabbricati evoluti negli anni da sistemi industriali di massa a sistemi industriali digitalizzati, sono stati caratterizzati dalla continua innovazione delle tecnologie adottate per la produzione dei componenti edilizi denominate "Advanced manufacturing"⁶⁰, un termine che racchiude le diverse tecnologie innovative per la realizzazione di prodotti mediante una produzione tecnologica innovativa, che possono includere attività di produzione che dipendono dalla condivisione di informazioni, integrazione di calcoli, software all'avanguardia e sensori di rilevamento. Tra

le diverse tecnologie produttive innovative appartenenti alle *advanced manufacturing*, sono caratterizzate dallo sviluppo di due sistemi nati negli anni 70' dall'ingegnere industriale Geoffrey Boothroyd⁶¹ (DFA e DFM), per poi evolversi nell'attuale DfMA. Il DFA (Design for [Automatic and Manual] Assembly) mira a promuovere l'efficienza nell'assemblaggio automatico e manuale dei prodotti, riducendo il numero di operazioni e, di conseguenza, i tempi e i costi di assemblaggio. Al contempo, il DFM consente una maggiore gestione del sistema

61. Urban. (s.d.). Design for Manufacture and Assembly (DFMA) - Part 1: The Origins. <https://www.urban.co.uk/industry-insights/design-for-manufacture-and-assembly-dfma-part-1-the-origins/>

60. Manufacturing.gov. (s.d.). Glossary: Advanced Manufacturing. <https://www.manufacturing.gov/glossary/advanced-manufacturing>

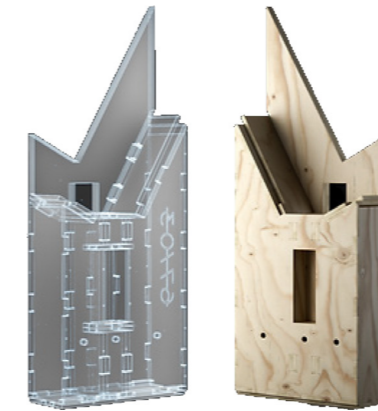


Fig.59. Componente scatolare strutturale del sistema Facit Homes. Dal digitale alla realizzazione. Fonte: <https://www.facit-technologies.com/the-facit-chassis>

BIG IDEAS: Design for Manufacture & Assembly from Mirco to Macro

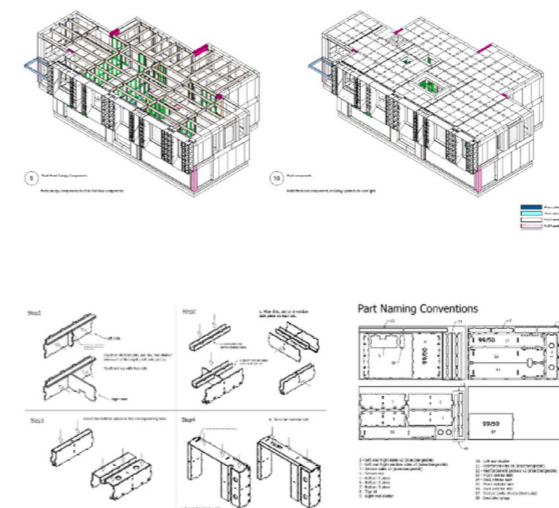


Fig.60. Approccio DfMA del sistema Facit Homes integrato a sistemi progettuali BIM. Rielaborazione propria della fonte: https://www.youtube.com/watch?v=7o7aiukfUM&ab_channel=RIBAArchitecture

produttivo, quantificando accuratamente i costi per ottenere ulteriori efficienze sulla linea produttiva. Dall'unione di queste due metodologie nasce il sistema DfMA (Design for Manufacture and Assembly), applicato nel settore edilizio per la prefabbricazione di componenti edilizi in ambienti di fabbrica controllati destinati all'assemblaggio in cantiere, garantendo efficienza in termini di tempi, manodopera e costi.⁶²

L'integrazione della digitalizzazione in questi processi ha poi permesso il controllo completo di ogni fase per la produzione dei componenti di un'abitazione, traducendo le informazioni digitali in processi produttivi capaci di generare i prodotti da costruzione, come per esempio il blocco strutturale del sistema Facit Chassis di Facit Homes (vedi fig.59).

Questi processi progettuali volti ad una produzione qualità è resa possibile anche grazie alla progettazione parametrica ed integrata (vedi fig. 60) dei sistemi BIM (Building Information Modeling)⁶³, con i quali è possibile tracciare tutte le informazioni relative a ogni elemento, processo e fase della vita di un'abitazione, comprendendo la pianificazione, la progettazione, la costru-

62. Weisheng Lu, Tan Tan, Jinying Xu, Jing Wang, Ke Chen, Shang Gao & Fan Xue (2021) Design for manufacture and assembly (DfMA) in construction: the old and the new, *Architectural Engineering and Design Management*, 17:1-2, 77-91, DOI: 10.1080/17452007.2020.1768505

63. Il National Institutes of Building Science definisce il BIM come la "rappresentazione digitale di caratteristiche fisiche e funzionali di un oggetto". Il BIM quindi non è un prodotto né un software ma un "contenitore di informazioni" in cui inserire dati grafici (come i disegni) e degli specifici attributi tecnici (come schede tecniche e caratteristiche) anche relativi al ciclo di vita previsto. Consente di integrare in un modello le informazioni utili in ogni fase della progettazione, da quella architettonica a quella esecutiva, (strutture, impianti, sicurezza, manutenzione, prestazioni energetiche, ecc.) e gestionale (computi metrici, distinte fornitori, ecc.). Fonte: Orientatrium. (s.d.). Building Information Modeling (BIM). Definizione. <https://www.orientatrium.net/bim/definizione/#page-content>

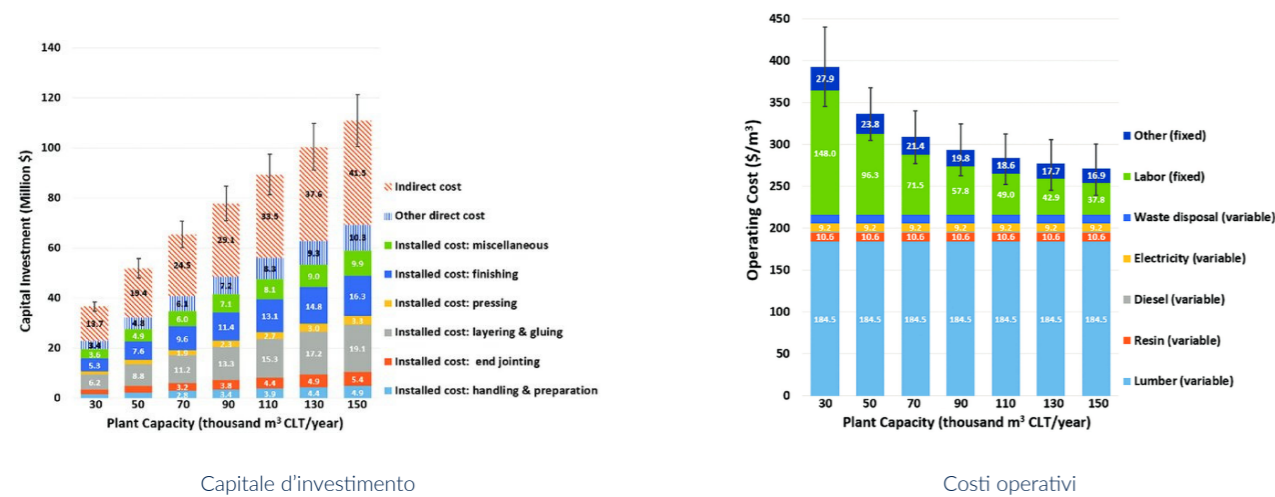


Fig.61. Costi sugli investimenti e operativi di una fabbrica di produzione CLT a capacità variabili. Fonte: Zhenzhen Zhang, Kai Lan. (2021). Understanding the Impacts of Plant Capacities and Uncertainties on the Techno-Economic Analysis of Cross-Laminated Timber Production in the Southern U.S. DOI: 10.32604/jrm.2022.017506

zione, la manutenzione, la decostruzione, lo smantellamento e lo smaltimento di tutti gli elementi e componenti, definendo ogni dettaglio tecnico e caratteristico di tutti i componenti, consentendone la riproduzione in serie dei componenti abbinati a informazioni essenziali come prezzi complessivi, dimensioni e conteggi.

A questo approccio, nato negli anni 70, è stato integrato successivamente un nuovo concetto basato sulla distribuzione delle informazioni denominato DfDMA (Design for Distributed Manufacture & Assembly). Questo sistema si basa sul passaggio da un approccio centralizzato della produzione, che nel caso del settore legno è composto principalmente da grandi aziende con grandi linee di produzioni costose (vedi grafici in figura fig.61), ad un approccio distributivo del settore produttivo sul territorio, riducendo al contempo le emissioni dovute al trasporto dei prodotti, condividendo via web le informazioni necessaria in modo da

sostenere lo sviluppo economico locale. Un approccio che mira alla DfDMA per esempio lo si ha con il sistema WikiHouse che tra i punti fondamentali che persegue, basa l'approccio oper source sulla condivisione delle informazioni in modo da creare una rete composta da diversi produttori e costruttori affermando:

*"The big idea behind WikiHouse is the power of 'many small'. WikiHouse isn't made by just one company in one large, centralised factory, but by a distributed network of small, local fabricators and assemblers, collaborating on common, shared design solutions. So it's not just about building homes: it's also about building local economic capacity, everywhere."*⁶⁴

L'approccio prefabbricato di un sistema abitativo ha trasformato la concezione tradizionale delle costruzioni, creando un

64. WikiHouse. (n.d.). Mission. Recuperato da <https://www.wikihouse.cc/mission>

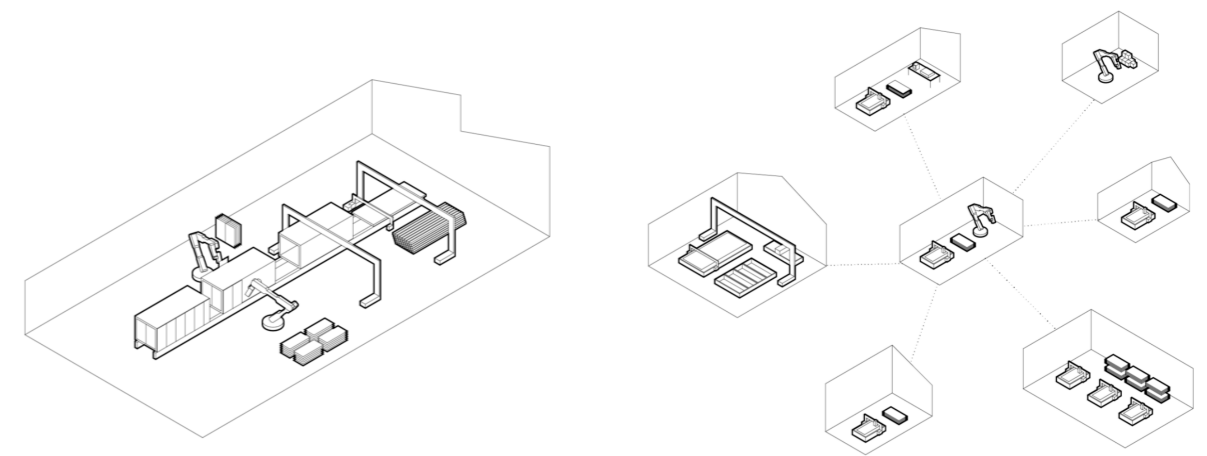


Fig.62. Confronto tra un sistema produttivo centralizzato con un sistema produttivo distribuito. Fonte: <https://www.mirandaplowden.com/projects/wikihouse-sheffield-2018-could-offsite-construction-be-the-solution-to-the-uks-housing-crisis>

prodotto che connette produttori e costruttori attraverso processi tecnologici avanzati, scomponendo l'abitazione in molteplici sottocategorie, suddivise a loro volta in singoli componenti modulari prefabbricati, destinati ad essere assemblati in cantiere. Questi componenti sono prodotti da una rete di piccoli produttori, incoraggiando la collaborazione tra diverse professioni e sostenendo la formazione di una rete di produttori, costruttori ed autocostruttori indipendenti, evitando la centralizzazione dei sistemi produttivi e costruttivi in singole fabbriche.

La suddivisione dell'abitazione in componenti prefabbricati e modulari presenta vantaggi significativi. Da un lato, consente il trasporto dei componenti in blocchi di dimensioni più contenute, riducendo i costi di trasporto grazie alla possibilità di utilizzare mezzi di trasporto comuni. Dall'altro lato, offre la flessibilità di adattare i singoli componenti a forme personalizzate, pur-

ché rispettino il sistema produttivo di componenti inter-compatibili ed abbinabili, garantendo una maggiore libertà progettuale e soddisfazione del cliente pur utilizzando componenti modulari standardizzati.

Questo approccio di scomposizione e operabilità dei diversi componenti si allinea alla filosofia di costruire edifici per "layes" (vedi fig.63) chiamata **"Shearing layers"**⁶⁵, sviluppata da Fran Duffy e Stewart Brand. Questa filosofia concepisce un'abitazione come un insieme di 6 strati: sito, struttura, involucro, servizi, spazio interno e arredamenti, ognuno con longevità e durabilità distinte, richiedendo una progettazione orientata alla futura manutenzione dei componenti. I punti chiave affrontati da tale progettazione includono la progettazione per la produzione basata sul triangolo tempi-costi-qualità, la progettazione per l'assemblaggio

65. Jarrett Fuller. (27 luglio 2023) The Shearing Layers of Graphic Design Education. Jarrett Fuller.blog. <https://www.jarrettfuller.blog/2023/07/shearing-layers/>

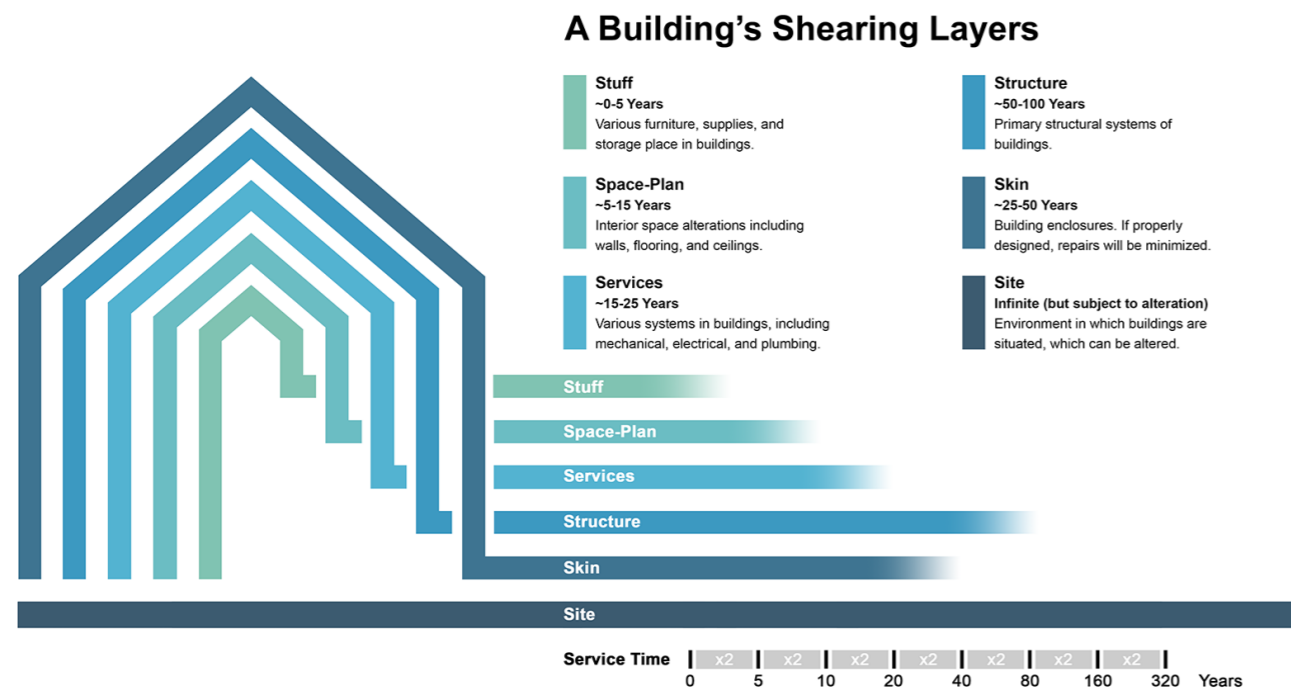


Fig.63. Componenti dei diversi "layers" che costituiscono un'abitazione secondo la filosofia "Shearing Layers" di Fran Duffy e Stewart Brand. Fonte: <https://worldflexhome.com/sustainable-building-design/>

producendo componenti "plug and play", la progettazione per la futura manutenzione considerando la vita nominale di ogni strato dell'edificio e la possibilità di sostituire le parti, e la progettazione per lo smontaggio al fine di favorire l'economia circolare dei materiali in previsione di un cambio di destinazione d'uso o il ricollocamento dell'abitazione.

Un esempio tangibile di progettazione in layers e dell'applicazione del sistema DfDMA è rappresentato dall'approccio produttivo dell'azienda e sistema WikiHouse. Questa azienda ha sviluppato un kit di sottocategorie di componenti, tra cui pareti, solai, scale e forature, che consente la costruzione di un'abitazione mediante

l'assemblaggio di singole parti, equivalenti a blocchi scatolari in compensato componibili e incastrabili tra loro attraverso connessioni a secco. Il sistema WikiHouse si basa su un approccio modulare abitativo autocostruibile e, grazie alla sua natura open source, offre la possibilità di condividere il sistema costruttivo online, rendendolo accessibile a tutti. Questo sistema riflette appieno l'approccio DfDMA, non solo per la sua capacità di incentivare la produzione dei componenti, ma anche per la sua volontà di promuovere la creazione di reti di produttori. Questa filosofia evita la concentrazione della produzione in singole fabbriche, preferendo invece coinvolgere una serie di produttori. L'obiettivo è

condividere la conoscenza e ridurre i costi di produzione, facilitando l'accesso agli imprenditori emergenti interessati a avviare nuovi impianti di produzione e taglio di pannelli in compensato e OSB.

Complessivamente, l'approccio evolutosi da DfMA a DfDMA, che integra un processo distributivo anziché centralizzato, si propone di incentivare e ottimizzare la progettazione, costruzione e autocostruzione di abitazioni. I vantaggi di utilizzare questo approccio si possono riassumere in sette punti⁶⁶:

1. Velocità: Riduce notevolmente il programma in cantiere attraverso la predilezione della prefabbricazione e del pre-assemblaggio off-site. Inoltre, riduce i tempi di ordinazione dei prodotti e materiali grazie all'uso di componenti standard reperibili sul mercato.

2. Riduzione dei costi: Diminuendo il numero di elementi unici, si riduce la complessità del prodotto e, di conseguenza, la quantità di manodopera richiesta in fase di assemblaggio.

3. Maggiore qualità e sostenibilità: Riduce gli scarti nella fase di costruzione e garantisce una maggiore efficienza nella logistica del cantiere grazie alla riduzione del movimento di veicoli e all'utilizzo di materiali più rispettosi dell'ambiente.

4. Tempi di montaggio ridotti: Riduce i tempi di assemblaggio utilizzando pratiche standard come l'assemblaggio verticale e parti auto-allineanti. Garantisce inoltre una transizione agevole e rapida dalla fase di

progettazione a quella di produzione.

5. Maggiore affidabilità: Aumenta l'affidabilità limitando il numero di materiali impiegati, riducendo le operazioni di produzione, semplificando le connessioni e di conseguenza diminuendo il rischio di errore.

6. Sicurezza: Sposta parte delle attività di cantiere in un ambiente di fabbrica controllato, contribuendo significativamente ad un aumento della sicurezza sul luogo di lavoro.

7. Automazione: Utilizza processi progettuali, di produzione e assemblaggio automatizzabili, aumentando l'efficienza, la qualità e la sicurezza complessiva del processo.

Sebbene la produzione distribuita possa essere meno efficiente rispetto a quella centralizzata, il sistema DfDMA si dimostra più resiliente ed economicamente accessibile, incoraggiando la formazione di piccole imprese, contribuendo al dinamismo delle economie locali e al progresso sostenibile nel settore delle costruzioni.

⁶⁶ Federico Borello. (31 agosto 2022). Costruzione Virtuale e Progettazione DfMA Integrata - La metodologia DfMA: significato e vantaggi. Ingenioweb. <https://www.ingenio-web.it/articoli/costruzione-virtuale-e-progettazione-dfma-integrata/>

2.4

I Modern Method of Construction (MMC)

La digitalizzazione dei processi produttivi, mediante l'adozione dell'approccio DfDMA, è stata oggetto di sperimentazione da parte di diversi paesi che lo hanno adattato con decisione, cercando di codificarlo e di imporlo come standard a livello globale. Ad esempio, nel Regno Unito, il gruppo di lavoro MHCLG (Ministry of Housing, Communities & Local Government), ora noto come DLUHC (Department for Levelling Up, Housing & Communities)⁶⁷, ha introdotto i metodi MMC (Modern Method of Construction). Questo termine, come suggerisce il nome, identifica un insieme di metodi innovativi nell'ambito dell'edilizia 4.0, focalizzati sulla prefabbricazione e basati sull'utilizzo di tecnologie e sistemi avanzati per la produzione e la costruzione edilizia. Tale approccio favorisce la realizzazione di molteplici vantaggi per il settore edilizio, promuovendo l'impiego di sistemi off-site volti all'autocostruzione e agevolando la prefabbricazione modulare di componenti destinati alla costruzione abitativa. I Modern Method of construction MMC includono diverse innovazioni, dalle nuove tecniche di costruzione in loco, come approcci avanzati per la posa di mattoni in cemento, fino alle abitazioni realizzate mediante la prefabbricazione di compo-

67. Ministry of Housing, Communities and Local Government. (s.d.). Gov.uk. <https://www.gov.uk/government/organisations/ministry-of-housing-communities-and-local-government>

nenti costruttivi in legno o acciaio, utilizzando il metodo off-site. Quest'ultimo, definito dall'articolo "EDILIZIA OFF-SITE IN ACCIAIO: Sistemi costruttivi innovativi"⁶⁸, è caratterizzato come una forma di costruzione prefabbricata o moderni metodi di costruzione (MMC). Tale approccio si focalizza sullo spostamento delle attività di costruzione principalmente in fabbrica piuttosto che sul cantiere, con l'obiettivo di migliorare l'efficienza e la qualità del processo costruttivo, riducendo al contempo l'intensità delle lavorazioni in loco. La costruzione off-site fornisce una piattaforma aperta per interventi di riqualificazione o nuove costruzioni, sfruttando una varietà di materiali come legno, acciaio, cemento o soluzioni ibride. Le attività off-site seguono moderni processi industriali con approcci lean⁶⁹ e circolari per minimizzare gli sprechi, inclusi lavori eseguiti on-site o in spazi temporanei vicini al cantiere. Questo approccio progettuale comprende le fasi di produzione, assemblaggio e gestione dei beni, con particolare attenzione alla stan-

68. Enrico Frizzera. (marzo 2020). EDILIZIA OFF-SITE IN ACCIAIO, Sistemi costruttivi innovativi. Manni Green Tech. https://manni-group-uploads.s3.eu-west-1.amazonaws.com/wp-content/uploads/2021/06/inlook-Marzo2020_singole.pdf

69. I Lean Thinking o pensiero snello, è uno stile di management che mira all'abbattimento degli sprechi per creare processi standardizzati eccellenti a basso costo con il contributo delle persone. È adattabile a tutti i settori e contesti e si applica a tutte le aree aziendali. Fonte: Considi. (s.d.). Lean Thinking. Considi. <https://www.considi.it/lean-thinking/#:~:text=Il%20Lean%20Thinking%20o%20pensiero,a%20tutte%20le%20aree%20aziendali>.

nardizzazione, analisi dei costi e prestazioni per l'intero ciclo di vita dell'edificio.

Attualmente, siamo testimoni di una rivoluzione nella ricerca e sviluppo dei MMC. I Modern Methods of Construction (MMC), infatti, insieme al metodo off-site e all'approccio DfDMA, emergono come innovativi sistemi costruttivi caratterizzati da notevole rapidità di produzione dei componenti, significativa riduzione dei difetti strutturali e minimizzazione degli sprechi di materiali ed energia. Unificando diverse tecniche, materiali e approcci per garantire elevati standard ambientali, questi approcci ridefiniscono i sistemi costruttivi tradizionali, introducendo nuove tecnologie e ottimizzando i processi in cantiere attraverso la prefabbricazione e la modularità bidimensionale o tridimensionale dei componenti in fabbrica. Inoltre, la semplificazione del trasporto e dell'assemblaggio degli elementi tramite giunzioni meccaniche a secco, insieme alle notevoli riduzioni di emissioni derivanti dalla prefabbricazione e, in particolare, dall'utilizzo del legno, gli MMC contribuiscono positivamente all'impatto ambientale dei processi costruttivi, costituendo in questo modo, una risposta contemporanea alle esigenze del settore edilizio europeo.

Gli MMC sono un insieme di sette categorie di sistemi costruttivi off-site innovativi e all'avanguardia compresi all'interno di una gamma completa offerta dai "modern method of construction" utilizzati nell'edilizia abitativa. Il quadro completo che si andrà a delineare è stato estrapolato dal "Modern Methods of construction, introducing the MMC definition framework", risultato del gruppo di lavoro congiunto dell'indu-

stria MHCLG, informazioni ricavate membri del gruppo di lavoro, Buildoffsite, Homes England, NHBC e RICS⁷⁰.

I sistemi costruttivi del Modern Methods of Construction (MMC) sono applicate alla tipologia edilizia abitativa, spaziando dalle case unifamiliari monopiano fino alle palazzine di oltre 10 piani. Questi sistemi si distinguono per l'impiego di soluzioni innovative digitalizzate e metodologie costruttive basate sull'approccio "Design for Manufacture and Assembly" (DfDMA), che implicano la produzione di componenti prefabbricati e modulari, destinati ad essere installati e assemblati in cantiere. Tale approccio mira a integrare tutte le fasi progettuali, produttive e costruttive tipiche dell'ambito dell'edilizia industrializzata (IC)⁷¹, dove convergono strumenti tecnologici, processi avanzati e governance digitali con pratiche di produzione e automazione in modo da realizzare progetti edilizi più efficienti, sostenibili e orientati al valore abitativo e costruttivo.

Materiali utilizzati nei Modern Methods of Construction (MMC)

I materiali utilizzati nei Modern Methods of Construction (MMC) si possono suddividere in 4 categorie: materiali legnosi, materia-

70. Buildoffsite. (2019). MODERN METHODS OF CONSTRUCTION - INTRODUCING THE MMC DEFINITION FRAMEWORK. MMC I-Pad Base. Gov.uk. https://www.buildoffsite.com/content/uploads/2019/04/MMC-I-Pad-base_GOVUK-FINAL_SECURE-1.pdf

71. RIBA 2021 definisce l'IC "Il processo di adozione di più pratiche di produzione, tra cui attrezzature specializzate, meccanizzazione e automazione, per rendere il settore delle costruzioni più efficiente e produttivo, con una migliore garanzia di qualità per risultati a lungo termine di migliore valore, più affidabili e più sostenibili." Fonte: Tilbury Douglas. (2022). MMC Brochure. <https://tilburydouglas.co.uk/wp-content/uploads/2022/09/MMC-brochure.pdf>

li metallici, materiali cementizi e materiali misti.

Materiali legnosi:

- **Mass engineered timber (MET):** materiale da costruzione comprendente prodotti in legno ingegnerizzato con una migliore integrità strutturale che includono i pannelli Cross Laminated Timber (CLT), un prodotto a base legno massiccio costituito da diversi strati di pannelli di legno incollati con un adesivo strutturale ad angoli retti alternati, utilizzato prevalentemente per pareti, pavimenti e tetti,⁷² il Glued Laminated Timber (Glulam) o legno lamellare, realizzato con tavole di abete rosso classificate per resistenza, piattate e giuntate a pettine, incollate insieme sotto pressione sulla loro superficie piana dove tutte le tavole corrono parallele alla lunghezza per creare sezioni trasversali rettangolari,⁷³ e il Laminated veneer lumber (LVL), prodotto in legno massiccio due volte più resistente dell'acciaio in proporzione al peso costituito da più impiallacciature di legno essiccato classificato in termini di resistenza.⁷⁴ Questi sistemi viene utilizzato principalmente per la produzione di pilastri, travi ed elementi reticolari⁷⁵.

- **Timber framed (TF):** sistema costruttivo che si basa sull'utilizzo di materiali che si

prestano alla realizzazione di elementi lineare come profili in Glued Laminated Timber (Glulam) o in modo da creare pareti con montanti strutturali ravvicinati tra loro e tamponati da pannelli⁷⁶.

Materiali metallici:

- Light gauge steel framed (LGS)
- Hot rolled fabricated steel (HRS)
- Hot rolled / light gauge steel combination (SC)

Materiali cementizi:

Concrete & cement derived
Materiali misti:
Timber framed / concrete combination (TFC)

Categorie dei metodi MMC

I materiali appena elencati, legati ai MMC si sviluppano intorno al concetto di "pre-manufacturing" che coinvolge una serie di processi che avvengono in luoghi distanti dalla superficie di lavoro definitiva, compresi stabilimenti remoti, strutture vicine al sito o addirittura fabbriche temporanee "pop-up" installate in loco. La prova di validità di questo approccio è rappresentata dall'applicazione di un processo di fabbricazione o consolidamento dei componenti in condizioni controllate, prima che avvenga l'assemblaggio o l'installazione finale. Questo permette di garantire una maggiore precisione e controllo sulla qualità del prodotto, riducendo potenzialmente gli errori e ottimizzando il risultato finale durante la fase di installazione.

I MMC si suddividono in 7 categorie: Pre-manufacturing (3D primary structural systems),

76. Progetto Legno. (s.d.). Telaio. Progetto Legno. <https://www.promolegno.com/costruire-con-il-legno/tecnologia/sistemi-costruttivi/telaio>

ral systems), Pre-manufacturing (2D primary structural systems), Pre-manufacturing components (non-systemised primary structure), Additive manufacturing (structural and non-structural), Pre-manufacturing (non structural assemblies & sub-assemblies), Traditional building product led site

labour reduction / productivity improvements, Site process led site labour reduction / productivity / assurance improvements, che a loro volta, considerando le peculiarità che deve permettere l'autocostruzione, ovvero un sistema composto da elementi leggeri e facili da trasportare da



Categoria 1

Pre-manufacturing (3D primary structural systems):

Produzione in fabbrica di unità tridimensionali per l'installazione in cantiere, comprendente sia abitazioni complete che strutture modulari. Posso presentarsi come: telai strutturali senza il tetto, telai strutturali con rivestimenti e copertura annessa o come unità abitativa completa di struttura, copertura, impianti ed infissi.



Fig.64. Blocco abitativo prefabbricato tridimensionale. Fonte: <https://www.teknoring.com/news/materiali-e-soluzioni/prefabbricazione-modularita-futuro-edilizia/>



Categoria 2

Pre-manufacturing (2D primary structural systems):

Prefabbricazione di pannelli intelaiati chiusi o elementi lineari per strutture a telaio, impiegati per la realizzazione di pavimenti, pareti e tetti, da assemblare in cantiere. Tra questi possono rientrare anche servizi, serramenti, porte, finiture murarie interne e rivestimenti esterni.



Fig.65. Pannello parete prefabbricato in CLT. Fonte: <https://www.tecnocomfortcase.it/case-prefabbricate-risparmio-energetico-in-legno/sistema-nur-holz-pannelli-in-legno-totalmente-naturali/particolari-costruttivi-sistema-nur-holz/>



Categoria 3

Pre-manufacturing components (non-systemised primary structure):

Utilizzo di elementi strutturali prefabbricati realizzati in sezioni di legno o interi pannelli massicci in legno ingegnerizzato, acciaio laminato a freddo o a caldo o calcestruzzo prefabbricato. Gli elementi includono travi portanti, colonne, pareti, strutture centrali e solai.



Fig.66. Travi e pilastri in legno lamellare. Fonte: <https://www.cgedilservice.it/realizzazioni-e-cantieri/ricovero-attrezzi-b-s--tregnago/>



Categoria 4

Additive manufacturing (structural and non-structural):

Stampa di parti o della struttura completa di un'abitazione basati su tecniche di progettazione e produzione digitale, attraverso l'utilizzo di diversi materiali, tra cui il legno.



Fig.67. Stampa 3D abitazione "TECLA". Fonte: <https://www.teknoring.com/news/materiali-da-costruzione/tecla-primo-edificio-terra-cruda-stampato-3d/>



Categoria 5

Pre-manufacturing (non structural assemblies & sub-assemblies):

Una serie di diversi approcci di pre-produzione che includono sistemi non strutturali di pareti, componenti di completamento del tetto, unità mini-volumetriche non portanti, a volte denominate "pods", utilizzati per aree altamente servite e più ripetibili come cucine e bagni, locali di servizio, locali tecnici nonché telai di cablaggio preformati.



Fig.68. "Bathroom pod". Fonte: https://www.nibs.org/files/pdfs/MI_OSCC_BathroomPods_2017.pdf



Categoria 6

Traditional building product led site labour reduction / productivity improvements:

Comprende prodotti tradizionali per ridurre la manodopera in cantiere migliorando la produttività della realizzazione di abitazioni con i sistemi tradizionali.

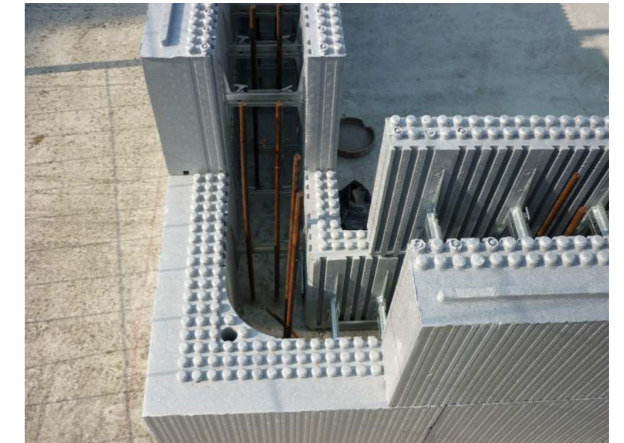


Fig.69. Sistema parete "Argisol" che velocizza il processo costruttivo in calcestruzzo. Fonte: https://www.bioisotherm.it/wp-content/uploads/2017/09/Cicli-di-finitura-intonaco_Argisol-Termosolaio_09.17.pdf



Categoria 7

Site process led site labour reduction / productivity / assurance improvements:

Questa categoria comprende diverse strategie che impiegano tecniche costruttive innovative direttamente in cantiere, con l'obiettivo di ridurre la necessità di manodopera, aumentare la produttività e migliorare l'efficienza dei processi automatizzati attraverso l'uso di tecnologie digitali, robotica, esoscheletri, droni e strumenti di verifica. Questo approccio sfrutta miglioramenti nei processi che non rientrano nelle cinque principali categorie di pre-produzione 1-5 o nell'innovazione dei materiali della Categoria 6.

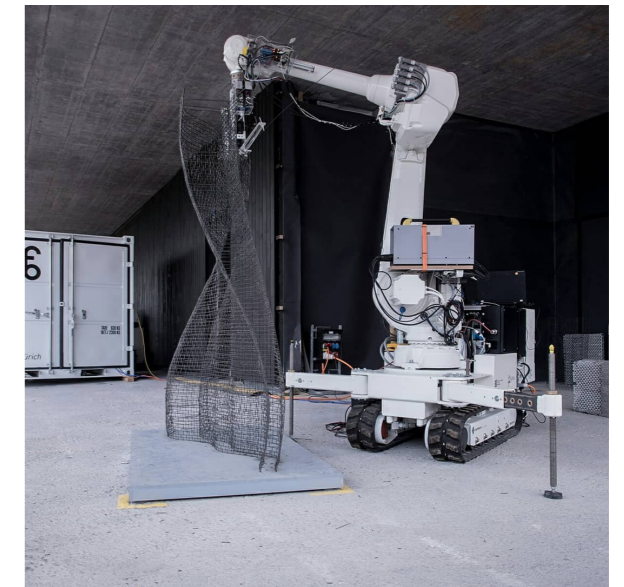


Fig.70. Braccio robotico IF1 mentre realizza una piccola rete metallica a doppia curvatura presso il cantiere esplorativo NEST. Fonte: https://www.researchgate.net/publication/312374839-Mobile_Robotic_Fabrication_at_11_scale_the_In_situ_Fabricator

singole persone.

Rapporto tra i metodi MMC e i processi produttivi e costruttivi di sistemi prefabbricati leggeri

Sulla base degli obiettivi europei di decarbonizzazione nei settori ad elevato impatto ambientale, il settore edile ha abbracciato la prefabbricazione abitativa in legno con componenti leggeri, integrando i processi della digital fabrication e adottando sistemi innovativi per progettazione, produzione e costruzione (vedi Capitolo 2.2.4).

Questa evoluzione è supportata dall'approccio produttivo DfMA per la prefabbricazione di componenti pronti per l'assemblaggio in cantiere, e dall'integrazione della decentralizzazione dei sistemi, creando una rete più ampia di piccoli produttori con il DfDMA (vedi capitolo 2.3). L'insieme di queste tecnologie legano la prefabbricazione con componenti leggeri dei sistemi innovativi dell'ultimo ventennio analizzati nel capitolo 2.2.4 (Facit Homes, WikiHouse, Blokiwood, PopUp House, U-build, Brix System e Gablok), con i processi decarbonizzanti portati dall'edilizia 4.0.

L'analisi dei materiali e delle categorie che costituiscono i Modern Methods of Construction (MMC) evidenzia chiaramente il solido collegamento di tali metodologie con i processi innovativi della digital fab, come descritto nel capitolo 2.2.4. Sulla base di questa constatazione si procede con l'analisi delle categorie dei Modern Methods of Construction (MMC) al fine di comprendere quali di esse si integrino in modo ottimale nei processi di produzione di sistemi prefabbricati leggeri. Tale analisi è volta a individuare vantaggi e svantaggi, permet-

tendo così di approfondire ulteriormente la collocazione degli MMC tra la prefabbricazione leggera e la decarbonizzazione del settore edile:

Le categorie 1, 3 e 5, pur concentrandosi sul velocizzare i processi costruttivi tramite il preassemblaggio di pannelli, blocchi o moduli di grandi dimensioni in legno e/o in acciaio, sono escluse dal contesto prefabbricazione di sistemi leggeri a causa dei requisiti di leggerezza e manovrabilità non rispettati.

La categoria 6, pur presentando soluzioni modulari autocostruibili, viene esclusa poiché non rispetta i criteri di costruzione off-site con l'uso del legno e di connessioni a secco.

Le categorie 4 e 7, nonostante le loro caratteristiche avanzate dal punto di vista tecnologico, sostituiscono la partecipazione attiva dell'essere umano andando a sostituire i processi autocostruttivi con dei processi costruttivi automatizzati, perdendo in questo modo l'essenza dell'assemblaggio di componenti leggeri prefabbricati.

La categoria 2 invece, a differenza di tutte le altre, emerge come l'unica autenticamente orientata alla prefabbricazione di componenti leggeri assemblabili, consentendo la composizione di edifici con sezioni di piccole o grandi dimensioni, agevolando la lavorazione e la movimentazione da parte di una o più persone e eliminando la necessità di utilizzare macchinari pesanti come supporto all'autocostruzione. Tuttavia, i metodi delle categorie 1, 3 e 5 possano contribuire in maniera significativa al completamento della struttura abitativa, come per esempio le travi di grandi ad I del tetto del sistema

Blokiwood. I blocchi prefabbricati della categoria 5 invece offrono la possibilità di affrontare specifiche problematiche tecniche non accessibile all'utente che potrebbero compromettere l'integrità della struttura abitativa nella realizzazione di porzioni di struttura più complesse, come le scale e i tetti; problema risolvibile grazie all'integrazione di moduli prefabbricati già preassemblati da inserire e connettere direttamente alla struttura autocostruita. Pertanto, all'interno del contesto di prefabbricazione di componenti leggeri volti all'assemblaggio e autocostruzione, i metodi MMC possono essere combinati o esclusi in base alle esigenze specifiche del sistema proposto dalle aziende e dai progettisti presenti sul mercato. Le categorie possono così essere suddivise in tre sezioni: MMC per sistemi leggeri, MMC per il completamento dei sistemi leggeri e MMC che non favoriscono i sistemi leggeri.

Vantaggi e sfide dei MMC per l'autocostruzione

La progettazione integrata delle fasi di costruzione e autocostruzione, costituisce la base di partenza per l'adozione dei Modern Method of Construction (MMC) nell'ambito della prefabbricazione leggera di sistemi assemblabili per l'autocostruzione abitativa presentando però dei vantaggi e sfide da sostenere.

Tramite il documento "Guide 12 Modern Methods of Construction, Practical Guides for Creating Successful New Communities" della TCPA pubblicata nell'aprile 2020,⁷⁷ e

⁷⁷TCPA. (2020). *Guide 12: Modern Methods of Construction, Practical Guides for Creating Successful New Communities*. TCPA https://tcpa.org.uk/wp-content/uploads/2021/11/gc_practicalgui

Metodi MMC per sistemi leggeri

Categoria 2. Pre-manufacturing (2D primary structural systems)

Metodi MMC di completamento per sistemi leggeri

Categoria 1. Pre-manufacturing (3D primary structural systems)

Categoria 3. Pre-manufacturing components (non-systemised primary structure)

Categoria 5. Pre-manufacturing (non structural assemblies & sub-assemblies)

Metodi MMC che non favoriscono i sistemi leggeri

Categoria 4. Additive manufacturing (structural and non-structural)

Categoria 6. Traditional building product led site labour reduction / productivity improvements

Categoria 7. Site process led site labour reduction / productivity / assurance improvements

alle valutazioni estrapolate dalle testimonianze riportate a fine capitolo, è possibile comprendere i possibili vantaggi e svantaggi dell'applicazione degli MMC con la prefabbricazione di sistemi leggeri volti all'autocostruzione.

Per chiarire questo processo, saranno elencate le tematiche affrontate, suddividendole i vantaggi e svantaggi. Al termine di ciascun tema, saranno indicati i benefici e le sfide.

vantaggi estratti dal "Guide 12 Modern Methods of Construction, Practical Guides for Creating Successful New Communities" della TCPA: Velocità di costruzione, Impatti del cantiere, costi di costruzione, qualità di costruzione, prestazioni ambientali

Vantaggi

Velocità di costruzione

I Modern Method of Construction (MMC) offrono la prospettiva di costruire abitazioni in tempi rapidi, riducendo il tempo del 30%-70%, costituendo una delle principali motivazioni del loro utilizzo, viste le possibili implicazioni dei ritardi dovuti ad agenti atmosferici che potrebbero rallentare le costruzioni con metodi tradizionali. Con gli MMC le condizioni atmosferiche influiscono meno grazie alla velocità di completamento delle strutture prefabbricate.

Benefici: I sistemi prefabbricati leggeri, producono componenti leggeri pronti per il montaggio, godendo di un significativo aumento nella velocità di costruzione ed eliminando gli imprevisti in cantiere che potrebbero causare ritardi.

de_12-mmm_rgb.pdf

Sfide: La curva di apprendimento iniziale necessaria per familiarizzarsi con le specifiche dei componenti da assemblare potrebbe incidere sulle tempistiche dei processi di assemblaggio dell'abitazione.

Impatti del cantiere

La costruzione off-site contribuisce a ridurre la dipendenza da numerosi macchinari, minimizzando i disturbi acustici e migliorando l'esperienza complessiva della comunità circostante. Grazie a tempi di costruzione più brevi, si attenuano i disagi per i residenti esistenti, con minori impatti negativi derivanti da rumore, inquinamento atmosferico e congestione del traffico.

Benefici: L'utilizzo di componenti prefabbricati leggeri facili e veloci da assemblare apportano una notevole riduzione dei disturbi per la comunità circostante, grazie a una gestione semplificata del sito e alla riduzione del traffico legato alle consegne ridotte della flessibilità di trasporto dei componenti portate dalla velocità di costruzione dell'abitazione.

Costi di costruzione:

Gli MMC offrono vantaggi in termini di riduzione dei costi calcolabili nell'intero ciclo di vita dell'edificio, tuttavia, i costi iniziali possono risultare più elevati. È essenziale notare che i risparmi a lungo termine derivanti dall'efficienza e dalla durabilità possono bilanciare tali costi.

Benefici: I costi iniziali di costruzione sono notevolmente contenuti nell'ambito dei sistemi leggeri, poiché la limitata dipendenza da macchinari pesanti e di imprese che si occupano delle fasi di costruzione, uniti all'opportunità di auto-produrre, in alcuni

casi, i componenti da assemblare, contribuiscono in modo tangibile alla riduzione complessiva delle spese di costruzione

Sfide: I costi iniziali legati all'acquisto delle parti da assemblare potrebbero rappresentare un impegno finanziario più significativo.

Qualità di Costruzione

La costruzione in fabbrica permette migliori controlli e test, riducendo difetti e la necessità di manutenzione, garantendo sistemi e componenti di qualità.

Sfide e benefici: La progettazione di sistemi per l'autocostruzione sicuri e performanti rappresenta una sfida che impone ai progettisti di condurre rigorosi controlli in modo da mettere in sicurezza il processo di assemblaggio del sistema rispettando le norme vigenti della nazione di riferimento. Le analisi compiute per comprendere questi processi evidenziano l'importanza di ulteriori controlli e test per garantire una qualità superiore.

Prestazioni Ambientali

Gli MMC offrono la possibilità di costruire secondo standard ambientali più elevati rispetto alle case tradizionali, riducendo lo spreco di materiale e favorendo l'uso di materiali sostenibili che contribuiscono a un'eco-sostenibilità superiore.

Benefici: Le caratteristiche tecno-fisiche del legno insieme ai materiali isolanti utilizzati per i sistemi prefabbricati leggeri volti all'autocostruzione del capitolo 2.2.4, favoriscono prestazioni termiche e ambientali notevoli, garantendo inoltre la circolarità dei materiali grazie alla possibilità di disassemblare le strutture. Questo approc-

cio promuove l'economia circolare e contribuisce significativamente alla riduzione dei materiali di scarto.

Sfide: L'assemblaggio della struttura non ben realizzata potrebbe causare diverse problematiche di infiltrazioni di aria e acqua che andrebbero a compromettere l'integrità strutturale ed i costi complessivi nell'arco di vita dell'edificio viste il calo prestazionale termo-fisiche dell'abitazione. Questo comporta la sfida di progettare un sistema di connessioni ad alta efficienza e delle istruzioni chiare e precise di come assemblare i componenti.

Svantaggi

Svantaggi estratti dal "Guide 12 Modern Methods of Construction, Practical Guides for Creating Successful New Communities" della TCPA: Durabilità, approvvigionamento, pianificazione, movimentazione, sicurezza, costo dei prodotti, costi iniziali, sistemi di connessione e trasporto eccessivo.

Durabilità

L'innovazione tecnologica rappresenta una sfida nel valutare l'impatto dell'intero ciclo di vita dei sistemi costruttivi moderni e tradizionali. La mancanza di prove quantificate su durabilità, riparabilità e adattabilità crea ostacoli significativi, influenzando sicurezza e prestazioni a lungo termine.

Approvvigionamento

Gli ostacoli nell'approvvigionamento MMC includono costi iniziali elevati, preoccupazioni sulla conformità e la formazione di partnership a lungo termine con i fornitori.

Pianificazione

L'incertezza di mercato Inglese, nel caso dell'articolo analizzato, rallenta l'approvazione dell'MMC nella costruzione di nuove abitazioni, richiedendo un lungo processo amministrativo per valutare le relazioni tecniche, inoltre le incertezze sui dati prestazionali contribuiscono a ritardi e rischi di pianificazione, costantemente citati dagli sviluppatori.

A differenza dei vantaggi dov'è stato possibile definire dei benefici e sfide per ogni tematica affrontata, gli svantaggi si prefigurano come delle sfide appartenenti ad ogni categoria di costruzione tradizionale e prefabbricata che adottano i metodi MMC. Tuttavia, oltre alle tematiche affrontate dall'articolo analizzato, è possibile delineare ulteriori temi che possono implicare dei benefici o sfide:

Movimentazione

La movimentazione dei componenti prefabbricati MMC richiedono requisiti relativi alle dimensioni e all'attrezzatura del sito per permettere una corretta movimentazione dei componenti.

Benefici: L'autocostruzione concepita con componenti prefabbricati facilmente manovrabili da singole persone, senza l'utilizzo di macchinari pesanti, risolve il problema della movimentazione dei componenti in cantiere.

Sicurezza

la sicurezza durante il montaggio richiede procedure specializzate e formazione specifica per garantire la tutela dei lavoratori.

Benefici: I sistemi di prefabbricati leggeri,

basati su kit di montaggio con componenti specifici e accompagnati da chiare regole e procedure di assemblaggio, sono progettati preventivamente per preparare l'acquirente ad affrontare qualsiasi rischio potenziale durante il processo di autocostruzione. Inoltre, la maggior parte dei sistemi costruttivi leggeri analizzati nel capitolo 2.2.4 e successivamente approfonditi nel capitolo 4, forniscono supporto tecnico in cantiere.

Sfide: La mancanza di formazione specifica potrebbe essere una sfida. Gli utenti intenzionati ad autocostruirsi la propria abitazione, dovranno investire tempo nella comprensione delle procedure di sicurezza legate ai componenti prefabbricati.

Costo dei prodotti

L'utilizzo di componenti prefabbricati, sebbene efficienti, può comportare maggiori costi rispetto ai materiali tradizionali

Benefici e Sfide: La maggior parte dei componenti prefabbricati di un sistema prefabbricato leggero avranno necessariamente un costo maggiore rispetto ai materiali tradizionali non a base legno. Nel caso invece di prodotti massicci in legno come il CLT, i costi del sistema leggero saranno nettamente inferiori. Inoltre, come è stato già riportato nella categoria dei vantaggi, i sistemi prefabbricati leggeri costruiti con i sistemi presi in analisi del capitolo 2.2.4, avranno un ritorno economico grazie alle alte prestazioni termiche dell'abitazione che permetterà di contenere i costi complessivi.

Costi iniziali

L'adozione dei MMC implica investimenti iniziali per la creazione di linee di produzio-

ne dedicate.

Benefici: Alcuni sistemi prefabbricati con componenti leggeri assemblabili, come Facit Homes, offrono l'accesso a macchinari per la produzione diretta in cantiere dei componenti. Questa caratteristica consente di produrre in modo assistito, i componenti del kit abitativo, contribuendo significativamente alla riduzione dei costi di produzione e alla creazione di efficienti linee di produzione. Inoltre, la modularità di alcuni sistemi costruttivi permette di produrre in serie i componenti riducendo costi di produzione, materiale e tempo.

Sfide: Sebbene la produzione di componenti leggeri abbia costi inferiori rispetto alla produzione di componenti pensati con il CLT, l'utente intenzionato ad autoprodursi i propri componenti dovrà comunque tener conto dei costi necessari per i macchinari di taglio e per la loro gestione.

Sistemi di connessione:

Conformità e controllo di qualità nei giunti di contatto

Benefici: I sistemi costruttivi progettati per l'assemblaggio di componenti leggeri, sono studiati in modo da risolvere preventivamente i problemi riguardo ai giunti e connessioni con soluzioni a secco.

Sfide: Garantire da parte dei sistemi costruttivi, giunti e connessioni semplici di facile applicazione, in modo da assicurare una corretta esecuzione. Inoltre, si dovrebbero garantire rigorose verifiche e certificazioni della conformità dei giunti con i regolamenti.

Trasporto eccessivo

Molteplici materiali di trasporto in fabbrica

e dalla fabbrica al cantiere

Benefici: I sistemi prefabbricati leggeri volti all'autocostruzione consentono un maggiore controllo sulla logistica del trasporto grazie alle dimensioni ridotte dei componenti.

Testimonianze

Delle testimonianze dei vantaggi effettivi dell'adozione dei metodi MMC nella prefabbricazione di sistemi leggeri per l'autocostruzione, possono essere estratte dall'articolo "MMC: the key to reducing carbon emissions?" del Grand Design Magazine, UK⁷⁸. Ben Mailen di "Ben Mailen DBIMesign," per esempio, esamina l'importanza dell'integrazione del Building Information Modeling (BIM) ai metodi MMC e degli strumenti di supporto alla progettazione dell'autocostruzione, affermando che questo approccio consente una comprensione approfondita e una verifica di ogni fase costruttiva, prevenendo errori ed evidenziando potenziali rischi derivanti dall'autocostruzione. Mailen enfatizza che questa progettazione modulare è concepita per essere efficiente fin dall'inizio, con precisione nella creazione in fabbrica che elimina le infiltrazioni e riduce la necessità di riscaldamento. Inoltre aggiunge che i materiali utilizzati, come il legno lamellare, hanno un impatto ambientale inferiore rispetto a mattoni e malta, mentre le emissioni legate al trasporto sono ridotte grazie alla consegna in un'unica soluzione delle case modulari. Dan Macpherson, direttore

78. Victoria Purcell. (20 ottobre 2022). Do Modern Methods of Construction Reduce Carbon Emissions? Grand Designs Magazine. <https://www.granddesignsmagazine.com/self-build/construction/do-modern-methods-of-construction-reduce-carbon-emissions/>



Fig.71. 30 dei 34 progetti prefabbricati autoconstruiti con l'impiego dei metodi MMC. Fonte: <https://www.architectsjournal.co.uk/news/inside-graven-hill-the-uks-radical-self-build-experiment>

del progetto presso consulenti edili Henry Riley, sottolinea ulteriormente i benefici ambientali dell'adozione dei MMC e della costruzione off-site, affermando che le riduzioni del carbonio incorporato e operativo sono possibili grazie alle condizioni controllate in fabbrica durante la produzione di prodotti e sistemi. Macpherson sottolinea che la tracciabilità dell'uso dei materiali e del carbonio è semplificata grazie alla capacità di utilizzare la progettazione digitale di produzione, in modo da garantire verifiche sulla qualità, garantendo un'accuratezza maggiore nell'esecuzione dei lavori e nella prefabbricazione. Infine, Macpherson aggiunge che è più facile raggiungere obietti-

vi ambiziosi come la riduzione del carbonio operativo a zero, poiché il livello di partenza è già molto elevato.

L' AIMCH (The Advanced Industrialised Methods for the Construction of Homes) ha pubblicato un rapporto in cui si evidenziano i vantaggi ambientali dell'utilizzo dei MMC sulla riduzione del carbonio da parte delle costruzioni analizzando la differenza degli impatti ambientali di abitazioni MMC costruite in legno a pannelli aperti o chiuso, intitolato "TRANSFORMING HOW WE BUILD HOMES"⁷⁹ e pubblicato nell'aprile

79. AIMCH. (2022). TRANSFORMING HOW WE BUILD HOMES. year three - final project report april 2022. AIMCH. https://www.aimch.co.uk/images/AIMCH_Annual_report_2022_-_updated.pdf

del 2022, si ha una percentuale dei reali vantaggi dell'impiego dei metodi MMC. I risultati riportano che l'utilizzo dei MMC legati al legno hanno l'82% di emissioni in meno rispetto alle costruzioni con materiali tradizionali. Inoltre, nell'articolo "Effectiveness of the Modern Methods of Construction in Terms of Cost and Time: A Case Study of the United Kingdom"⁸⁰ del 2021 viene riportato un vantaggio economico dovuto alla prefabbricazione dei componenti del progetto "Muray Grove del Peaboy", anche se non di autoconstruzione, portati dall'uso dei metodi MMC con l'utilizzo dei sistemi prefabbricati, permise di capitalizzare nei vantaggi offerti dalla produzione off-site grazie all'aumento del ritmo del processo di costruzione attraverso la costruzione di 32 appartamenti indipendenti a Londra in solo 8 giorni. Un esempio invece di integrazione dei metodi MMC all'autoconstruzione con sistemi prefabbricati leggeri rispetto ai vantaggi economici e tempistici dei sistemi off-site, lo abbiamo con i 34 progetti di abitazioni autoconstruite nel villaggio Graven Hill⁸¹ (vedi fig.71) localizzato nel sud di Bicester, Uk, realizzati in 7/8 settimane circa: 2-3 giorni per assemblare la struttura e 6-7 settimane per completare tutti gli altri lavori. Inoltre, i sistemi di autoconstruzione uniti ai metodi MMC applicati al progetto di Dan-Wood di James e Gemma Hooker, autoconstruito all'interno della community, hanno permesso la vincita del "Build it Award", uno dei riconoscimenti più ambiti nei settori dell'edilizia abitativa autoconstru-

80. Abdussalam Shibani, Araz Agha, Dya Hassan, Yaseen Al-Hadeethi, Mou Choudhury. (2021). Effectiveness of the Modern Methods of Construction in Terms of Cost and Time: A Case Study of the United Kingdom.

81. Graven Hill. (s.d.). About Graven Hill. Graven Hill. <https://www.gravenhill.co.uk/about-graven-hill/>

ita nel Regno Unito.⁸²

Le testimonianze raccolte mettono in luce l'effettivo valore dell'integrazione dei Modern Methods of Construction (MMC) tra le fasi di costruzione e autoconstruzione. Questa integrazione non solo rappresenta un approccio cruciale per il futuro delle abitazioni, ma sottolinea anche l'importanza della pianificazione accurata dei sistemi costruttivi dedicati all'autoconstruzione, basati sulla progettazione integrata delle fasi, tenendo conto degli impatti ambientali ed economici. Questa metodologia offre una solida struttura che consente di massimizzare i benefici degli MMC, sebbene si riconoscano le sfide connesse a questo approccio innovativo. In tal modo, emergono chiaramente i vantaggi e le potenzialità di un approccio più integrato nel settore edilizio.

82. Graven Hill. (s.d.). Graven Hill Win at the Build It Awards 2022. Graven Hill. <https://www.gravenhill.co.uk/blog/graven-hill-win-at-the-build-it-awards-2022/>

cp. 3 La (auto)costruzione con sistemi leggeri

Per delineare l'attuale scenario dei sistemi prefabbricati leggeri in Europa, è fondamentale comprendere come tali soluzioni possano contribuire agli obiettivi di decarbonizzazione del settore edilizio e alle dinamiche di accesso al mercato dal punto di vista economico e normativo.

L'adozione di questi sistemi, oltre ad offrire vantaggi ecologici derivanti dall'impiego del legno e dalle tecnologie della digital fabrication, si confronta con l'incremento costante dei prezzi delle nuove abitazioni (aumentati del 46% dal 2010 al 2023)¹, limitando la possibilità di acquisto di nuove case. In risposta a queste problematiche, il settore abitativo propone soluzioni innovative con lo scopo di rendere accessibile l'acquisto di abitazioni di qualità a costi contenuti. Questi approcci coinvolgono attivamente gli utenti nel processo di costruzione delle proprie case, consentendo loro di partecipare alla progettazione e alla realizzazione del proprio ambiente; riducendo le spese complessive di costruzione e offrendo soluzioni eco-compatibili che rispettino gli obiettivi sostenibili del Green Deal.

Un esempio di questo approccio è rappresentato dal progetto "De Stripmaker"² del 2021 ad Almere, nei Paesi Bassi. Lo studio Woningbouw Atelier, in collaborazione con WikiHouse, il quale ha introdotto il primo quartiere composto da 28 abitazioni autoprogettate e autocostruite dai residenti del villaggio. Questo è stato possibile grazie all'utilizzo del sistema costruttivo Swift di WikiHouse, producendo un kit specifico per ciascuna soluzione abitativa. Tale iniziativa ha proposto soluzioni sostenibili e performanti, con una

bassa trasmittanza termica (0,15 W/m²K per i blocchi parete)³, integrando tutte le tecnologie produttive e costruttive illustrate nel capitolo 2, contribuendo così alla decarbonizzazione del settore edilizio residenziale e all'accesso di abitazioni a basso costo.

L'attuazione di progetti di tale portata è resa possibile dalla combinazione di tecnologie innovative e politiche che agevolano la costruzione autonoma o assistita di edifici mediante l'impiego di sistemi costruttivi leggeri, come per esempio il caso della Francia, dove è consentito l'autocostruzione di abitazioni leggere, previa ottenimento del permesso di costruire, a condizione che il progetto rispetti tutte le normative tecniche vigenti nel paese.

Sulla base di questi obiettivi, questo capitolo mira a riportare i vantaggi tecnologici ed ecologici derivanti dalla costruzione di abitazioni prefabbricate con componenti leggeri in legno, offrendo una visione d'insieme sulle misure e politiche di tali sistemi da parte paesi europei, che favoriscono la pratica del Self-Build, DIY (Do It Yourself), o autocostruzione completa o assistita.

1. Eurostat. (3 ottobre 2023). House prices and rents increased in Q2 2023. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20231003-1>

2. WikiHouse Netherlands. (n.d.). Destripmaker. Recuperato da <https://wikihousenl.cc/portfolio-item/destripmaker/>

3. WikiHouse. (n.d.). Product. Recuperato da <https://www.wikihouse.cc/product/>

3.1

Decarbonizzazione del settore edile

La necessità di adottare misure per la decarbonizzazione del **settore edile** deriva dalle significative **emissioni di gas serra** associate a quest'area, rappresentanti il **40%** del **consumo energetico** operativo globale legato ai processi produttivi e costruttivi, nonché dal rilevante impatto sulle risorse naturali, con oltre il **30% delle estrazioni**, e dalla considerevole quantità di **rifiuti solidi** generati a livello mondiale, pari al **25%**. Questi dati, destinati a crescere considerando l'**incremento della domanda abitativa**, stimata a raggiungere **9,5 miliardi di persone entro il 2050** secondo le Nazioni Unite, accentuano ulteriormente l'importanza di affrontare la decarbonizzazione nel settore edile⁴.

Per affrontare questa sfida, è essenziale che tutte le parti interessate collaborino per proporre sistemi produttivi e costruttivi in grado di soddisfare la domanda abitativa e contemporaneamente contrastare il cambiamento climatico.

La consapevolezza dell'**urgenza di adottare soluzioni ad impatto positivo** risale al 1995, durante la prima "Conferenza delle Nazioni Unite" COP1⁵, segnando un im-

portante passo avanti nella comprensione globale della sfida climatica. Tuttavia, solo con la COP3⁶ del 1997 è stato varato il primo accordo internazionale, il protocollo di Kyoto, con lo scopo di ridurre le emissioni di CO2 del 5% entro il periodo 2008-2012. Nel 2015, invece, con l'Accordo di Parigi⁷ stipulato durante la COP21, si è fissato un **limite massimo di riscaldamento globale** pari al 2°C, entro il 2050, portato a **1.5°C** con la COP26⁸ a Glasgow nel 2021.

In risposta a tali obiettivi, sono state intraprese azioni **su scala globale**, come l'**Agenda 2030**⁹, istituita nel **2015** con l'obiettivo

PARTIES First session, PROVISIONAL AGENDA AND ANNOTATIONS, INCLUDING SUGGESTIONS FOR THE ORGANIZATION OF WORK. Recuperato da <https://unfccc.int/cop3/resource/docs/cop1/01.htm>

6. Il Protocollo di Kyoto costituisce il primo accordo internazionale che vede l'impegno vincolante da parte degli Stati che vi hanno aderito, volto a perseguire fattivamente il raggiungimento di obiettivi in favore del contenimento del riscaldamento globale del pianeta. Fonte: ESG360. (n.d.). Protocollo di Kyoto: cos'è, come nasce e cosa prevede. Recuperato da <https://www.esg360.it/environmental/protocollo-di-kyoto-cos-e-come-nasce-e-cosa-prevede/>

7. Consilium. (ultima modifica 3 gennaio 2024). Accordo di Parigi sui cambiamenti climatici. Consilium. <https://www.consilium.europa.eu/it/policies/climate-change/paris-agreement/>

8. Consiglio dell'Unione Europea. (n.d.). COP26. Recuperato da <https://www.consilium.europa.eu/it/policies/climate-change/paris-agreement/cop26/>

9. L'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile è un programma d'azione per le persone, il pianeta e la prosperità sottoscritto nel settembre 2015 dai governi dei 193 Paesi membri dell'ONU. Essa ingloba 17 Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile: 1.Sconfiggere la povertà, 2.Sconfiggere la fame, 3.Salute e benessere, 4.Istruzione di qualità, 5.Parità di genere, 6.Acqua pulita e servizi igienico-sanitari, 7.Energia pulita e accessibile, 8.Lavoro dignitoso e crescita economica, 9.Imprese, innovazione e infrastrutture, 10.Ridurre le disuguaglianze, 11.Città e comunità sostenibili, 12.Consumo e produzione responsabili, 13.Lotta contro il cambiamento climatico, 14.Vita sott'acqua, 15.Vita sulla Terra, 16.Pace, giustizia e istituzioni solide,

4. Gianmarco Montalbano. Giovanni Santi. (24 ottobre 2023). Creative Frugality as a Sustainable Circular Pattern in Architecture and Building Construction. <https://www.mdpi.com/2673-4591/53/1/9>

5. La Conferenza delle Parti (COP) della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici tenutasi per la prima volta dal 28 marzo al 7 aprile 1995 a Berlino, Germania, su invito del governo tedesco. Fonte:UNFCCC. (1995). CONFERENCE OF THE

CO₂ emissions by asset type (GtCO₂e)

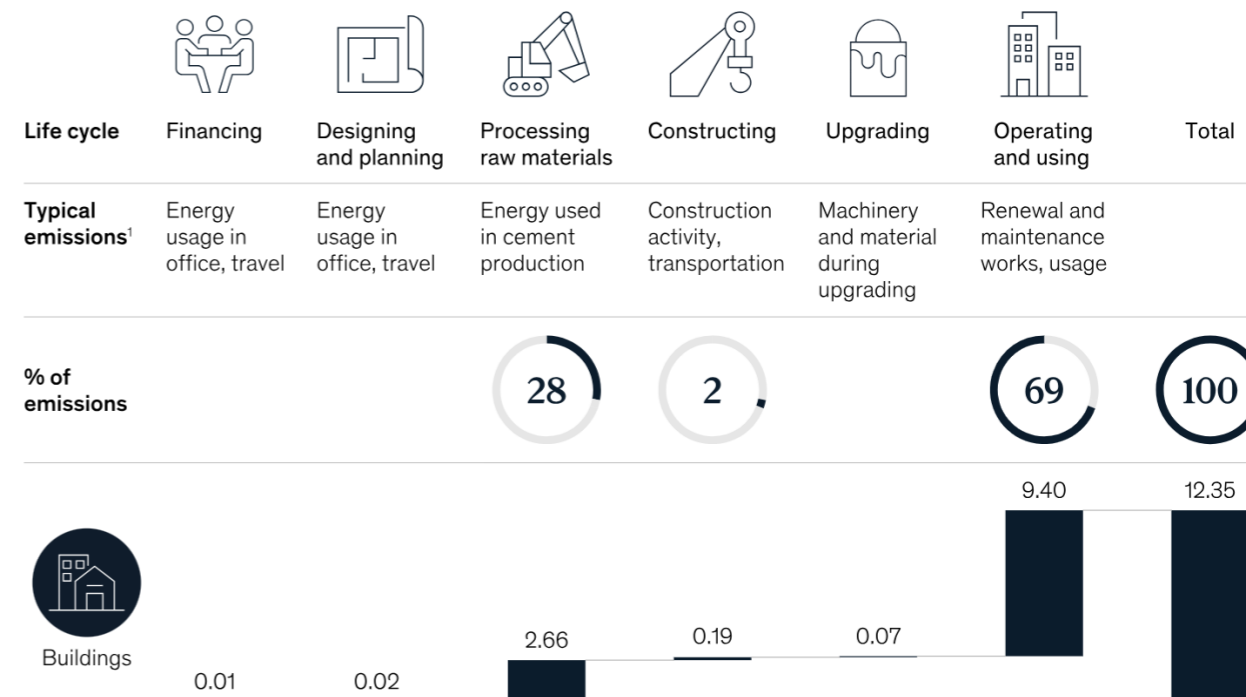


Fig.72. Emissioni delle operazioni e lavorazione nel processo di costruzione di un edificio o di una infrastruttura. Fonte: <https://www.mckinsey.com/industries/engineering-construction-and-building-materials/our-insights/call-for-action-seizing-the-decarbonization-opportunity-in-construction>

di raggiungere obiettivi sostenibili entro il 2030. Tra questi, il punto 13.2¹⁰ che propone di integrare nelle politiche, nelle strategie e nei piani nazionali misure per contrastare i cambiamenti climatici, all'interno del goal 13. Lotta contro il cambiamento climatico. Un'altra iniziativa significativa è il rapporto "**Breakthrough Agenda Report 2022**"¹¹, emerso in risposta alla COP26,

17.Partnership per gli obiettivi. Fonte: Agenzia per la Coesione Territoriale. (n.d.). Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile. Fonte: Agenzia per la Coesione Territoriale. (n.d.). Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile. Recuperato da <https://www.agenziacoesione.gov.it/comunicazione/agenda-2030-per-lo-sviluppo-sostenibile/>

10. Agenzia per la Coesione Territoriale. (2020). Agenda 2030: 17 Goals to Transform Our World [PDF]. Recuperato da <https://www.agenziacoesione.gov.it/wp-content/uploads/2020/04/agenda-2030-card-17-goals.pdf>

11. International Energy Agency. (2022). Breakthrough Agenda Report 2022. Recuperato da <https://www.iea.org/reports/breakthrough-agenda-report-2022>

con l'intento di rafforzare la collaborazione internazionale per la decarbonizzazione dei settori ad alta emissione (trasporti, energia, idrogeno, acciaio, agricoltura), co-guidata da Francia e Marocco, includendo successivamente un nuovo obiettivo denominato "**Buildings Breakthrough**"¹², che mira a raggiungere emissioni prossime allo zero ed edifici resilienti entro il 2030.

A livello europeo, sono state adottate le direttive, ancora in vigore, "**Energy Performance of Buildings Directive 2010/31/EU**"¹³ e "**Energy Efficiency Directive**

12. Global ABC. (n.d.). Fostering Collaboration. Recuperato da <https://globalabc.org/our-work/fostering-collaboration>

13. EUR-Lex. (2010). Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). Recuperato da <https://eur-lex>

2012/27/EU¹⁴, riviste nel 2018, 2019 e 2023. Queste direttive si concentrano sulla prestazione energetica degli edifici, includendo una strategia per ristrutturazioni e nuove costruzioni volte a ridurre le emissioni del settore edile del 60% entro il 2030 rispetto al 2015, con l'obiettivo di raggiungere la neutralità climatica entro il 2050, in modo che l'Europa possa essere il primo continente ad impatto zero. La direttiva, oltre a far forte pressione su politiche volte ad una forte ristrutturazione, richiede che i paesi dell'UE stabiliscano requisiti di prestazione energetica minimi ottimali in termini di costi per i nuovi edifici e che questi debbano essere ad emissioni zero dal 2030.¹⁵

Questi obiettivi sono stati poi sintetizzati e aggiornati nel **Green Deal**¹⁶ del **2020**, un pacchetto di iniziative strategiche che mira a guidare l'UE verso una transizione verde, con l'obiettivo ultimo di raggiungere la neutralità climatica entro il 2050. Questo pacchetto sottolinea la necessità di adottare approcci più sostenibili in tutti i settori, compreso quello edile, al fine di ridurre le emissioni nette di gas serra del 55% entro il 2030 e raggiungere la neutralità climatica entro il 2050. A partire dal 2028, tutti i nuovi edifici dovranno avere emissioni

zero, mentre dal 2033 anche gli edifici esistenti dovranno rispettare almeno la classe energetica D.

Diversi **paesi europei** hanno risposto a questi obiettivi con misure specifiche. Ad esempio, in **Francia** è stata introdotta la **RE2020**¹⁷, che ha sostituito la precedente normativa RT2012¹⁸ e ha introdotto requisiti e standard più rigorosi per gli edifici. Questa normativa si differenzia dalla precedente perché si concentra anche sugli impatti ambientali complessivi degli edifici, includendo l'efficienza energetica, l'utilizzo di energie rinnovabili, l'impronta di carbonio e l'uso di materiali ecocompatibili. **Nel Regno Unito**, invece, è stato istituito il **"Environmental Improvement Plan 2023"**¹⁹, basato sugli obiettivi del vecchio piano 25YEP (25 Year Environment Plan)²⁰. Questo piano stabilisce una serie di obiettivi ambientali, tra cui la riduzione del carbonio incorporato nell'ambiente costruito e il sostegno agli investimenti nella piantumazione di alberi, sottolineando l'importanza del controllo delle foreste e dell'uso controllato del **legno** nelle costruzioni, in modo da sostenere una strategia Net Zero.

Nel documento **"Parere del Comitato economico e sociale europeo sul tema «Edilizia in legno per la riduzione di CO2 nel settore edile»"**²¹ datato 25 maggio 2023, il

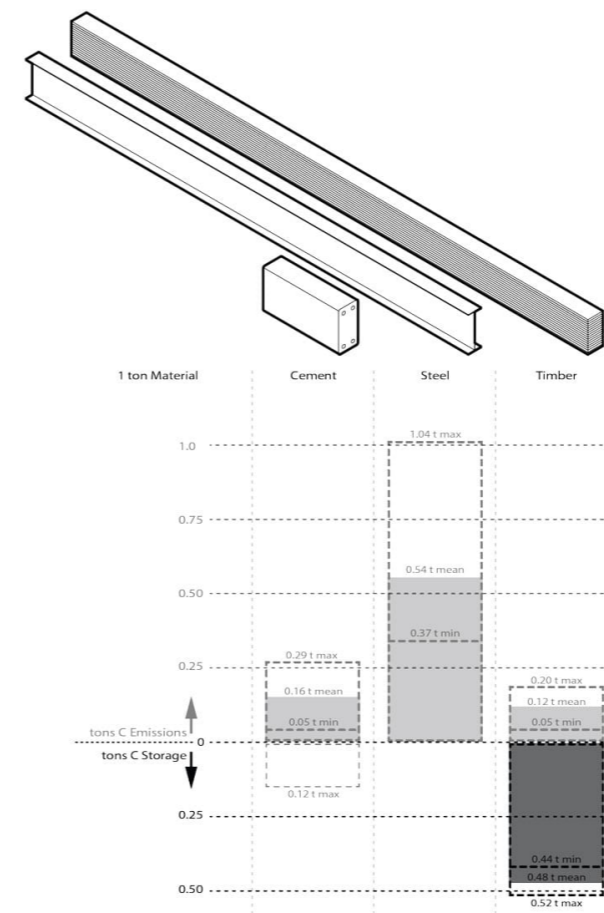


Fig. 73. Confronto delle emissioni emesse e stoccate del cemento armato, acciaio e legno. Fonte: <https://www.thinkwood.com/sustainable-architecture-design>

ai metodi tradizionali, grazie sia all'**energia primaria del legno** nettamente **inferiore ai materiali tradizionali** pari a **1 Mj/t** (4 Mj/t per il cemento armato, 60 Mj/t per l'acciaio, e 250 Mj/t per l'alluminio)²², che dalla **capacità di stoccare CO2 del legno** nel suo corso di crescita, equivalente a **0,765 t per m3 di legno** (misto legno tenero e duro) di peso 417kg dove il contenuto di carbonio equivale al 50% del peso.

L'impiego del legno come materiale per la decarbonizzazione nel settore edile è stato promosso attraverso **vari progetti in diverse nazioni europee**. Ad esempio, il **progetto francese "We wood"** del 2021, condotto dal gruppo industriale "Bouygues Bâtiment France Europe" (Bouygues Bâtiment France Europe, Wewood l'ambition bois), che illustra l'importanza di costruire con il legno e ambisce a raggiungere il 30% di nuove costruzioni in legno entro il 2030. Questo obiettivo è sostenuto da accordi con l'"Fédération Nationale du Bois"²³ e il marchio "Bois de France"²⁴, garantendo la tracciabilità del legno francese e promuovendo l'uso del 30% di legno francese a partire dal 2021, con l'obiettivo di aumentare tale percentuale al 50% entro il 2025. Analogamente, nel **Regno Unito**, secondo il documento governativo **"Timber in Construction Roadmap"**²⁵, che promuove l'uso del legno nelle costruzioni edilizie, l'assemblea dei cittadini del Regno Unito del 2020 ha mostrato un sostegno del 80% all'utiliz-

CESE **sottolinea l'importanza dell'utilizzo del legno** nelle nuove costruzioni per favorire la decarbonizzazione del settore edile, mantenendo coerenza con gli obiettivi europei e globali in modo da contrastare il cambiamento climatico. Il legno da costruzione, secondo il CESE, consente di ridurre fino al 40% delle emissioni di CO2 rispetto

CO2 nel settore edile». Gazzetta ufficiale dell'Unione europea. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022AE6006>

22. Progetto Energia Zero. (n.d.). La Tecnologia. Recuperato da <http://www.progettoenergiazero.com/la-tecnologia/>
 23. FNB (Fédération Nationale du Bois) federazione di operatori forestali. Fonte: <https://www.fnbois.com/>
 24. Marchio nazione di tracciabilità del legno francese. Fonte: <https://bois-de-france.org/>
 25. UK Government. (n.d.). Timber in Construction Roadmap. Recuperato da <https://www.gov.uk/government/publications/timber-in-construction-roadmap/timber-in-construction-roadmap>

europa.eu/legal-content/EN/ALL/?ELX_SESSIONID=FZMjThL-LzfxmmMCQGp2Y1s2d3Tjwtd8Q53pqdkhXZbwqGwl-gY9KN!2064651424?uri=CELEX:32010L0031
 14. EUR-Lex. (2012). Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC Text with EEA relevance. Recuperato da <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1399375464230&uri=CELEX:32012L0027>
 15. Alex Wilson. (marzo 2023). Energy Performance of Buildings Directive. EPRS | European Parliamentary Research Service [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2023/739377/EPRS_ATA\(2023\)739377_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2023/739377/EPRS_ATA(2023)739377_EN.pdf)
 16. Consiglio dell'Unione Europea. (n.d.). Green Deal. Recuperato da <https://www.consilium.europa.eu/it/policies/green-deal/>

17. Ministère de la Transition écologique. (n.d.). Règlementation environnementale (RE2020). Recuperato da <https://www.ecologie.gouv.fr/reglementation-environnementale-re2020>
 18. Ministère de la Transition écologique. (n.d.). Règlementation thermique (RT2012). Recuperato da <https://www.ecologie.gouv.fr/reglementation-thermique-rt2012>
 19. United Kingdom Government. (n.d.). Environmental Improvement Plan. Recuperato da <https://www.gov.uk/government/publications/environmental-improvement-plan>
 20. United Kingdom Government. (n.d.). 25 Year Environment Plan. Retrieved from <https://www.gov.uk/government/publications/25-year-environment-plan>
 21. CELEX. (25 maggio 2023). Parere del Comitato economico e sociale europeo sul tema «Edilizia in legno per la riduzione di

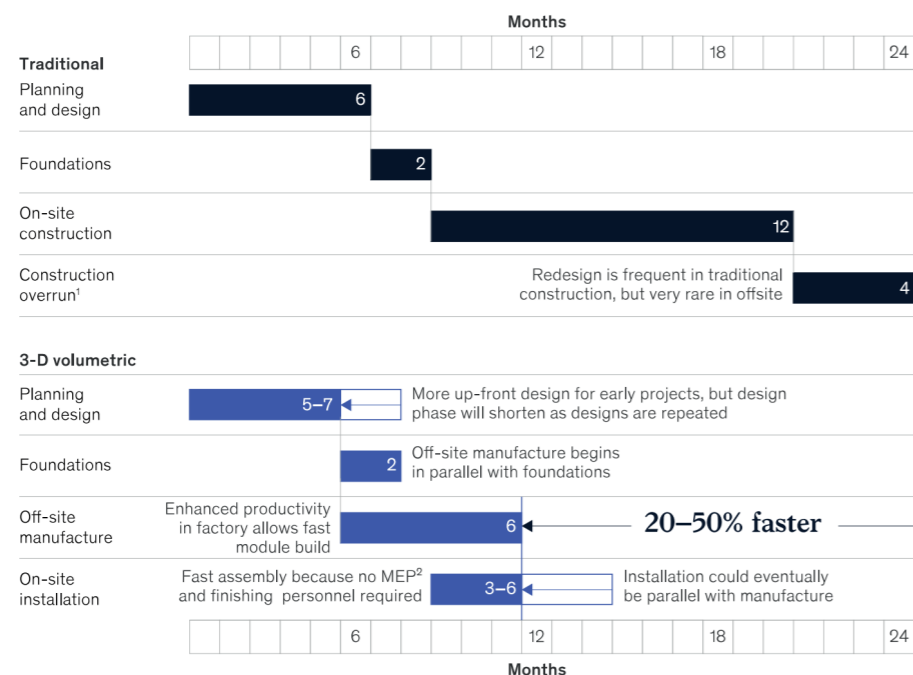


Fig.74. Confronto del tempo di costruzione tra i metodi tradizionali e quelli digitalizzati dei sistemi off-site. Fonte: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/modular-construction-from-projects-to-products>

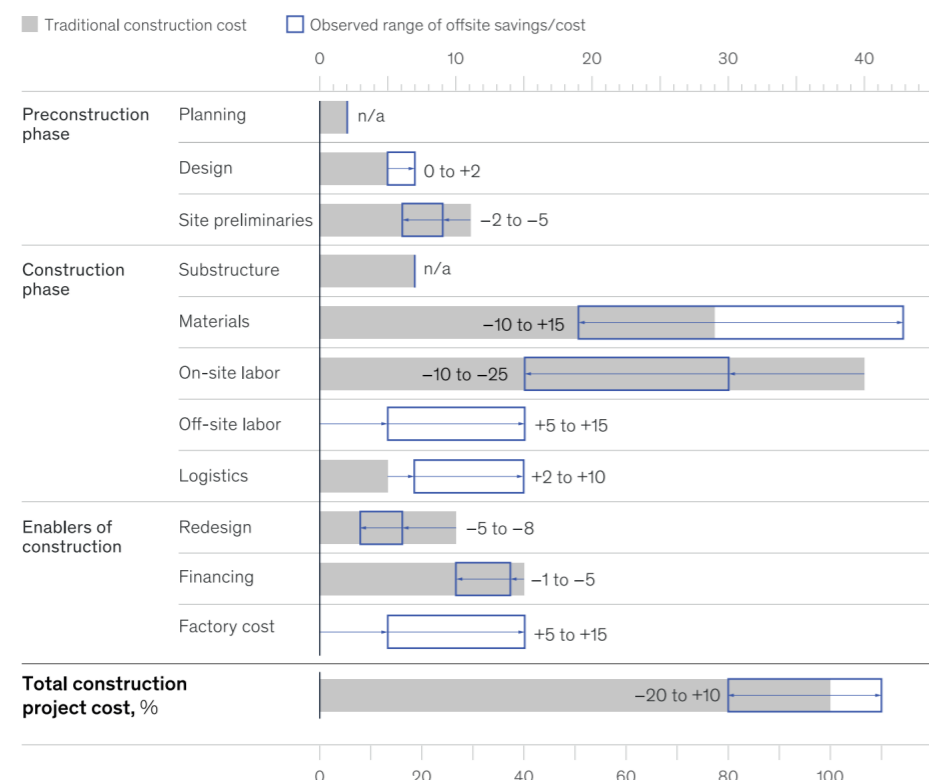


Fig.75. Confronto dei costi di costruzione tra i metodi tradizionali e i metodi off-site. Fonte: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/modular-construction-from-projects-to-products>

zo del legno come strategia per rispettare gli impegni del piano England Trees e della strategia Net Zero del Regno Unito. Il governo britannico, inoltre, supporta anche l'utilizzo dei metodi di costruzione MMC (Modern Methods of Construction) per realizzare case di qualità in modo più rapido e sostenibile, attraverso il piano strategico di **Home England**²⁶, che mira a sostenere la realizzazione di abitazioni economiche e ad alte prestazioni, promuovendo anche l'aumento delle nuove costruzioni abitative autoconstruite tramite finanziamenti a fondo perduto.

All'interno di questo contesto, l'utilizzo di **sistemi prefabbricati** con componenti leggeri in legno assume un ruolo importante, non solo per l'utilizzo di materiali eco-compatibili, ma anche per le **tecnologie adottate**, come la prefabbricazione dei componenti per l'assemblaggio in cantiere dei sistemi produttivi **DfMA**, o per l'utilizzo di sistemi costruttivi innovativi a strutture scatolari in compensato, che richiamano i principi degli **MMC**. Questi approcci convergono verso un'**edilizia off-site** che racchiude nei suoi sistemi diversi vantaggi traducibili in riduzione di emissioni, come, secondo il report "Modular construction: From projects to products"²⁷, la **riduzione delle tempistiche** di progetto possono ridursi **dal 20 al 50%** (vedi fig. 74), o il **risparmio del 20% sui costi** di produzione complessivi (vedi fig. 75).

26. UK Government. (2023). *Homes England strategic plan 2023 to 2028. The Housing and Regeneration Agency. Recuperato da <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/646f58f6ab-40bf000c196a74/Homes-England-strategic-plan-2023-to-2028.pdf>*

27. McKinsey & Company. (18 giugno 2019). *Modular construction: From projects to products. Recuperato da <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/modular-construction-from-projects-to-products>*

Inoltre, la produzione in fabbrica dei componenti consente di garantire **elevati standard qualitativi di fabbricazione, riducendo** in modo significativo **gli scarti** prodotti e l'impatto ambientale legato alla gestione ottimale dei materiali. La prefabbricazione off-site dei componenti permette inoltre un **maggiore controllo sul trasporto e la gestione del cantiere** da parte delle imprese di costruzione o, nel caso di questa tesi, da parte delle persone intenzionate ad autoconstruire la propria abitazione attraverso l'assemblaggio dei componenti in modo autonomo o assistito. In aggiunta, i sistemi, come nei casi studio analizzati, sono orientati anche al **disassemblaggio**, promuovendo così la **circolarità dei materiali** e **riducendo** le estrazioni di materia prima e, di conseguenza, le **emissioni legate all'energia grigia** (energia necessaria per la produzione, stoccaggio e lavorazione dei componenti).

Un **esempio di sistema off-site decarbonizzante** è quello di **Facti Homes**, il quale ottimizza le fasi progettuali nel proprio studio attraverso **software parametrici** che forniscono i **codici CAM** da trasferire alla **macchina CNC** per il taglio dei componenti bidimensionali che andranno a comporre i blocchi scatolari prefabbricati (vedi fig.77), il **tutto direttamente in cantiere grazie al sistema produttivo mobile MPF** (vedi fig.76), in modo da **ottimizzare i tempi e i costi di produzione e trasporto dei materiali**; per poi, assemblarli seguendo delle linee guida precise, permettendo anche la **partecipazione dell'utente nel processo di assemblaggio** della struttura. Un esempio di questo processo può essere esaminato



Fig.76. Sistemi produttivo mobile MPF (Mobile Production Facility). Fonte: <https://www.facit-homes.com/post/starting-on-site>



Fig.77. Assemblaggio dei componenti bidimensionali tagliati a macchina CNC per comporre i blocchi strutturali. Fonte: <https://www.facit-homes.com/post/starting-on-site>

negli articoli "Starting on site"²⁸ e "The Facit Chassis™ in construction"²⁹ accessibili nella sezione Journal³⁰ del sito ufficiale Facit Homes. L'insieme delle tecnologie produttive e costruttive adottate da Facit Homes, permettono la costruzione di abitazioni on un impatto sull'ambiente nettamente ridotto rispetto alle abitazioni costruite con i sistemi tradizionali, come illustrato in figura fig.78.

Oltre ai vantaggi dei processi produttivi e costruttivi, le abitazioni, grazie alle alte prestazioni termiche del legno abbinata ai materiali isolanti, possono massimizzare l'efficienza energetica, grazie alle alte prestazioni termiche dei pacchetti proposti dai sistemi off-site, come nel caso del sistema WikiHouse che presenta prestazioni elevate per i blocchi strutturali pari a **0,15 W/m²K**³¹, o come le abitazioni PopUp House che raggiungono valori prestazionali superiori rispetto alla normativa francese.

Regolamento francese 2012/2022³²

$$U \leq 0.36 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$R > 2.77 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

PopUp House³³

$$U = 0.15 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$R = 6,7 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

28. Facit Homes. (13 gennaio 2022). Starting on Site. Recuperato da <https://www.facit-homes.com/post/starting-on-site>

29. Facit Homes. (22 marzo 2022). The Facit Chassis in Construction. Recuperato da <https://www.facit-homes.com/post/the-facit-chassis-in-construction>

30. Facit Homes. (n.d.). Blog. Recuperato da <https://www.facit-homes.com/blog>

31. WikiHouse. (n.d.). Product. Recuperato da <https://www.wikihouse.cc/product>

32. PopUp House. (n.d.). Quelles sont les performances thermiques d'une PopUp House ? Recuperato da <https://www.popup-house.com/quelles-sont-les-performances-thermiques-dune-popup-house-2/>

33. PopUp House. (n.d.). Quelles sont les performances thermiques d'une PopUp House ? Recuperato da <https://www.popup-house.com/quelles-sont-les-performances-thermiques-dune-popup-house-2/>

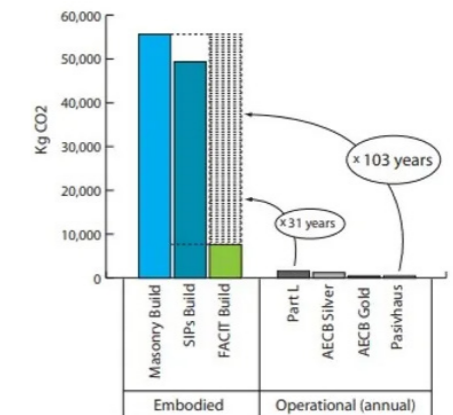


Fig.78. Analisi svolta da Facit Homes nel 2010 sulle emissioni di CO2 incorporate e operative per una casa Facit da 160 mq di due piani. Fonte: <https://www.facit-homes.com/low-carbon-homes>

Queste prestazioni termiche, legate ai vantaggi ambientali del legno, si traducono una **riduzione considerevole del fabbisogno energetico** per il riscaldamento e raffrescamento dell'abitazione, fabbisogno che può essere colmato dall'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili, installando **pannelli solari o sistemi di riscaldamento a biomassa**, il tutto traducibile in risparmio di costi ed emissioni mantenendo comunque abitazioni di qualità.

In conclusione, il legame dei sistemi tecnologici impiegati nella produzione di componenti prefabbricati per sistemi edilizi leggeri, che includono l'utilizzo del legno, pacchetti costruttivi ad alte prestazioni e l'adozione di energia da fonti rinnovabili, conferisce coerenza agli obiettivi globali, europei e nazionali di decarbonizzazione del settore edile.

3.2

Prefabbricazione di sistemi leggeri in legno

Il processo di prefabbricazione costituisce un equilibrio preciso tra le diverse fasi della costruzione abitativa, mirando a massimizzare i benefici di ciascuna fase produttiva e costruttiva. Questo approccio offre numerosi vantaggi, tra cui: costo ridotto complessivo dell'edificio; gestione controllata della materia prima; velocità e precisione di produzione dei componenti garantita dagli strumenti digitali abbinati alla lavorazione del materiale con macchine di taglio a laser o macchine CNC, i quali riducono gli errori, gli sfridi, e contribuiscono all'affidabilità del sistema e a ridurre il tempo di costruzione; possibilità di assemblare i componenti prefabbricati del sistema costruttivo in modo autonomo o assistito, nel caso dei sistemi leggeri pre-progettati; possibilità di disassemblare e riciclare i componenti dell'abitazione, grazie ai sistemi di connessione a secco, in modo da sostenere la circolarità dei materiali. D'altro canto, sebbene la prefabbricazione di sistemi costruttivi abitativi offra diversi vantaggi, ci sono alcune questioni da considerare che, a differenza del caso, possono risultare un vantaggio o uno svantaggio come la scarsa possibilità di variazione in corso d'opera.³⁴

34. Giuseppe Guttà. (a.a. 2021/2022). Ottimizzazione del processo di prefabbricazione di pareti intelaiate in legno attraverso un modulo dimensionale (Tesi di laurea magistrale). Politecnico di Torino. Torino

Inoltre, la prefabbricazione edilizia ha mostrato una stretta affinità con l'utilizzo del legno che, dalle qualità termo-fisiche e decarbonizzanti di questo materiale, permette di proporre sistemi costruttivi eco-compatibili e sostenibili per affrontare le sfide ambientali europee e globali.

L'impiego del legno, utilizzato come materiale da costruzione, costituisce una delle pratiche edilizie più antiche nei sistemi adottati per la costruzione abitativa (5469 a.c. e il 5098 a.c.)³⁵, il concetto però di abitazioni prefabbricate assemblabili arrivò solo nel 1494 con la "casa mutabile"³⁶ ideata da Leonardo da Vinci per il parco della Duchessa Isabella Sforza, il quale proponeva un sistema abitativo composto da travi e pilastri con connessioni complesse. Tuttavia, la concezione di prefabbricazione di abitazioni con componenti leggeri nacque negli Stati Uniti, dove gli immigrati iniziarono ad utilizzare elementi prefabbricati per autocostruirsi le proprie case. Questa pratica si trasformò nel concetto industriale di sistemi abitativi pre-progettati, portando

35. Annarita Zarrillo (novembre 2019). *Modern Environmental Science and Engineering: The History of Wood in Constructions Between Past and Present*. Academic Star Publishing Company. <http://www.academicstar.us/UploadFile/Picture/2020-5/2020512172931750.pdf>

36. Alessia Nociaro (s.d.) *Modularità e Prefabbricazione - Cenni storici ed evoluzione dei sistemi*. Modom. Estratto da <https://www.modom.it/modularita-e-prefabbricazione/>



Fig.79. Sistema costruttivo a telaio delle "Sears Modern Homes". Fonte: https://dahp.wa.gov/sites/default/files/ModernHomessears1936.small_.pdf

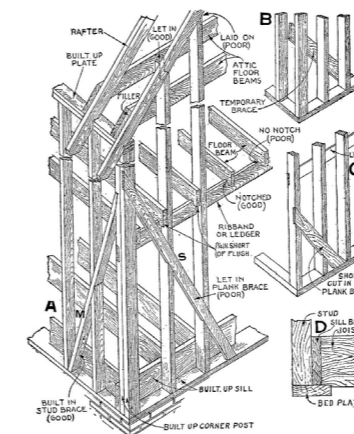


Fig.80. Sistema costruttivo Balloon Frame. Fonte: https://it.wikipedia.org/wiki/File:Balloon_frame.jpg

alla definizione di abitazioni prefabbricate con sistemi a telaio di Herbert Manning in Inghilterra nel 1833; sistemi prefabbricati intelaiati, come per le case "Sears Modern Homes"³⁷ del 1908 (vedi fig.79); sistemi intelaiati con sistemi a Balloon Frame (vedi fig.80) delle "Assembled House"³⁸ del 1916 Frank Lloyd Wright; e sistemi prefabbricati a pannelli portanti della "Gunnison Homes,

37. Sears, Roebuck and Co. (1936). *Modern Homes*, Sears, Roebuck and Co. Chicago - New York" 1936. Fonte: https://dahp.wa.gov/sites/default/files/ModernHomessears1936.small_.pdf/

38. Baumstudio.ch. (2016). *Prefabbricazione: tra storia e nuovi bisogni*. <https://www.baumstudio.ch/wp-content/uploads/2016/06/Prefabbricazione-tra-storia-e-nuovi-bisogni.pdf>

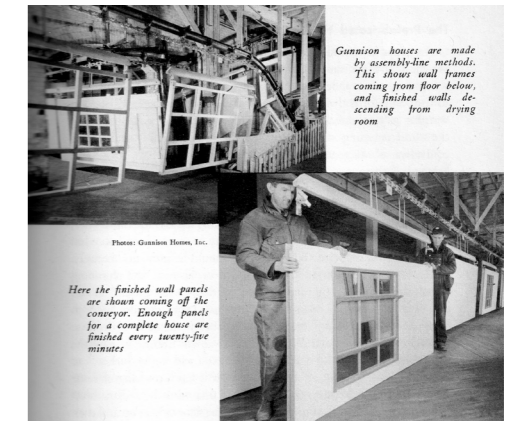


Fig.81. Produzione in serie dei pannelli Gunnison Homes. Fonte: <https://instanthouse.blogspot.com/2012/01/>

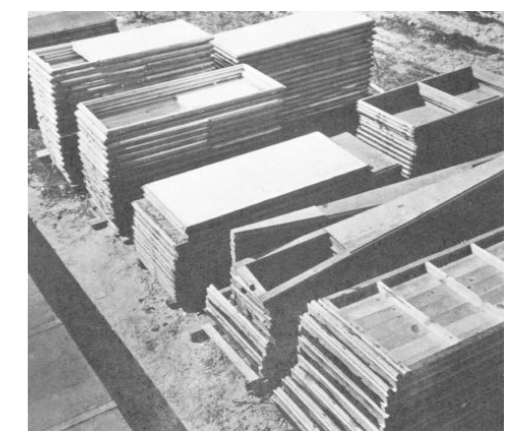


Fig.82. Pannelli intelaiati del "General Panel System". Fonte: <https://mitp-arch.mitpress.mit.edu/pub/5nuy76j6/release/1>

Inc."³⁹ del 1944 (vedi fig.81) e del "General Panel System"⁴⁰ di Konrad Wachsmann e Walter Gropius (vedi fig.82), quest'ultimo però non riuscendo ad entrare in mercato. Nel dopoguerra la pratica di costruire case prefabbricate venne sempre meno per via della sfiducia verso questi sistemi portata dalla bassa qualità delle abitazioni

39. Marisa Gomez Nordyke (2018) *Restyling the Postwar Prefab: The National Homes Corporation's Revolution in Home Merchandising, Buildings & Landscapes: Journal of the Vernacular Architecture Forum*, University of Minnesota Press, Vol. 25, No. 2, 66-94.

40. Seelow, A. (2018) *The Construction Kit and the Assembly Line – Walter Gropius' Concepts for Rationalizing Architecture Arts*, 7(4): 1-29 <http://dx.doi.org/10.3390/arts7040095>

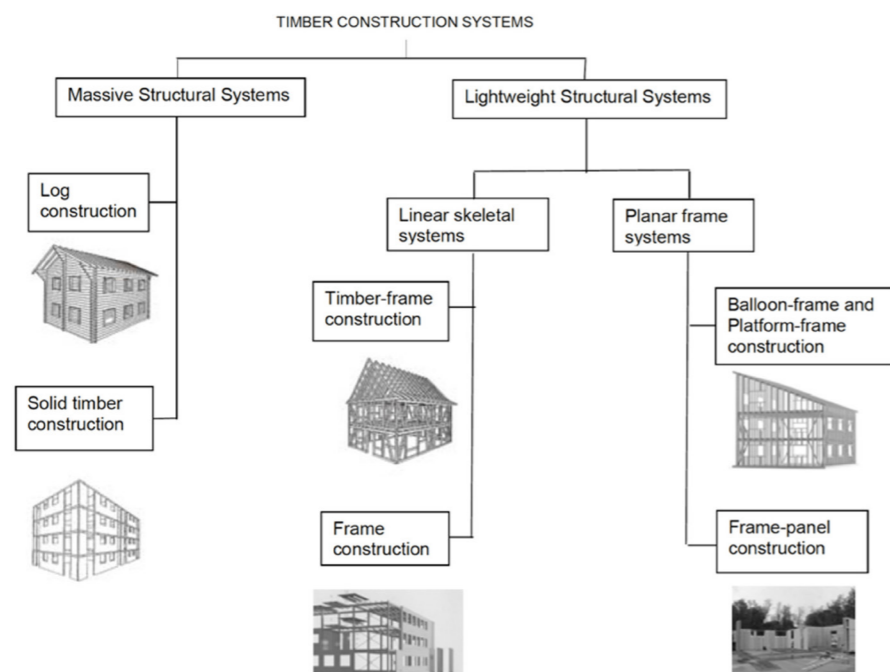


Fig.83. Sistemi costruttivi in legno. Fonte: <https://doi.org/10.3390/buildings13071820>

standardizzate costruite velocemente nel dopo guerra⁴¹. Quindi, i sistemi prefabbricati che permettevano l'assemblaggio di componenti leggeri, sono stati sempre caratterizzati da strutture a telaio o da pannelli intelaiati. Questi tipi di sistemi costruttivi, come illustrato in figura fig.83, estratta da un articolo di ricerca⁴² del 2023 che analizza i sistemi innovativi per le costruzioni in legno, i sistemi considerati leggeri (Lightweight Structural Systems) della contemporaneità, sono gli stessi del XX' secoli, integrando però nuovi materiali ingegnerizzati come il CLT (Cross Laminated

Timber)⁴³, LVL (Laminated veneer lumber (LVL)⁴⁴, OSB (Oriented Strand Board)⁴⁵ e compensato⁴⁶. Dal grafico in figura inoltre possiamo notare come la definizione di "si-

43. Il Cross-laminated timber (CLT) è un prodotto a base legno massiccio costituito da diversi strati di pannelli di legno incollati con un adesivo strutturale ad angoli retti alternati, ideale per elementi di pavimenti, tetti e pareti di grandi dimensioni. Fonte: Stora Enso. (n.d.). Cross Laminated Timber (CLT). <https://www.storaenso.com/en/products/mass-timber-construction/building-products/clt>

44. Il legno lamellare impiallacciato (LVL) è un prodotto in legno massiccio che è due volte più resistente dell'acciaio in proporzione al peso. È costituito da più impiallaccature di legno essiccato classificato in termini di resistenza. Fonte: Stora Enso. (n.d.). Laminated Veneer Lumber (LVL). <https://www.storaenso.com/en/products/mass-timber-construction/building-products/lvl>

45. Oriented Strand Board è un pannello strutturale in legno ingegnerizzato, prodotto con adesivi termoindurenti impermeabili e fili di legno di forma rettangolare disposti in strati orientati a croce. Fonte: APA - The Engineered Wood Association. (n.d.). Oriented Strand Board (OSB). <https://www.apawood.org/osb>

46. Il compensato è un prodotto versatile che unisce un aspetto estetico attraente a prestazioni superiori in condizioni avverse, mantenendo allo stesso tempo rapporti di resistenza-peso relativamente elevati. Viene prodotto con leganti a base di resina che vanno da quelli adatti solo per uso interno a quelli che resistono a livelli elevati di umidità in esposizione esterna. Fonte: Wood Panel Industries Federation, TRADA Technology Ltd, the National Panel Products Division. (2014). Panel Guide Version 4. BM TRADA. https://wpif.org.uk/uploads/PanelGuide/PanelGuide_2014_Annex2D.pdf

41. Annarita Zarrillo (novembre 2019). *Modern Environmental Science and Engineering: The History of Wood in Constructions Between Past and Present*. Academic Star Publishing Company. <http://www.academicstar.us/UploadFile/Picture/2020-5/2020512172931750.pdf>

42. Miroslav Premrov, Vesna Zegarac Leskovar. (18 luglio 2023). *Innovative Structural Systems for Timber Buildings: A Comprehensive Review of Contemporary Solutions*. MDPI <https://doi.org/10.3390/buildings13071820>



Fig.84. Spaccato prospettivo del Facit Chassis di un'abitazione Facit Homes. Fonte: <https://www.facit-homes.com/the-facit-home>

stema leggero" è attribuibile a tutti sistemi costruttivi chiamati LTF (light timber frame), che possono essere strutture con componenti lineari (liner skeletal systems) di grandi dimensione (frame construction) o strutture a telaio (Timber-frame construction); oppure sistemi intelaiati planari (planar frame systems) con strutture più leggere come il Ballom-Frame, strutture intelaiate (Platform frame) o pannelli intelaiati (Frame-panel).

I sistemi dei casi studio analizzati nel capitolo 4 (Facit Homes, Blokiwood, PopUp House e U-Build) possono essere classificati come strutture intelaiate planari a pannelli intelaiati, ma presentano anche delle innovazioni costruttive aggiuntive non trattate in questo articolo. In particolare, Facit Homes, Blokiwood e U-Build adottano strutture leggere con blocchi scattolari portanti che includono un'intercapedine

interna per l'isolamento (vedi fig.84). PopUp House, pur non rientrando in questa categoria, richiama il sistema intelaiato Timber frame, ma offre comunque delle variazioni innovative in termini di semplicità di installazione dei componenti.

Questi sistemi richiamano strutture più comuni composte da pannelli SIP (Structural Insulated Panels) o pannelli sandwich, dove il telaio interno del pannello è sostituito da strati isolanti ad alta densità tamponati ai lati da pannelli in legno lamellare, OSB o compensato. La logica dei sistemi leggeri con componenti scattolari in compensato mira a combinare i sistemi intelaiati Timber-frame, platform-frame e Timber frame-panel, adottando tecniche produttive che consentono di creare blocchi cavi tridimensionali mediante l'accoppiamento di pannelli bidimensionali con profili complessi (vedi fig.85) in OSB o compensato, conte-

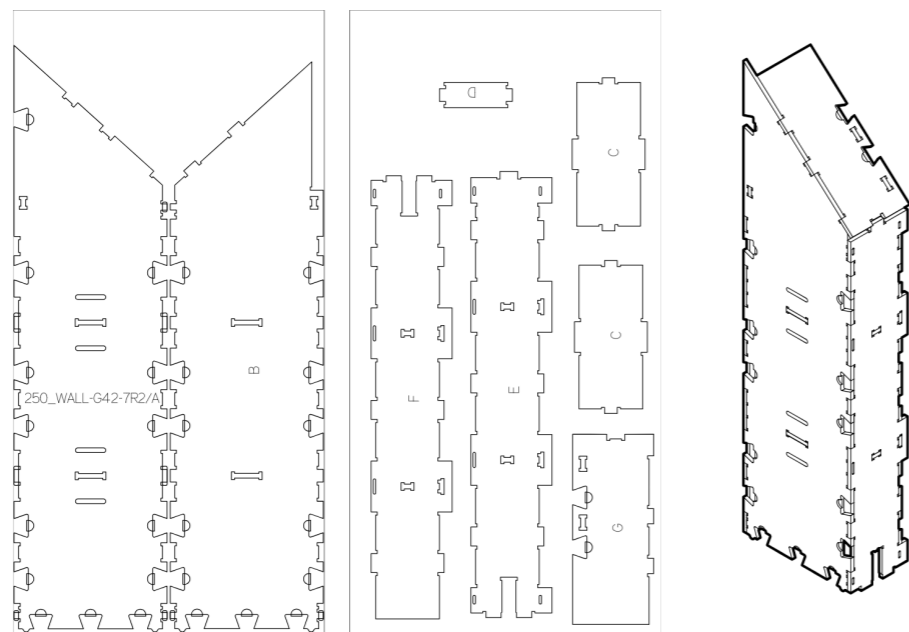


Fig.85. A sinistra i componenti bidimensionali che costituiscono, a destra, il blocco parete tridimensionale "WALL-G42-7R2" del sistema costruttivo Skylark250 di WikiHouse. Fonte: <https://www.wikihouse.cc/skylark-250/wall-g42-7r2>

menti il materiale isolante. Quest'approccio emula i pannelli sandwich, suddividendo la struttura in numerosi piccoli componenti facili da manovrare e assemblare, eliminando la necessità di utilizzare macchinari per il sollevamento.

Considerando che l'obiettivo dei sistemi studiati è quello di convalidare l'innovazione tecnologica nei sistemi costruttivi per la realizzazione di abitazioni monofamiliari, secondo i dati presentati nell'articolo sull'analisi dei sistemi costruttivi, l'impiego di sistemi leggeri consente la costruzione di abitazioni fino a 4 piani, mentre, in base all'analisi condotta nel capitolo 4 di questa tesi sui casi studio esaminati, questo limite è stato ridotto a 3 piani. Nonostante questa limitazione, è comunque possibile realizzare abitazioni monofamiliari, caratterizzate più dalla larghezza in pianta che dall'altezza.

Tuttavia, in Europa il compensato e l'OSB sono poco utilizzati come materiali da costruzione per sistemi portanti, come evidenziato nella tabella in figura fig.86, tratta dall'articolo di ricerca "A market inventory of construction wood for residential building in Europe – in the light of the Green Deal and new circular economy ambitions"⁴⁷, che indaga l'utilizzo dei prodotti lignei nell'edilizia abitativa. La tabella indica che in alcuni paesi europei, tra cui Finlandia, Irlanda, Lituania, Paesi Bassi e Svezia, il compensato è principalmente impiegato per partizioni interne, mentre i prodotti più pesanti e massicci come il CLT, l'LVL e il telaio strutturale vengono utilizzati come mate-

47. R. Sikkema, D. Styles, R. Jonsson, B. Tobin, K.A. Byrne. (22 dicembre 2022). A market inventory of construction wood for residential building in Europe – in the light of the Green Deal and new circular economy ambitions. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104370>

Table 3
Qualitative feedback acquired from the national experts (FI, IE, LT, NL, SE) about material substitution options for houses (see Acknowledgements for the names of the national experts).

Survey: which material substitution options are applicable for housing?	Purpose	Finland (FI)	Ireland (IE)	Lithuania (LT)	Netherlands (NL)	Sweden (SE)
A. OSB or Plywood	Internal walls	Gypsum	Masonry blocks	Gypsum, blocks & bricks (plaster)	Gypsum	Gypsum, MDF blocks
B. CLT, LVL, wooden beams, Brettstapel etc.	Structural elements for housing	Solid wood	Concrete, reinforced steel	Steel, reinforced concrete, lightweight blocks (AAC), clay blocks	Reinforced concrete	Concrete
C. solid wood parts, hardboard or MDF with laminate cover	Flooring	Linoleum, stone, full laminate, carpet	Stone, carpet	Stone, linoleum, full laminate, carpet	Tiles	Plaster, full Laminate, Textile, Linoleum
D. Wooden windows	Window frames	aluminium	PVC	PVC, aluminium	Aluminium, PVC	Aluminium

Fig.86. Feedback qualitativo acquisito dagli esperti nazionali (FI, IE, LT, NL, SE) sulle opzioni di sostituzione dei materiali per le case in legno. Fonte: R. Sikkema, D. Styles, R. Jonsson, B. Tobin, K.A. Byrne. (22 dicembre 2022). A market inventory of construction wood for residential building in Europe – in the light of the Green Deal and new circular economy ambitions. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104370>

riali strutturali. Questi dati evidenziano il netto divario tra l'utilizzo di prodotti legnosi massicci e pesanti rispetto a quelli leggeri in compensato. Tale divario è ulteriormente sottolineato dal report francese "L'enquête nationale de la construction bois 2022"⁴⁸ dove, grafico in figura fig.87, emerge che la maggior parte delle costruzioni in legno in Francia del 2022 adotta sistemi costruttivi a pannelli intelaiati, rappresentando il 60% rispetto al 9% dei pannelli massicci, senza alcuna percentuale riportata per i sistemi costruttivi in compensato o OSB. Questo evidenzia una potenziale opportunità per i sistemi costruttivi a blocchi strutturali di entrare nel mercato delle costruzioni, viste le alte prestazioni termiche e decarbonizzanti, distinguendosi come un nuovo sistema costruttivo e meritevole di ulteriori ricerche e studi.

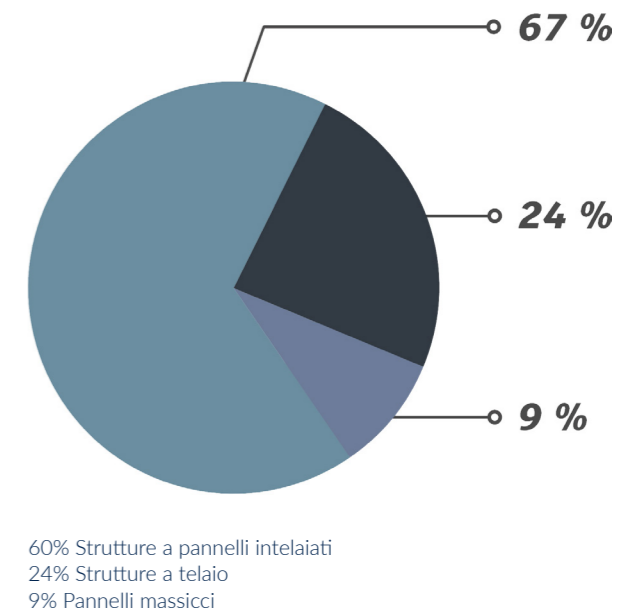


Fig.87. Percentuali dei diversi sistemi costruttivi in legno utilizzati per l'edilizia residenziale in Francia nel 2022. Rielaborazione fonte: L'enquête nationale de la construction bois 2022, Juillet 2023

48. Veia. (luglio 2023). L'enquête nationale de la construction bois 2022, Juillet 2023. Imprimerie du Rimon. https://franceboisforet.fr/wp-content/uploads/2023/07/ENQUETE_CONSTRUCTIONBOIS_8PAGES_ACTIVITE2022.pdf

3.3 Kit abitativi

L'insieme delle tecnologie produttive e costruttive presentate nel capitolo 2 per la produzione di sistemi off-site, i quali, come riportato nel capitolo 3.1, hanno notevoli vantaggi prestazionali e decarbonizzanti, permettono la produzione di sistemi costruttivi prefabbricati caratterizzati dalla produzione in fabbrica dei componenti per poi essere trasportati e assemblati in cantiere generando un insieme di componenti che andranno a comporre il kit abitativo. Tuttavia, un kit abitativo pre-progettato volto all'assemblaggio di componenti in legno in modo autonomo o assistito, è caratterizzato da diversi processi, procedimenti e lavorazioni.

La definizione di un kit abitativo inizia con la **progettazione** del sistema abitativo, che include la personalizzazione del progetto per soddisfare le esigenze e le preferenze dell'utente, consentendo variazioni nelle dimensioni dell'abitazione, nelle finiture interne ed esterne, e negli impianti e accessori, purché siano rispettati i limiti di lavorazione del sistema costruttivo proposto dall'azienda. Facit Homes, ad esempio, fa uso di un sistema di progettazione integrato BIM che consente di realizzare e personalizzare i progetti forniti dall'utente con il proprio sistema.⁴⁹ Analogamente, Blokiwood si adegua al progetto fornito dall'utente,

suddividendolo in elementi semplici e facili da assemblare.⁵⁰ Tuttavia, non tutti i sistemi consentono una progettazione completamente libera dell'abitazione, come per alcuni casi che combinano i diversi componenti finiti di un kit fornito dall'azienda, progettati per la flessibilità e l'integrazione al fine di adattarsi a diverse forme, come nel caso di WikiHouse che offre un'ampia gamma di componenti finiti per la progettazione di un'abitazione (vedi pagine 134-135)⁵¹ Inoltre, le abitazioni possono essere progettate anche per adattarsi a diversi tipi di terreno, consentendo la costruzione su siti di difficile accesso, come nel caso di PopUp House (vedi fig.88) e Blokiwood (vedi fig.90) che permettono la costruzione su fondazioni a pali elicoidali su terreni scoscesi (vedi fig.89). Quindi, sebbene la natura della progettazione possa variare da sistema a sistema, ogni kit abitativo prodotto sarà unico nel suo genere. Un chiaro esempio di questa affermazione sono, le abitazioni realizzate ad Almere per il progetto "De Stripmaker" del 2021 utilizzando il sistema Swift di WikiHouse dimostrando la diversità di ogni abitazione pur utilizzando lo stesso sistema (vedi fig.91).

50. Blokiwood. (n.d.). Architecture et conception sans contrainte. Recuperato da <https://blokiwood.fr/architecture-et-conception-sans-contrainte-2/>

51. WikiHouse. (n.d.). Skylark 250. Recuperato da <https://www.wikihouse.cc/blocks/skylark-250>

49. Facit Technologies. (n.d.). The Facit Chassis. Recuperato da <https://www.facit-technologies.com/the-facit-chassis/>

Capitolo 3.3 - Kit abitativi

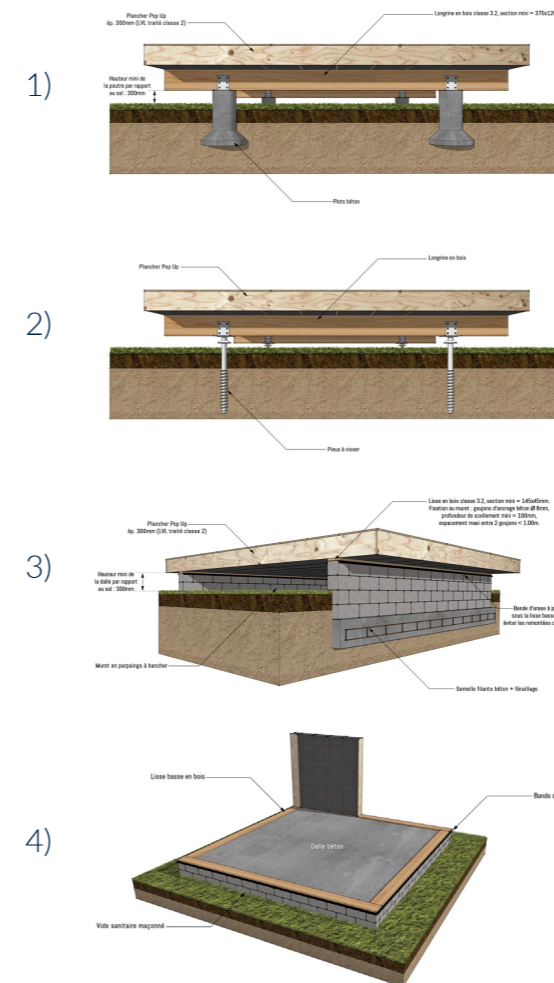


Fig.88. 1) Fondazioni su plinti in cemento armato. 2) Fondazioni su pali elicoidali. 3) Fondazione in cemento con muri di sostegno. 4) Fondazione a platea cementizia per il sistema **PopUp House**. Fonte: <https://www.popup-house.com/en/what-type-of-foundations-can-be-used/>

Dal punto di vista operativo, dopo la realizzazione delle fondamenta, gli elementi del kit vengono inviati in cantiere per essere montati. L'assemblaggio del kit può essere effettuato direttamente dall'utente, dai tecnici dell'azienda fornitrice del sistema, da una combinazione di entrambi o da costruttori subappaltati. Quest'ultima opzione è presente solo nel caso di Blokiwood, che offre un periodo di 3 mesi,⁵² a par-

52. Blokiwood. (n.d.). FAQ - A quel moment consulter Blokiwood?



Fig.89. Fondazione a vite su terreno scosceso. Fonte immagine: <https://www.guidaedilizia.it/product/cusi/pali-avvitati-in-ac-ciao-paalupiste-pro/>



Fig.90. Struttura del solaio di fondazione **Blokiwood** su pali avvitati a terra. Fonte: <https://blokiwood.fr/nos-produits/dalles/>



Fig.91. Abitazioni del progetto "De Stripmaker" costruite con il sistema Swift di WikiHouse. Fonte: <https://www.wikihouse.cc/featured-projects/de-stripmaker>

tire dalla presentazione del permesso di costruire, per permettere all'utente di contattare un'impresa edile. Una volta consegnato il kit, è essenziale posizionare i componenti in un luogo sicuro e asciutto. Facit Homes, per esempio, dispone in cantiere uno spazio chiamato "The Ply Store"⁵³, per conservare in modo adeguato i materiali, costruito nelle vicinanze della MPF (Mobile

Recuperato da <https://blokiwood.fr/faq/>

53. Facit Homes. (n.d.). Starting on Site. Recuperato da <https://www.facit-homes.com/post/starting-on-site>

Product Factory), il container mobile con le macchine CNC al suo interno per la produzione dei componenti.

La fase di assemblaggio, nella maggior parte dei casi, può essere eseguita anche da persone con competenze minime, grazie a sistemi ben progettati e alle **istruzioni di montaggio** fornite insieme al kit. Tuttavia, nei casi in cui i sistemi presentano parti più complesse, come elementi pesanti o forme intricate, è necessaria un'esperienza più approfondita. Questa fase però, risulta relativamente rapida, come nel caso del sistema Blokiwood che permette di assemblare la struttura di una casa monopiano da 90mq in soli 2 giorni lavorativi⁵⁴, coinvolgendo solamente due persone. Analogamente, il sistema PopUp House, completo di finiture esterne ed interne, richiede circa 4 giorni di lavoro⁵⁵, coinvolgendo però un numero più elevato di lavoratori.

Per quanto riguarda il **lato normativo**, un'abitazione realizzata mediante l'utilizzo di un kit abitativo con componenti leggeri, destinato all'assemblaggio autonomo e/o assistito, deve conformarsi alle leggi vigenti del paese in cui avviene l'autocostruzione. Ad esempio, in Francia si fa riferimento alla RE2020, mentre nel Regno Unito alla normativa "Self-build and Custom Housebuilding Act 2015". Questi aspetti normativi saranno approfonditi nel capitolo 3.4.1. Complessivamente, le caratteristiche di un kit abitativo possono variare a seconda del fornitore e del tipo di kit, ma in tutti i casi, condividono le seguenti caratteristiche:

54. Blokiwood. (n.d.). FAQ - Combien de temps est nécessaire pour monter un mur? Recuperato da <https://blokiwood.fr/faq/>
55. Ngenio-web. (8 aprile 2014). Pop-up House: la casa passiva pronta in 4 giorni. Recuperato da <https://www.ingenio-web.it/articoli/pop-up-house-la-casa-passiva-pronta-in-4-giorni/>



Fig.92. "General insulated block" del sistema Gablok. Fonte: <https://gablok.be/en/>

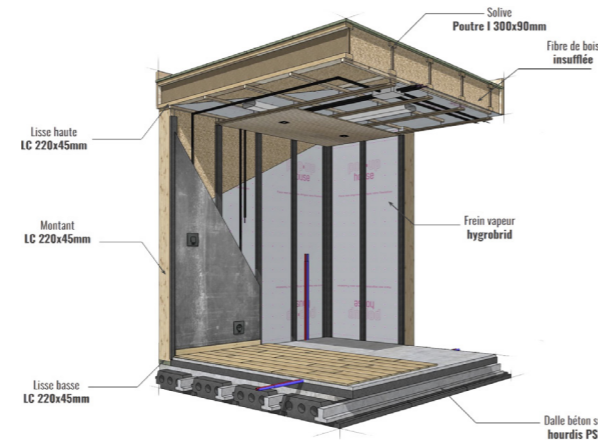


Fig.93. Struttura a telaio del sistema PopUp House. Fonte: PopUp House. (n.d). Éléments OSSATURE. PopUp House. https://www.popup-house.com/wp-content/uploads/2014/03/plaquette_ossature_biosourcee_part.pdf



Fig.94. Pannello sandwich del sistema Greekub. Fonte: <https://www.greekub.fr/studio-de-jardin-en-kit>

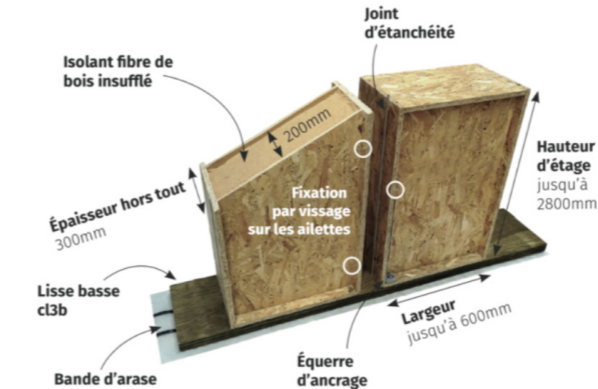


Fig.95. Blocco parete Blokiwood. Fonte: <https://blokiwood.fr/nos-produits/murs/>



Fig.96. Blocco strutturale di forma complessa del sistema Facit Homes. Fonte: <https://www.facit-technologies.com/low-carbon>



Fig.97. Blocco parete WikiHouse. Fonte: <https://www.facit-technologies.com/low-carbon>

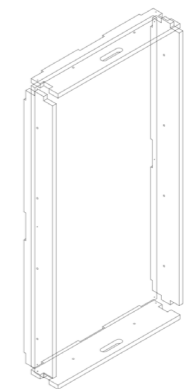


Fig.98. Blocco U-Build. Fonte: <https://www.facit-technologies.com/low-carbon>

1. Prefabbricazione in fabbrica: I vari elementi della casa, tra cui pareti, pavimenti, tetto e finestre, vengono realizzati in fabbrica per poi essere trasportati e assemblati in cantiere.

2. Personalizzazione: Gli acquirenti di case in kit possono essere coinvolti nel progetto per modificare i piani della casa personalizzando gli ambienti dell'abitazione in base alle esigenze e alle preferenze, restituendo in questo modo un kit personalizzato.

3. Facilità di costruzione: Le case in kit sono progettate per essere facilmente as-

semblate. Vengono fornite istruzioni, supervisione del sito e piani dettagliati per aiutare ad assemblare l'abitazione.

4. Risparmio sui costi: il processo di produzione in fabbrica aiuta a ridurre i costi di costruzione perché i materiali vengono acquistati sfusi e gli scarti sono ridotti al minimo. Il processo di costruzione consente inoltre di coinvolgere i clienti nella costruzione per ridurre tempo e lavoro.

5. Sostenibilità: Il mercato offre diversi tipi di kit. I sistemi come quelli dei casi studio analizzati nel capitolo 4 (Facit Homes, WikiHouse, Blokiwood, PopUp-House e

U-Build) si distinguono per l'utilizzo del legno nella produzione dei componenti. Questi kit propongono sistemi ad alte prestazioni termiche, consentendo la riduzione dell'uso di impianti di riscaldamento e raffrescamento, con conseguente riduzione delle emissioni di CO2.

6. Versatilità: i kit di case possono essere progettati per adattarsi a diversi tipi di terreno, consentendo di costruire una casa su siti di difficile accesso. Oltre alla platea in cemento armato, alcuni kit possono essere montati su fondazioni rialzate con sistemi a vite o a plinti, come mostrato prima per i casi PopUp House (vedi fig.78) e Blokiwood (vedi fig.79).

7. Velocità di costruzione: Il processo di costruzione della casa in kit è spesso più veloce della costruzione tradizionale perché i pezzi sono prefabbricati e pronti per essere assemblati in cantiere.

Le abitazioni costruite mediante l'utilizzo di kit abitativi prefabbricati con componenti leggeri possono essere progettate con differenti approcci, ad esempio utilizzando mattoni di legno, come nel caso di Gablok (vedi fig.92) menzionato nel capitolo 2.2.4; strutture a telaio, come nel caso di PopUp House (vedi fig.93) che reinterpreta il concetto tradizionale di telaio, o l'utilizzo di pannelli sandwich, come per il sistema Greenkub (vedi fig.94). Si possono anche adottare blocchi strutturali cavi con un'intercapedine interna vuota per l'applicazione dell'isolante, come nel caso dei blocchi Blokiwood (vedi Fig.95), Facit Homes (vedi Fig.96), WikiHouse (vedi Fig.97) e U-build (vedi Fig.98).

Oltre a questi sistemi, il mercato offre nu-

merosi kit abitativi di diverse tipologie, tra cui kit per case a blocchi modulari che consistono in abitazioni costruite mediante l'accoppiamento dei diversi moduli (terrazzo, cucina, bagno, camera da letto) per creare uno spazio abitativo completo; kit per case container, in cui il kit è composto da diversi container collegabili tra loro per formare l'abitazione completa (vedi fig.99); e kit per la realizzazione di abitazioni con forme circolari come le Yurte e le Geodomi, caratterizzate da una struttura autoportante in legno o materiali tradizionali (vedi fig.100).

La natura di questi ultimi kit ci fa comprendere che un kit abitativo prefabbricato è considerato tale nel momento in cui fornisce componenti con dimensioni variabili, da assemblare in cantiere seguendo guide ben precise sul montaggio.

Come menzionato in precedenza, la tesi si concentra esclusivamente sull'analisi dei sistemi costruttivi per l'assemblaggio autonomo, come nell'autocostruzione o nell'assemblaggio assistito di abitazioni mediante l'utilizzo di kit abitativi a struttura portante lignea, progettati con componenti leggeri assemblabili senza la necessità di macchinari pesanti per il sollevamento (vedi fig.101 e fig.102).



Fig.99. Abitazione prefabbricata a container. Progetto "Goodman Westlink showroom", dello studio Substance". Fonte: <https://www.domusweb.it/architettura/2021/08/23/best-of-container-houses-.html>



Fig.101. Costruzione portali strutturali per abitazione "The Shelter" con il sistema WikiHouse. Fonte: <https://www.wikihouse.cc/featured-projects/the-shelter>



Fig.100. Abitazione prefabbricata Yurte. Fonte: <https://www.domonatur.com/>



Fig.102. Portali strutturali WikiHouse dell'abitazione "The Shelter". Fonte: <https://www.wikihouse.cc/featured-projects/the-shelter>

3.4

L'autocostruzione

L'aumento significativo della domanda abitativa, accoppiato all'incremento dei costi delle nuove costruzioni che hanno registrato un aumento del 46% nel 2023 rispetto al 2010,⁵⁶ quasi raddoppiando i costi, ha reso necessario adottare soluzioni innovative. Queste soluzioni mirano a rendere accessibile l'acquisto di abitazioni a costi contenuti senza compromettere la qualità architettonica e tecnologica, proponendo sistemi che coinvolgono attivamente gli utenti nel processo di costruzione delle proprie case, consentendo loro di partecipare alla progettazione e alla realizzazione del proprio ambiente attraverso la pratica dell'autocostruzione, sia completa che assistita.

L'integrazione dell'abitante o dell'utente nel processo costruttivo non è affatto una pratica nuova, poiché l'autocostruzione è stata adottata in varie circostanze, spesso dovute a problemi economici o normativi, che hanno spinto le persone a costruire la propria abitazione. Questa pratica, sia in forma autonoma che coinvolgendo gruppi di persone, si era diffusa già dal XX secolo, dando origine a reti di sostegno che supportano gli autocostruttori ancora oggi. Ad esempio, la "Confédération nationale d'Auto-construction des Castors" (CNAC)⁵⁷,

fondata nei primi anni del 1900, continua a sostenere l'autocostruzione abitativa. Queste reti hanno contribuito alla realizzazione delle prime abitazioni sociali autocostruite da gruppi di cittadini per rispondere alle esigenze abitative.

Inoltre, vi sono diversi vantaggi associati all'autocostruzione, come evidenziato nel report "Selfbuild as volume housing solution"⁵⁸ della NaSBA (National Self Build Association)⁵⁹ del 2008, di seguito riassunti:

- **Accesso al mercato immobiliare:** L'autocostruzione offre l'opportunità a un numero maggiore di persone di entrare nel mercato immobiliare, specialmente in periodi di difficoltà economica. Consentirebbe a giovani e persone con redditi modesti di costruire una casa propria, come avviene in gran parte dell'Europa continentale.
- **Salvaguardia dei posti di lavoro nel settore edilizio:** L'espansione dell'autocostruzione potrebbe creare fino a 20.000-30.000 nuove case all'anno e preservare circa 50.000 posti di lavoro nel settore edilizio, mitigando così gli effetti della recessione economica.

stors.fr/notre-histoire/

58. NaSBA. (ottobre 2008). NSelf Build as a volume housebuilding solution. Recuperato da https://brightgreenfutures.co.uk/wp-content/uploads/2016/10/NaSBA-Self_Build_report.pdf

59. Attuale NaCSBA (National Custom & Self-Build Association). Fonte: National Custom and Self Build Association (NaCSBA). (n.d.). Recuperato da <https://nacsba.org.uk/>

- **Riduzione dell'impronta di carbonio:** Gli auto-costruttori tendono ad adottare soluzioni ecologiche e a basso impatto ambientale, riducendo le emissioni di gas serra e il trasporto di materiali, contribuendo così alla sostenibilità ambientale.
- **Innovazione nel settore edilizio:** L'autocostruzione stimola l'innovazione nel design e nella conservazione dell'energia, promuovendo soluzioni costruttive moderne e sostenibili.
- **Benefici economici e di rigenerazione:** L'auto-costruzione stimola l'investimento economico e la crescita economica attraverso l'intera catena di approvvigionamento, creando benefici a livello locale e nazionale.
- **Sviluppo delle competenze imprenditoriali:** Costruire una casa richiede competenze di gestione, negoziazione e reclutamento, che sono fondamentali per il successo nell'imprenditorialità. L'auto-costruzione promuove lo sviluppo di queste competenze, rendendo gli auto-costruttori più qualificati e impiegabili.
- **Miglioramento del senso di comunità:** L'auto-costruzione favorisce la coesione sociale e la collaborazione tra vicini, contribuendo alla creazione di comunità solide e consapevoli.
- **Abitazioni su misura:** Le case auto-costruite sono progettate per soddisfare le esigenze specifiche dei proprietari, offrendo soluzioni su misura per lavorare, ospitare familiari anziani o disabili, e fornendo uno spazio abitativo di qualità superiore.
- **Standard di qualità elevati:** Le case auto-costruite sono realizzate con attenzione ai dettagli e alla qualità dei materiali, offrendo un'esperienza abitativa superiore rispetto alle soluzioni costruite dai grandi costruttori.
- **Controllo dei costi e dell'inflazione:** La riduzione dei costi di costruzione grazie all'auto-costruzione contribuisce a mantenere bassi i tassi di inflazione al consumo.

Tuttavia, l'attuale pratica dell'autocostruzione, cui la tesi fa riferimento, non prevede la progettazione e l'autocostruzione libera senza l'utilizzo di sistemi progettati che consentano un'autocostruzione controllata. Il concetto contemporaneo di autocostruzione, noto come "self-Build" o "DIY (Do It Yourself)" nella cultura anglosassone, è vincolato da normative e leggi che regolamentano questa pratica, richiedendo standard di sicurezza e prestazionali e il pieno rispetto delle norme tecniche in vigore. Pertanto, l'autocostruzione delle proprie abitazioni nel territorio europeo può avvenire tramite diversi processi progettuali e costruttivi, come sarà illustrato nel capitolo successivo. Questi processi possono includere l'utilizzo di sistemi progettati preventivamente che prevedono l'autocostruzione autonoma, come nel caso di WikiHouse e U-Build, o assistita, come nel caso di Facit Homes e Blokiwood (PopUp House è l'unico sistema assemblato esclusivamente da tecnici professionisti dell'azienda).

56. Eurostat. (3 ottobre 2023). House prices and rents increased in Q2 2023. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20231003-1>

57. Les Castors. (n.d.). Notre Histoire. Recuperato da <https://les-castors.fr/notre-histoire/>

3.4.1 L'autocostruzione in Europa

L'autocostruzione in Europa è una pratica diffusa con varie percentuali e tipologie. Secondo il report del deputato inglese Richard Bacon intitolato "House. How putting customers in charge can change everything"⁶⁰ del 2021 che esamina l'autocostruzione e la personalizzazione edilizia nel Regno Unito e in Europa, la percentuale complessiva di autocostruzione in Europa si attesta tra il 40% e il 60%. Tuttavia, questa percentuale include tutte le forme di autocostruzione presenti nel territorio europeo senza distinguere le diverse pratiche e tipologie, come quelle che coinvolgono l'utilizzo di sistemi leggeri pre-progettati con componenti lignei. È solo grazie all'articolo "Selfbuild as volume housing solution"⁶¹ della NaSBA del 2008, menzionato nel capitolo precedente, che si possono ottenere dati più specifici sull'autocostruzione tramite l'utilizzo di sistemi progettati basati su kit abitativi. Si riporta che nel Regno Unito meno del 10% delle abitazioni è stato autocostruito, e solo 1/10 di queste autocostruzioni è avvenuta mediante l'utilizzo di kit abitativi, quindi con l'impiego di sistemi pre-progettati come quelli proposti

60. UK Government. (2021). Bacon Review: House How putting customers in charge can change everything. [PDF]. Recuperato da https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1013928/Bacon_Review.pdf
61. NaSBA. (ottobre 2008). NSelf Build as a volume housebuilding solution. Recuperato da https://brightgreenfutures.co.uk/wp-content/uploads/2016/10/NaSBA-Self_Build_report.pdf

dai casi studio analizzati. Tuttavia, riportando dati più recenti, secondo l'articolo "Making the Grand Designs dream more accessible for all"⁶² del 7 marzo 2023 del gruppo ICENI, membri della National Custom and Self-Build Association (NaCSBA), solo il 7% delle abitazioni costruite nel Regno Unito sono autocostruite, con appena 13.000 abitazioni costruite ogni anno. Il più grande sviluppo edilizio personalizzato e autocostruito approvato fino al 2023 nel Regno Unito comprende 1.900 unità e si trova nell'Oxfordshire con il progetto Graven Hill, del quale si è parlato a fine capitolo 2.4 a pagina 69. Inoltre, secondo il rapporto "Self-build and Custom Housebuilding in the UK: An Evidence Review"⁶³ del 2022, tra l'80% e il 97% delle persone affida il progetto della propria casa a un'impresa di costruzione, mentre solo tra il 3% e l'8% autocostruisce effettivamente la propria casa.

Per quanto riguarda la Francia, oltre ai dati riportati nel report del 2021 di Richard Bacon, secondo il quale gli edifici autocostruiti costituiscono circa il 31% del totale e sono realizzati principalmente da piccoli costruttori edili, non sono disponibili informazioni più dettagliate e aggiornate sulla tipologia di autocostruzione. Tuttavia, considerando la presenza di sistemi come PopUp House, Blokiwod, Brikawood, Facibloc, GreenKub e molti altri, insieme ai numerosi progetti

62. Paul Chandler-King. (7 marzo 2023). Making the Grand Designs Dream More Accessible for All. Ice Nine Projects Recuperato da <https://www.iceniprojects.com/making-the-grand-designs-dream-more-accessible-for-all/>

63. Dr. Richmond Ehwi, Dr. Sabina Maslova, Dr. Gemma Burgess. (gennaio 2022). Self-build and Custom, Housebuilding in the UK: An Evidence Review. Cambridge Centre for Housing & Planning Research. <https://thinkhouse.org.uk/site/assets/files/2593/cam0222.pdf>

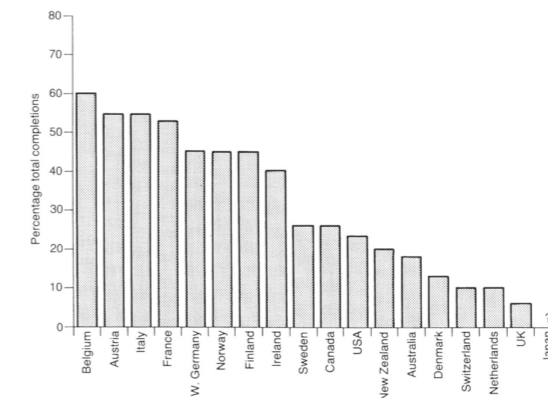


Fig.103. Percentuali medie di autocostruzione di abitazioni nel 1993. Fonte: <https://www.jstor.org/stable/43201336>

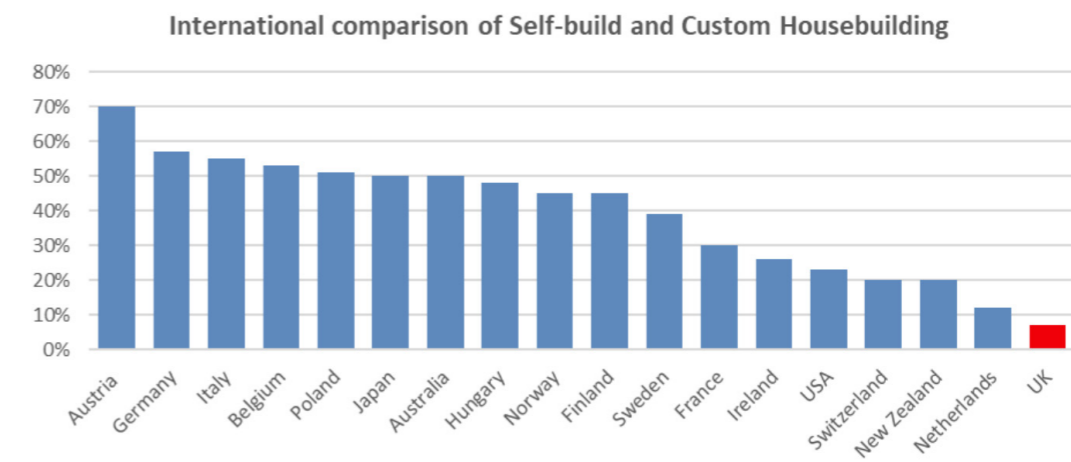


Fig.104. Percentuali medie di autocostruzioni e personalizzazioni di abitazioni nel 2016 ripreso dal report di Richard Bacon nel 2021. Fonte: https://www.dacorum.gov.uk/docs/default-source/strategic-planning/custom-and-self-build-demand-assessment-framework-final-report.pdf?sfvrsn=b0d60c9e_4

realizzati con questi sistemi e alla possibilità di autocostruzione "libera" mediante l'utilizzo di kit, come sarà spiegato in seguito, si ipotizza che una parte significativa del 31% di autocostruzioni avvenga attraverso l'utilizzo di kit abitativi prefabbricati con componenti leggeri in legno.

I dati attualmente disponibili non forniscono una comprensione completa delle quantità effettive di abitazioni autocostruite

ite mediante l'utilizzo di sistemi costruttivi prefabbricati con componenti leggeri. Tuttavia, basandosi sulle informazioni relative alla prefabbricazione di abitazioni in Europa, come delineato nel capitolo 3.2 della tesi intitolato "Prefabbricazione di sistemi leggeri in legno", e concentrandosi specificamente sul contesto francese, si può ipotizzare che una considerevole parte delle abitazioni autocostruite menzionate nel grafico del report di R. Bacon (vedi fig.104)



Fig.105. Timeline delle misure e supporti governativi verso le Custom and Self-Build CSB nel Regno Unito. Fonte: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1013928/Bacon_Review.pdf

faccia ampio uso di sistemi costruttivi leggeri con strutture a telaio in legno. È importante notare che la fonte dei dati del report al quale si fa riferimento, pur datata al 2021, presenta alcune incertezze, in quanto riporta le informazioni fornite dalla NaCSBA nel 2016⁶⁴, che a sua volta, nell'articolo "Self-build homes: social values and the lived experience of housing in practice"⁶⁵ del 2017, afferma che i dati derivano da un grafico del 1993 (vedi fig.103) presentato nell'articolo "Self-provided Housing: The First World's Hidden Housing Arm"⁶⁶.

64. Dacorum Borough Council. (gennaio 2020). Custom and Self-build Demand Assessment Framework Final Report [PDF]. Recuperato da https://www.dacorum.gov.uk/docs/default-source/strategic-planning/custom-and-self-build-demand-assessment-framework-final-report.pdf?sfvrsn=b0d60c9e_4

65. Michaela Benson and Iqbal Hamiduddin. (2017). Self-Build Homes: Self-build homes: social values and the lived experience of housing in practice. UCL Press

66. S. S. Duncan, A. Rowe. (1993). Self-provided Housing: The First World's Hidden Housing Arm. Urban Studies, Vol. 30, No. 8, p.

Questa osservazione evidenzia la necessità urgente che le nazioni europee forniscano dati più aggiornati e accurati sulle quantità effettive di autocostruzioni nel territorio europeo, come nel caso dell'articolo del 2008 della NaSBA per il Regno Unito, che distingue le diverse tipologie autocostruzione messe in atto.

Riguardo al **contesto normativo**, come precedentemente accennato, diverse aziende, come quelle esaminate nei casi studio del capitolo 4, offrono sistemi che favoriscono l'autocostruzione. Tuttavia, per rendere effettiva l'attuazione di questa pratica, è essenziale che le politiche governative consentano il suo reale impiego, come dimostrato nel caso del Regno Unito e della Francia.

1331-1354 (24 pages). <https://www.jstor.org/stable/43201336>

Il Regno Unito, secondo quanto riportato nel rapporto di Bacon, ha implementato una serie di misure governative volte a sostenere le pratiche di autocostruzione e personalizzazione delle abitazioni, note come CSB (Custom and Self Build), sin dal 2011 (vedi Fig.105). Queste misure includono legislazioni, politiche urbanistiche, sostegno finanziario, orientamenti per la disponibilità di terreni destinati all'autocostruzione, supporto tramite una Task Force guidata dall'industria e la promozione della qualità nello sviluppo delle CSB.

Attualmente nel Regno Unito, la legislazione che promuove l'autocostruzione include il "Self-Build & Custom Housebuilding Act 2015"⁶⁷, modificato dal "Housing & Planning Act 2016"⁶⁸. Questa legge impone ai consigli locali di mantenere un registro (Self-Build Register) delle persone interessate a costruire o personalizzare la propria casa e di sviluppare progetti per soddisfare tali esigenze attraverso piani locali e decisioni di pianificazione. Inoltre, richiede ai consigli locali di garantire un numero adeguato di terreni edificabili sia per l'autocostruzione che per l'edilizia personalizzata. Per quanto riguarda le normative urbanistiche, introdotte dopo lo studio condotto dal RIBA (Royal Institute of British Architects)⁶⁹ nel 2011 intitolato "The Case For Space: The size of England's new homes"⁷⁰, tutte le

67. UK Government. (n.d.). Self-build and custom housebuilding. Recuperato da <https://www.gov.uk/guidance/self-build-and-custom-housebuilding>

68. UK Parliament. (n.d.). Housing and Planning Act 2016. Recuperato da <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/2012/3/contents>

69. Il Royal Institute of British Architects è un organismo professionale globale che promuove l'eccellenza nell'architettura, offrendo edifici e luoghi migliori, comunità più forti e un ambiente sostenibile. Fonte: Royal Institute of British Architects (RIBA). (n.d.). About. Recuperato da <https://www.architecture.com/about>

70. Rebecca Roberts-Hughes. (settembre 2011). The Case for Space: the size of England's new homes. Royal Institute of British

abitazioni devono rispettare una superficie minima in base al numero di persone e posti letto presenti. Ad esempio, sono richiesti almeno 37 metri quadrati per i monolocali, 50 metri quadrati per un'abitazione con 2 persone e oltre 100 metri quadrati per abitazioni con 6 persone e 4 camere da letto.

Inoltre, il "Housing Standards Review Consultation"⁷¹ del 2013 stabilisce linee guida, codici locali e standard tecnici abitativi da seguire. Questi includono norme sull'accessibilità, requisiti relativi alle dimensioni dell'abitazione (spazio tra gli arredi e di passaggio, altezze minime di 2,5 metri per almeno il 75% della superficie del pavimento, e metrature minime specifiche in base al numero di posti letto e piani), standard sulla sicurezza domestica, efficienza idrica e prestazioni energetiche.

La Francia invece, a differenza del Regno Unito, non esistono misure specifiche a sostegno dell'autocostruzione. Tuttavia, nel territorio francese è possibile autocostruire purché vengano soddisfatte le direttive della normativa RE 2020⁷², finalizzate a raggiungere diversi obiettivi ambientali. Tra i principali obiettivi⁷³ vi sono: incoraggiare la sobrietà energetica e l'efficienza energetica, ridurre l'impatto del carbonio nel ciclo di vita dei nuovi edifici promuovendo l'uso

Architects. Cantate.

71. Department for Communities and Local Government. (marzo 2014). Housing Standards Review. ISBN: 978-1-4098-4178-4. https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a7c7e5fe5274a559005a400/140225_final_hsr_summary_of_responses.pdf

72. Ministère de la Transition écologique. (n.d.). Règlements environnementale (RE2020). Recuperato da <https://www.ecologie.gouv.fr/reglementation-environnementale-re2020>

73. Cegibat (GRDF). (28 settembre 2023). RE2020 : Grands Principes. Recuperato da <https://cegibat.grdf.fr/reglementation-energetique/re-2020-grands-principes>

di energie rinnovabili e materiali biologici, e garantire la freschezza degli edifici durante i periodi di caldo intenso.

Inoltre, ogni progetto deve rispettare le norme urbanistiche del comune di riferimento per ottenere "l'Autorisation d'Urbanisme"⁷⁴, necessaria per la costruzione o la dichiarazione preventiva dei lavori. Il permesso di costruire è richiesto per le abitazioni oltre i 20 mq, e se il progetto non supera i 150 mq, non è obbligatoria la redazione del progetto da parte di un professionista.

Secondo le normative l'art.R111-2 del Code de la Construction et de l'Habitation (abrogato)⁷⁵ e art. R156-1 (Decreto n.2021-872 du 30/06/2021)⁷⁶ "La superficie e il volume abitabili di un'abitazione devono essere di almeno 14 metri quadrati e 33 metri cubi per abitante previsti al momento della definizione del programma di costruzione per i primi quattro abitanti e di almeno 10 metri quadrati e 23 metri cubi per ogni ulteriore abitante dopo il quarto." Le costruzioni edili in aggiunta, possono fare riferimento alle Document Technique Unifié (DTU)⁷⁷, ovvero norme tecniche non

obbligatorie ma necessarie per sottoscrivere il progetto ad un servizio assicurativo, poiché forniscono una base assicurativa in caso di danni.

Sebbene l'autocostruzione sia praticata presente in vari paesi europei e vi siano misure e politiche a sostegno di questa pratica, come nel Regno Unito e in Francia, **la percezione** delle opportunità offerte dall'autocostruzione e le sue reali applicazioni sono variegate.

Secondo un articolo di Euronews del 13 aprile 2023 intitolato "Des Européens font le choix de l'autoconstruction pour réaliser leur rêve de devenir propriétaire"⁷⁸, in Francia il profilo degli autocostruttori è cambiato dopo la pandemia da COVID-19, con sempre più europei che cercano alternative per diventare proprietari di casa. Nonostante le sfide nell'accesso alla proprietà, come il rifiuto del 45% delle richieste di mutui immobiliari nel marzo 2023 a causa dell'aumento dei tassi d'interesse, molti sono disposti a intraprendere questa sfida.

Nel Regno Unito, l'urbanista David Rudlin, professore presso la Manchester School of Architecture⁷⁹, nel suo articolo "Building your own home is normal in most of

⁷⁴ Tecnici Unificati (DTU) classificati secondo 37 ambiti di utilizzo. Dal 1993 le DTU sono state progressivamente trasformate in norme. Il loro inadempimento è considerato dalle compagnie di assicurazione motivo sufficiente per invocare le clausole di esclusione della garanzia delle polizze individuali di base. Fonte: Placo. (n.d.). Qu'est-ce qu'un DTU ? Recuperato da <https://www.placo.fr/quest-ce-quun-dtu>

⁷⁵ Euronews. (13 aprile 2023). Des Européens font le choix de l'autoconstruction pour réaliser leur rêve de devenir propriétaire. Recuperato da <https://fr.euronews.com/2023/04/13/witness-construire-sa-maison-autrement>

⁷⁶ Rudlin, D. (n.d.). Profilo di David Rudlin. Recuperato da <https://www.msa.ac.uk/staff/drudlin/>

Europe – and they don't even need Kevin McCloud"⁸⁰, pubblicato su BuildingDesign il 1 settembre 2021, sottolinea l'effettivo interesse del territorio britannico nell'appoggiare l'autocostruzione o la personalizzazione delle abitazioni, anche se manca un riscontro effettivo sulla quantità di case costruite in questo modo, riportando le seguenti parole, tradotte dal francese all'italiano:

"La domanda è se le raccomandazioni di Bacon possano davvero determinare la portata del cambiamento auspicato. Dopotutto, sono passati 10 anni da quando la strategia abitativa del governo si proponeva di fare qualcosa di simile (entro un decennio). Da allora abbiamo avuto il "Diritto di costruire", modifiche alla politica di pianificazione e tassazione con il Custom Build Homes Fund e il Self-build and Custom Housebuilding Act. Ogni anno all'inizio di quest'anno c'è stata qualche iniziativa governativa tra cui il "Piano d'azione di auto-costruzione e costruzione personalizzata". Eppure il numero di case sviluppate autonomamente nel Regno Unito è aumentato solo marginalmente. Bacon lo riconosce e concentra le sue raccomandazioni sull'offerta di terreni, assegnando a Homes England un ruolo importante nel ruolo di principale costruttore che propone lotti serviti, fornendo sostegno finanziario e prestiti."

In conclusione, nonostante l'ampia diffusione dell'autocostruzione in Europa,

⁷⁷ I Documenti Tecnici Unificati (DTU) sono documenti nazionali che riguardano l'esecuzione dei lavori cosiddetti "tradizionali" di opere di riferimento per i soggetti interessati alla costruzione titolari di progetti, project manager, aziende e artigiani, uffici di controllo, e altri. Creati nel 1958, esistono ad oggi più di 100 Documenti

in particolare in Francia, le informazioni attuali non consentono una valutazione precisa delle autocostruzioni con sistemi leggeri. Tuttavia, sia la Francia che il Regno Unito dimostrano un impegno a sostenere questa pratica attraverso normative e incentivi. Nonostante ciò, il numero effettivo di autocostruzioni non soddisfa ancora le aspettative, soprattutto nel caso del Regno Unito.

cp. 4 **Casi studio di sistemi leggeri**

Casi studio:

1. Facit Homes, Regno Unito 2007
2. WikiHouse, Regno Unito 2011
3. Blokiwood, Francia, 2012
4. PopUp House, Francia, 2014
5. U-Build, Regno Unito, 2015

I casi studio oggetto di analisi rientrano in una specifica categoria di sistemi costruttivi progettati per la costruzione semplificata di abitazioni mediante l'utilizzo di sistemi costruttivi prefabbricati leggeri off-site che permettono l'integrazione dell'utente nei processi di costruzione. Questi sistemi si contraddistinguono per l'impiego di materiali a base legno e l'utilizzo di componenti prefabbricati e modulari, appositamente progettati per essere assemblati manualmente o con il supporto di macchinari leggeri, seguendo un ordine preciso stabilito dal sistema.

I casi studio costituiscono una fase di perfezionamento e modernizzazione dei metodi costruttivi MMC, focalizzati principalmente sulle categorie 2 (pannelli intelaiati chiusi o aperti) e 3 (pannelli, pilastri e travi in legno ingegnerizzato di grandi dimensioni), e sui metodi produttivi DfMA (design for manufacture & assembly) e DfD-Ma (design for distributed manufacture & assembly), contribuendo in questo modo alla produzione e costruzione di sistemi costruttivi per abitazioni decarbonizzanti, altamente performanti e a basso costo.

L'analisi di questi casi studio si concentra sulle soluzioni innovative introdotte nei rispettivi sistemi, contribuendo significativamente all'evoluzione tecnologica dei sistemi costruttivi prefabbricati leggeri fuori sede. I casi studio vengono esaminati analizzando l'approccio all'innovazione tecnologica adottato, i servizi proposti, gli impatti ambientali del sistema, i sistemi costruttivi, i materiali utilizzati, i sistemi produttivi e le fasi o l'approccio alla progettazione e costruzione, in modo da comprendere le peculiarità di ogni sistema costruttivo.

fig. 106



4.1. Facit Homes

Anno

2007

Luogo

Londra, Regno Unito

Fondatore

Bruce Bell

Brevetto

No

Tipologia del sistema costruttivo

Personalizzabile con blocchi scatolari cavi in legno con travi e pilastri in acciaio all'occorrenza

Materiali/Componenti

- . Blocchi in compensato di abete rosso
- . Travi I-Joist in legno lamellare e OSB
- . Travi in legno lamellare
- . Travi e pilastri in acciaio

Processo produttivo

Taglio a macchina CNC con 0,2mm di tolleranza

Tipologia di connessione

Ad incastro tramite componenti con forma a U

Realizzazione e diffusione commerciale

Regno Unito e Danimarca



Riferimento immagine pagina a sinistra:

Fig.106. Assemblaggio struttura portante del sistema Facit Homes dell'abitazione "Woodlands". Fonte: <https://www.facit-homes.com/post/the-facit-chassis-in-construction> Udesid atis, publi dem

Mappa:

Fig.107. Mappa diffusione sistema Facit Homes. Rielaborazione propria con l'inserimento delle fonti Facit Homes: <https://www.facit-homes.com/projects> e della fonte dello studio EEN TIL EEN: <http://eentileen.dk/forside>

Descrizione

Facit Homes, fondata nel 2007 da Bruce Bell, è un'azienda specializzata nell'edilizia residenziale, che si concentra sulla consulenza e sulla fornitura di soluzioni pratiche, con l'obiettivo di rivoluzionare il modo in cui vengono progettate e costruite le abitazioni, creando case di alta qualità su misura per le esigenze specifiche di ogni cliente.

L'azienda nasce dalla visione di Bell di innovare il settore edile attraverso l'integrazione di processi digitali, sfruttando il suo background in progettazione di prodotti e modellazione 3D. Introduce in questo modo le Facit Technologies, processi digitali computerizzati che consentono un maggiore controllo su ogni fase progettuale, produttiva e costruttiva di un edificio, distinguendosi nel settore edile e fungendo da punto di riferimento nella costruzione semplificata di abitazioni a kit di componenti prefabbricati leggeri in compensato, rimanendo all'avanguardia rispetto ai concorrenti.

Tale innovazione è stata premiata nel 2018 con il prestigioso Queen's Award for Enterprise: Innovation, un riconoscimento per l'approccio rivoluzionario "eccezionalmente efficiente e rispettoso dell'ambiente"¹ di Facit Homes.

Il processo di progettazione e costruzione di Facit Homes ha inizio con la creazione di un dettagliato modello 3D in un ambiente CAD. Le parti progettate vengono quindi tagliate utilizzando una fresatrice a controllo numerico CNC, assemblate con precisione millimetrica in blocchi scatolari e successivamente assemblate in cantiere

1. Facit Homes. (n.d.). About. Recuperato da <https://www.facit-homes.com/about>

come pezzi di un puzzle. Nonostante l'adozione delle tecnologie digitali per la produzione, il team di Facit Homes mantiene un approccio artigianale, coinvolgendo esperti falegnami per il lavoro manuale e permettendo la partecipazione assistita dei clienti.²

Approccio

Facit Homes si distingue per un approccio progressivo alla costruzione abitativa, incentrato sulla libertà di progettazione e sostenuto da elevati standard di qualità, sostenibilità e valore. Attraverso l'innovazione digitale e anni di ricerca e sviluppo in sistemi pionieristici, l'azienda ha consolidato l'integrazione verticale nel settore edile, garantendo la realizzazione di abitazioni moderne e a basso consumo energetico, personalizzate per soddisfare le esigenze specifiche dei clienti. Il sistema digitale adottato da Facit Homes (vedi fig.109) si distingue per la precisione nella produzione, grazie al suo processo di progettazione e produzione chiamato D-process. Questo metodo, basato su progettazione parametrica e software BIM, assicura modelli accurati e aggiornati di ogni edificio, garantendo efficienza e precisione nella produzione e costruzione. Le abitazioni vengono assemblate in cantiere, "just in time"³, attraverso

2. Facit Technologies. (n.d.). About Us. Recuperato da <https://www.facit-technologies.com/about>

3. Just-in-time è una strategia di gestione dei materiali che allinea il programma di costruzione con il programma di trasporto per garantire che i lavoratori ricevano i materiali solo quando sono necessari (o all'ultimo momento), riducendo gli sprechi nel processo. Fonte: Lean Construction Institute. (n.d.). Just-in-Time. Recuperato da <https://leanconstruction.org/lean-topics/just-in-time/#:~:text=Just%2Din%2Dtime%20is%20a,reducing%20waste%20in%20>



Fig.108. Vantaggi dell'utilizzo del sistema BIM (Building Information Modeling). Fonte: <https://blog.archicad.it/bim/bim-che-cosa-chi-lo-usa>

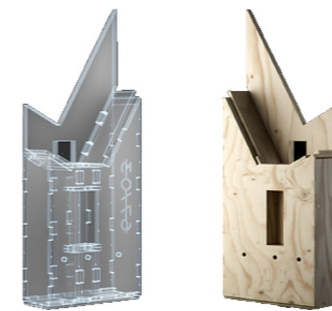


Fig.109. Componente strutturale. Dal digitale alla realizzazione. Fonte: <https://www.facit-technologies.com/the-facit-chassis>



Fig.110. Mobile Production Facility (MPF) del sistema D-Process Facit Homes. Fonte: <https://www.facit-technologies.com/mobile-production>

una solida esperienza nell'approccio produttivo DFMA, semplificando l'architettura e la gestione della costruzione.

La fase produttiva avviene in loco attraverso una fabbrica portatile chiamata Mobile Production Facility (MPF) (vedi fig.110), riducendo lo spazio di stoccaggio richiesto, semplificando la gestione dell'inventario e accelerando i tempi di consegna dei prodotti. Inoltre, Facit Homes si impegna a guidare il settore edile verso la decarbonizzazione, con un focus sull'alta efficienza energetica e l'utilizzo responsabile di legname proveniente da fonti sostenibili.⁴

Impatti ambientali del sistema

Facit Homes si impegna a promuovere impatti ambientali positivi attraverso soluzioni abitative a basse emissioni di carbonio, utilizzando materiali sostenibili come il legno FSC il quale offre alte prestazioni termiche rendendo la struttura Facit Chassis del sistema Facit Homes come un pozzo di carbonio, contribuendo alla riduzione dell'impronta di carbonio dell'edificio. Inoltre, Facit Homes installa impianti tecnologici che sfruttano energie rinnovabile come pannelli solari e pompe di calore, offrendo vantaggi ambientali significativi e contribuendo a un futuro sostenibile.

Le ricerche condotte nel 2010 hanno dimostrato che l'approccio Facit Homes, anche rispetto a soluzioni costruttive Passivhaus che adottano materiali tradizionali, offre un notevole vantaggio in termini di compensazione dell'energia aggiuntiva in-

the%20proce

4. Facit Homes. (n.d.). The Facit Homes. Recuperato da <https://www.facit-homes.com/the-facit-home>

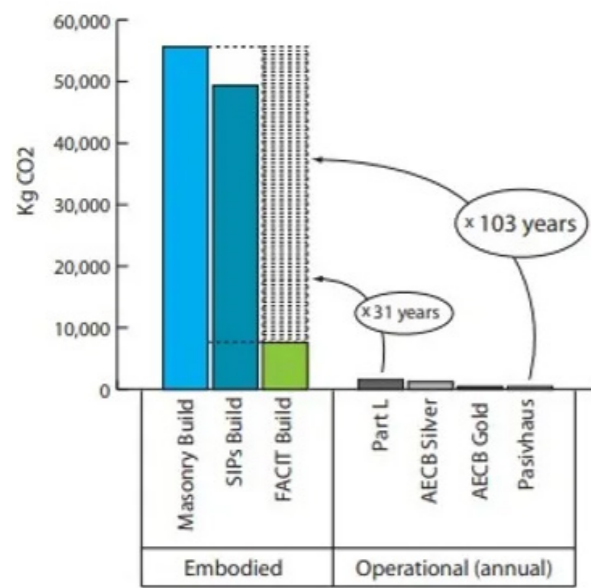


Fig.111. Analisi svolta da Facit Homes nel 2010 sulle emissioni di CO2 incorporate e operative per una casa su due piani di 160 m2. Fonte: <https://www.facit-homes.com/low-carbon-homes>



Fig.112. Progetto "Flower House" sviluppato da Facit Homes. Fonte: <https://www.facit-homes.com/flower-house>

corporata necessaria per la costruzione tradotte in emissioni (vedi fig.111). Questa analisi sottolinea l'impegno dell'azienda verso soluzioni abitative a basso impatto ambientale che possano decarbonizzare il settore edile.⁵

Servizi

Facit Homes offre una gamma completa di servizi che coprono ogni fase, dalla pianificazione alla costruzione, proponendo due approcci distinti⁶ per la realizzazione delle abitazioni:

- 1. Progettazione personalizzata e costruzione chiavi in mano "Turnkey":** Soluzione end-to-end che offre un servizio chiavi in mano dalla fase di fondazione alle finiture interne.
- 2. Autofinitura Assistita "Assisted self finish":** Soluzione che comprende la progettazione e costruzione delle fondazioni, della struttura portante e dell'assemblaggio dei sistemi impiantistici, consentendo ai clienti di completare le finiture interne, fornendo assistenza e supporto professionale.

L'analisi dei progetti disponibili sul sito ufficiale di Facit Homes evidenzia la flessibilità delle soluzioni proposte, che possono essere adattate a dimensioni contenute a monopiano o sviluppate fino a 3 piani come nel caso del progetto "London House" (vedi fig.112).

5. Facit Homes. (n.d.). Low Carbon Homes. Recuperato da <https://www.facit-homes.com/low-carbon-homes>

6. Facit Homes. (n.d.). Price. Recuperato da <https://www.facit-homes.com/price>

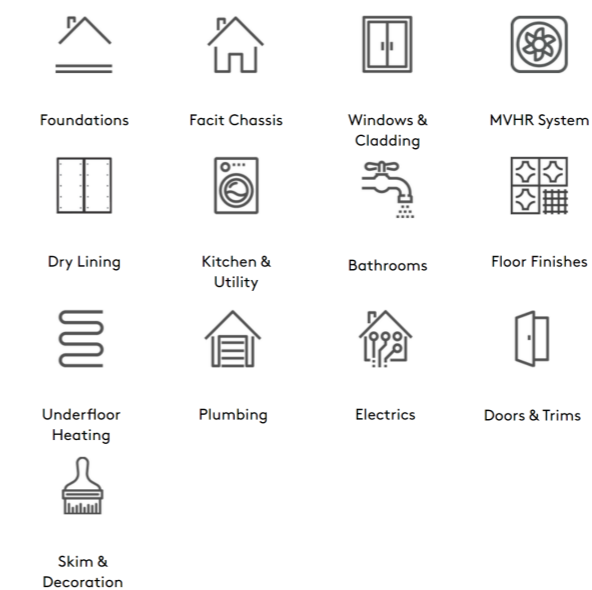


Fig.113. Servizi e sistemi proposti da Facit Homes per la soluzione abitativa "Turnkey". Fonte: <https://www.facit-homes.com/price>

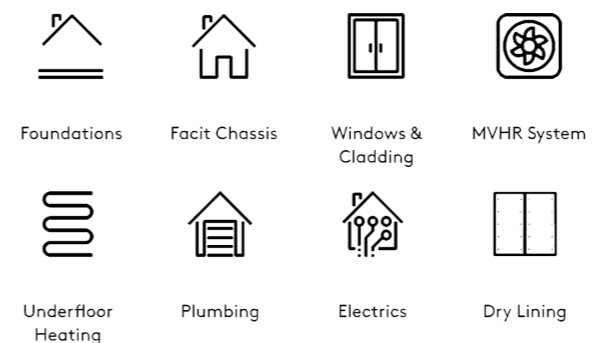


Fig.114. Servizi e sistemi proposti da Facit Homes per la soluzione abitativa "Assisted self finish". Fonte: <https://www.facit-homes.com/price>

Costi

Il costo totale di una Facit Homes comprende principalmente i costi di costruzione e le commissioni architettoniche, calcolati in base alla superficie interna lorda su tutti i piani. Le commissioni architettoniche, che vanno dal 12% al 17% del costo totale di costruzione, coprono una vasta gamma di servizi di progettazione. Altri costi esterni, come i collegamenti di drenaggio/servizi e i requisiti di legge, sono specifici del progetto. Il prezzo di una casa Facit varia in base alla soluzione abitativa scelta e alle dimensioni dell'abitazione:⁷

- **Costo soluzione chiavi in Mano:** £3,200 al mq (3.757,54 €). Include: Fondazioni, Struttura portante, Finestre e Rivestimento, Sistema MVHR, Riscaldamento a pavimento, Impianto idraulico, Impianto elettrico, Impermeabilizzanti, Cucina ed elettrodomestici di servizio, Bagni, Finiture del pavimento, Porte e finiture, Decorazioni e finiture finali (vedi fig.113).
- **Costo Autofinitura Assistita:** £2,600 al mq (3.053 €). Include: Fondazioni, Struttura portante, Finestre e Rivestimento, Sistema MVHR, Riscaldamento a pavimento, Impianto idraulico, Impianto elettrico, Impermeabilizzanti (vedi fig.114).

Principi progettuali

La progettazione delle abitazioni Facit può essere gestita sia internamente dagli

7. Facit Homes. (n.d.). Price. Recuperato da <https://www.facit-homes.com/price>

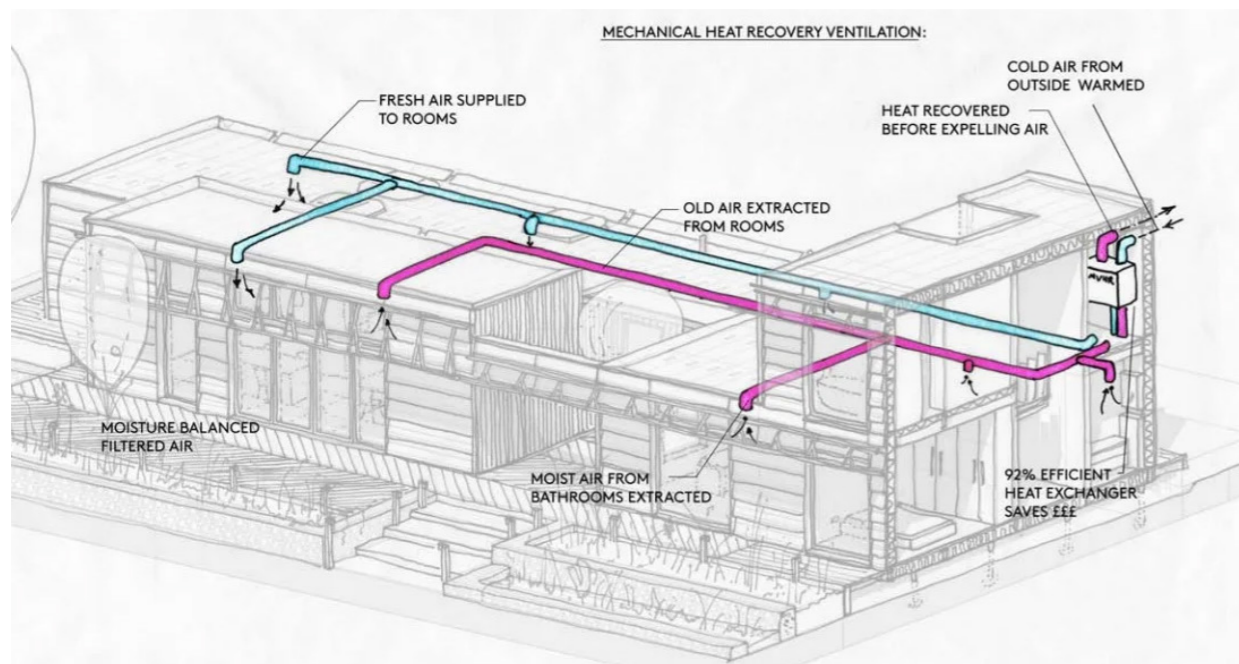


Fig.115. Sistema impiantistico di ventilazione MVHR proposto da Facit Homes. Fonte: <https://www.facit-homes.com/post/what-is-a-fabric-first-approach-to-creating-eco-homes>

esperti di Facit Homes che attraverso l'adattamento del sistema Facit ai progetti creati da professionisti esterni. Utilizzando la piattaforma BIM (Building Information Modeling) di Facit Homes e il sistema progettuale D-Process, il team tecnico traduce il progetto digitale in codice G per la produzione dei componenti strutturali tramite macchine CNC.

I principi progettuali delle abitazioni Facit sono guidati da concetti fondamentali:⁸

1. **Spazialità, forma e funzione:** Definire gli ambienti e le funzioni dell'abitazione attraverso layout flessibili e spazi adattabili per ogni tipo di flusso;
2. **Illuminazione:** Soddisfare esigenze pratiche ed emotive con finestre e por-

te vetrate strategicamente posizionate per un'illuminazione naturale.

3. **Cura del dettaglio**
4. **Scelta dei materiali:** Materiali selezionati attentamente, considerando durabilità, facilità di manutenzione, struttura ed estetica.

Sistema impianto ad aria

Facit Homes offre un sistema di recupero del calore mediante ventilazione meccanica chiamato MVHR (vedi fig.115), il quale introduce aria fresca recuperando e riutilizzando il calore dell'aria viziata che estrae da spazi come cucine e bagni, trattenendo fino al 94% del calore trasferendolo all'aria fresca che entra tramite uno scambiatore di calore nell'unità principale. Oltre a questo sistema Facit Homes utilizza anche la

8. Facit Homes. (n.d.). The Facit Home. Recuperato da <https://www.facit-homes.com/the-facit-home>



Fig.116. Spaccato prospettico del Facit Chassis di un'abitazione Facit Homes. Fonte: <https://www.facit-homes.com/the-facit-home>

soluzione a camino utilizzato per portare aria fresca in casa durante la notte tramite un lucernario centrale sopra le scale per consentire all'aria calda di passare verso l'alto e fuori dall'edificio aspirando aria più fresca dalle finestre del piano terra posizionate su un'apertura di ventilazione chiusa.⁹

Sistema costruttivo

Il sistema costruttivo di Facit Homes, noto come Facit Chassis (vedi fig.116), è una solida struttura portante composta da blocchi scatolari progettati per fungere da scheletro portante dell'edificio. Questi blocchi sono assemblati seguendo linee guida precise e sono progettati con vani dedicati

9. Facit Homes. (n.d.). What is a Fabric First Approach to Creating Eco-Homes. Recuperato da <https://www.facit-homes.com/post/what-is-a-fabric-first-approach-to-creating-eco-homes>

per cavi, canaline e tubazioni, consentendo l'installazione di servizi e prodotti durante la costruzione. Grazie a questa caratteristica, diversi professionisti possono lavorare contemporaneamente, migliorando l'efficienza del processo costruttivo.

Il Facit Chassis è prodotto digitalmente con legno ingegnerizzato in compensato, il che lo rende altamente adattabile, a bassa emissione di carbonio e facile da costruire. È personalizzabile per adattarsi alle specifiche esigenze di ogni progetto, garantendo standard elevati di qualità e prestazioni. La flessibilità del sistema consente un sequenziamento intelligente e flessibile per l'assemblaggio del telaio strutturale, accelerando la fase di costruzione e riducendo la durata complessiva dei cantieri.¹⁰

10. Facit Technologies. (n.d.). The Facit Chassis. Recuperato da <https://www.facit-technologies.com/the-facit-chassis>

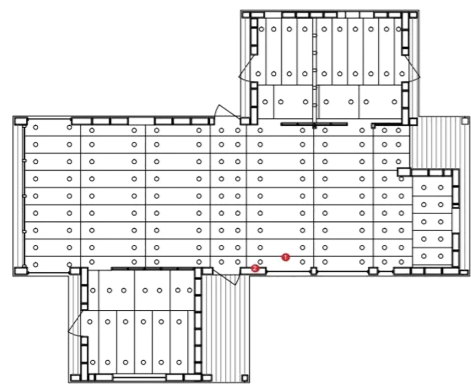


Fig.117. Pianta del sistema solaio di base e del posizionamento dei blocchi parete e del telaio strutturale del progetto Facit Homes "Villa Asserbo". Fonte: https://issuu.com/syldeang/docs/sylvia_de_angelis_analysis

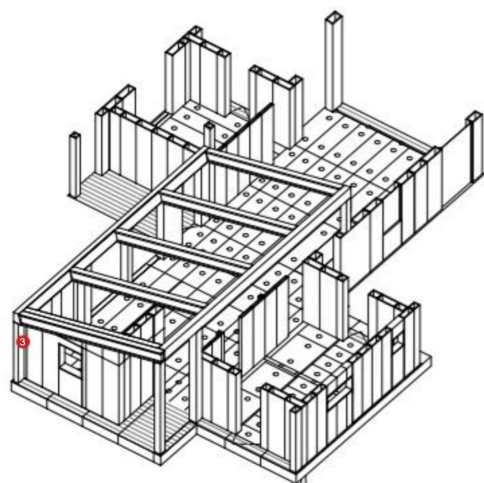


Fig.118. Spaccato assometrico della struttura del progetto Facit Homes "Villa Asserbo". Fonte: https://issuu.com/syldeang/docs/sylvia_de_angelis_analysis

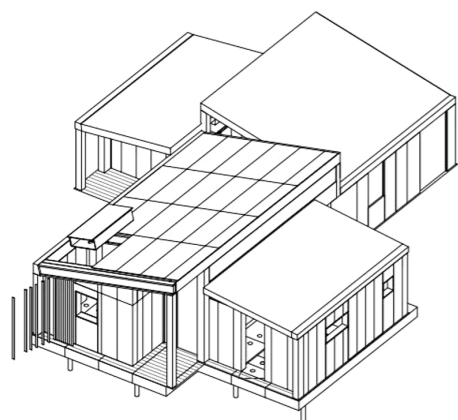


Fig.119. Vista assometrica della struttura del progetto Facit Homes "Villa Asserbo". Fonte: https://issuu.com/syldeang/docs/sylvia_de_angelis_analysis

Materiali e componenti

Per comprendere al meglio i materiali e componenti utilizzati per il sistema costruttivo Facit Homes, si fa affidamento alle informazioni fornite dal sito ufficiale¹¹ dell'azienda e alle informazioni ricavate dall'analisi¹² del progetto di Villa Asserbo, illustrato in figura fig.117, 118 e 119.

Il sistema strutturale Facit Chassis¹³ è composto da blocchi strutturali tridimensionali in compensato di abete rosso FSC, lavorati con macchine CNC. Questi blocchi vengono utilizzati per comporre il sistema solaio di base, solaio di copertura e sistema parete (vedi fig.120 e 121). Lo spessore dei pannelli utilizzati non viene specificato ma, nel caso del progetto di Villa Asserbo, si utilizzano pannelli di compensato da 9mm. Riguardo alla forma dei blocchi strutturali, a differenza del sistema WikiHouse, illustrato nel prossimo capitolo, posso cambiare all'occorrenza, come in figura fig.122, portando quindi alla creazione di kit abitativi composti da blocchi strutturali diversi e personalizzati per il progetto. Il sistema adottato per la loro realizzazione prevede comunque un'intercapedine interna per il materiale isolante, delle incavature per il passaggio dei cavi nella parte bassa dei blocchi parete e delle alette per l'ancoraggio alle travi nei blocchi solaio.

11. Facit Homes. (n.d.). Homepage. Recuperato da <https://www.facit-homes.com/>

12. De Angelis Sylvia. (14 agosto 2016). A selection of building analysis studies showing drafting and analytical skills. ISSUI. https://issuu.com/syldeang/docs/sylvia_de_angelis_analysis

13. Facit Homes. (n.d.). The Facit Chassis in Construction. Recuperato da <https://www.facit-homes.com/post/the-facit-chassis-in-construction>

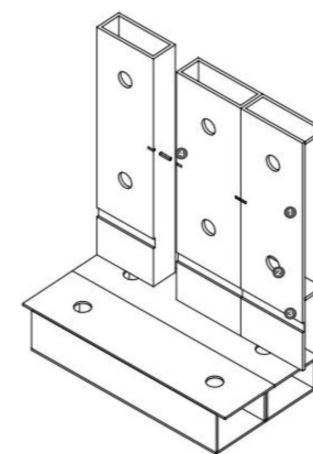


Fig.120. Blocchi strutturali in compensato per il sistema solaio di base e parete del progetto Facit Homes "Villa Asserbo". Fonte: https://issuu.com/syldeang/docs/sylvia_de_angelis_analysis

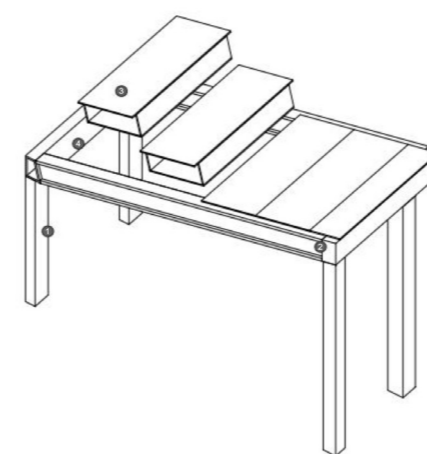


Fig.121. Blocchi strutturali in compensato per il sistema solaio di copertura ancorati sulle travi I-joint fissate a travi e pilastri in legno lamellare del progetto Facit Homes "Villa Asserbo". Fonte: https://issuu.com/syldeang/docs/sylvia_de_angelis_analysis



Fig.122. Componenti scatolare strutturale di forma complessa del sistema Facit Homes. Fonte: <https://www.facit-technologies.com/low-carbon>

Il telaio sui quali vengono ancorati i blocchi solaio e le travi possono essere in:

- Travi I-joint composite in legno lamellare e OSB dove vengono ancorati e fissati i blocchi solaio di base e di copertura;
- Travi in legno lamellare con dimensioni variabili non specificate dove vengono ancorate le travi I-joint;
- Pilastri a blocchi strutturali in compensato;
- Travi e pilastri in acciaio all'occorrenza;

Il materiale isolante viene applicato direttamente in cantiere all'interno dei blocchi scatolari strutturali tramite la tecnica dell'insufflaggio. Questo metodo offre un vantaggio significativo poiché riempie completamente i componenti in legno senza richiedere tagli su misura, riducendo in questo modo gli scarti di materiale. Per lo più si utilizza l'EPS "Supabead"¹⁴, tuttavia nel caso di Villa Asserbo è stata impiegata la fibra di legno.

Le fondazioni delle abitazioni Facit possono adottare diverse soluzioni a seconda del progetto specifico. Ad esempio, nel caso del progetto Villa Asserbo (vedi fig.119), sono state utilizzate fondazioni a vite. Nei progetti odierni tuttavia, Facit Homes realizza fondazioni a zattera superisolata denominate "Advanced Foundation Technology (AFT)", come nel caso del progetto "Eco home in East Sussex" illustrato nell'articolo "Starting on site"¹⁵. Il sistema AFT è caratterizzato dall'utilizzo di materiali isolanti sia

14. Energy Store Ltd. (s.d.). Superbead. Recuperato da <https://www.energystoreltd.com/superbead>

15. Facit Homes. (13 gennaio 2022). Starting on site. <https://www.facit-homes.com/post/starting-on-site>



Fig.123. Solaio di fondazione AFT del progetto Facit Homes "Eco home in East Sussex". Applicazione dei pannelli in EPS da 300mm e sistema di riscaldamento a pavimento. Fonte: <https://www.facit-homes.com/post/starting-on-site>



Fig.124. Solaio di fondazione AFT del progetto Facit Homes "Eco home in East Sussex". Costruzione della soletta armata da 100mm e delle travi rovesce. Fonte: <https://www.facit-homes.com/post/starting-on-site>



Fig.125. Blocchi pilastri ed architrave per il sistema porte e finestre del progetto Facit Homes "Eco home in East Sussex". Fonte: <https://www.facit-homes.com/post/starting-on-site>

nel perimetro della fondazione, dove fungono da casseforme di contenimento, sia negli strati interni della fondazione stessa, svolgendo una duplice funzione di struttura e massa termica, isolando con pannelli di EPS da 300 mm. Successivamente, viene installato il sistema di riscaldamento a pavimento, sormontato poi dalla soletta finale in calcestruzzo armato spessa 100 mm e dalla costruzione delle travi rovesce di contenimento laterali ed interne (vedi fig. 123 e 124).

I blocchi per porte e finestre presentano una struttura indipendente composta da blocchi pilastro laterali e un blocco architrave (vedi fig.125).

Le finestre sono realizzate con pannelli a triplo vetro da 48 mm e infissi in legno FSC o in alluminio.¹⁶

Kit tipo (villa Asserbo)

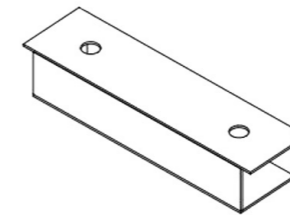
Nonostante la notevole versatilità nella configurazione delle forme di alcuni componenti strutturali (vedi fig.122), il sistema Facit si caratterizza per la presenza costante di elementi chiave scatolari per la costruzione di pareti e solai, e da elementi lineari come travi e pilastri per l'irrigidimento del sistema strutturale.

Con lo scopo di di illustrare i componenti chiave di un kit abitativo, si riportano, nella pagina a destra nella figura fig.126, i componenti strutturali adottati per la realizzazione del progetto di "Villa Asserbo".

16. Facit Homes. (n.d.). Low Carbon Homes. Recuperato da <https://www.facit-homes.com/low-carbon-homes>

Componenti

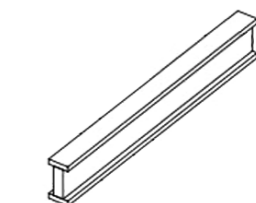
Blocco scatolare solaio di base e di copertura



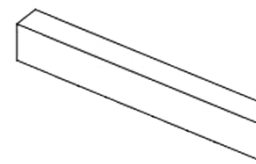
Blocco scatolare parete + isolamento interno ad insufflaggio applicato tramite le forature



Trave I-joists



Trave in legno lamellare

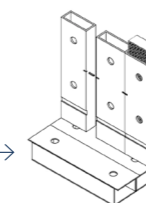


Pilastri circolare in acciaio con testa a binario per inserimento trave in legno lamellare

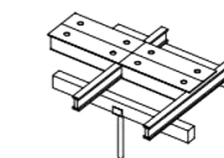


Assemblaggio dei componenti

Assemblaggio componenti solaio di base - parete



Assemblaggio componenti travi e pilastri - solaio di copertura



Orientamento e posizione dei componenti assemblati

Pianta strutturale "Villa Asserbo"



Spaccato assonometrico del Facit Chassis di "Villa Asserbo"

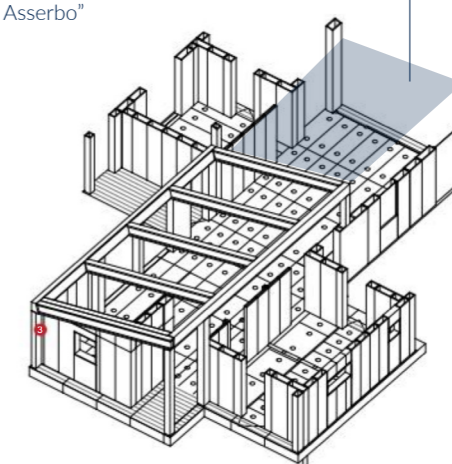


Fig.126. Abaco dei componenti strutturali del sistema Facit Homes scaturiti dal progetto di Villa Asserbo. Fonte: https://issuu.com/syldeang/docs/sylvia_de_angelis_analysis



Fig.127. a) Fabbrica portatile a container "Mobile Production Facility (MPF)" dentro area di assemblaggio e stoccaggio "Ply Store". b) Taglio a macchina CNC dei pannelli in compensato. c) Assemblaggio blocchi strutturali. Fonte a: <https://www.facit-homes.com/post/starting-on-site>. Fonte b,c: <https://www.facit-technologies.com/mobile-production>

Prestazioni

Ogni involucro di una Facit Homes è concepito per mantenere il calore, garantendo un'elevata ermeticità e isolamento. Grazie all'utilizzo dell'isolamento in EPS Supabead, la casa raggiunge un livello di ermeticità e isolamento molto elevato, avvicinandosi quasi ai parametri di efficienza energetica Passivhaus. Ciò si traduce in un basso valore di trasmittanza termica delle pareti fino a $U\ 0,12\ W/mqK$, che rispetta i requisiti delle normative italiane e inglesi, con un limite di $0,13\ W/mqK$ per le zone climatiche più fredde.¹⁷

Principi e processi produttivi

Facit Homes si avvale di tecnologie all'avanguardia nella produzione digitale per la realizzazione di abitazioni su misura e ad alte prestazioni. Il processo produttivo si fonda sulla metodologia DFMA (Design for Manufacturing and Assembly), impiegando la tecnologia digitale per convertire disegni tecnici in dati G, successivamente elaborati da una macchina CNC per il taglio dei pannelli di compensato con una tolleranza di $0,2\ mm$. Questo approccio totalmente digitale trasforma componenti virtuali 3D generando informazioni dettagliate, dalle quantità di materiali ai prezzi, dalle dimensioni delle finestre alla posizione di ogni interruttore, per poi prendere forma in repliche fisiche precise.

L'innovazione del sistema produttivo proposto da Facit Homes, risale nella possibi-

17. Facit Homes. (n.d.). What is a Fabric First Approach to Creating Eco-Homes. Recuperato da <https://www.facit-homes.com/post/what-is-a-fabric-first-approach-to-creating-eco-homes>

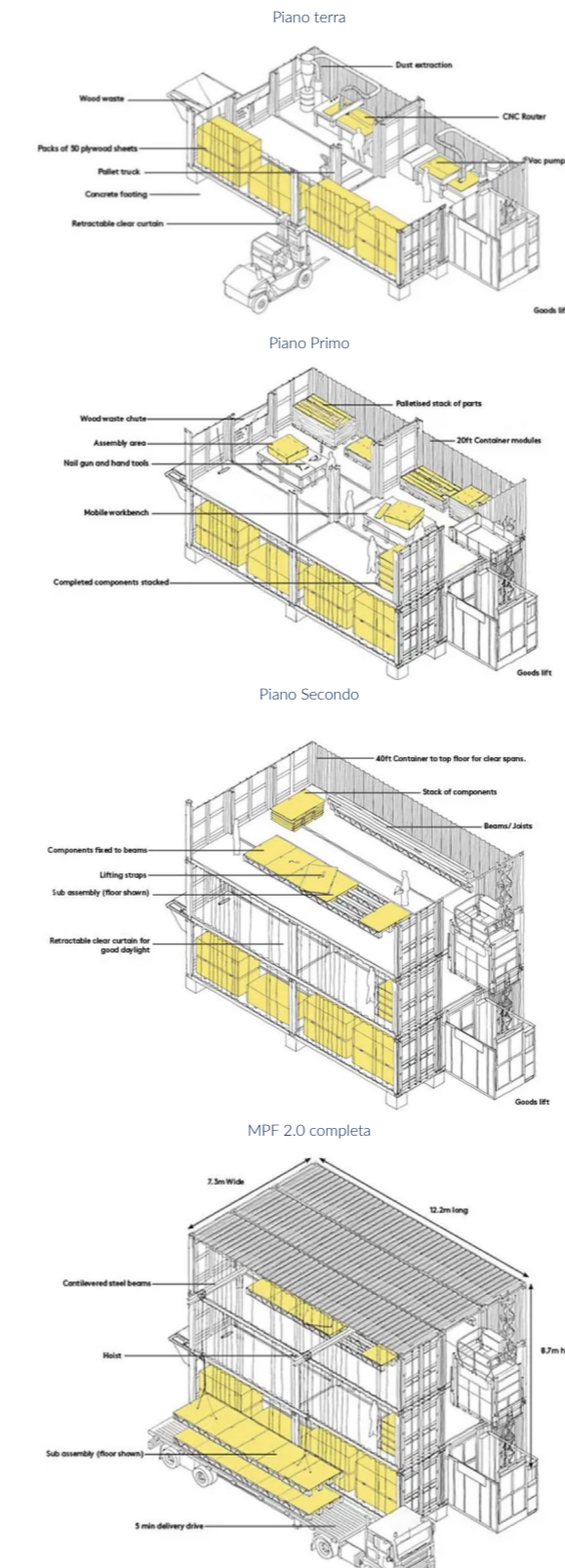


Fig.128. MPF 2.0 del sistema produttivo Facit Homes. Fonte: <https://www.facit-technologies.com/mobile-production>

lità di produrre i componenti direttamente in cantiere grazie al Mobile Production Facility (MPF), una fabbrica portatile che riduce tempi di consegna, spese generali, complessità ed emissioni.

Utilizzando il compensato di abete rosso FSC come materiale principale, le lastre vengono consegnate in cantiere per essere lavorate a macchina (vedi punto b) della fig.127) in modo da generare i pannelli bidimensionali che andranno a costituire i blocchi strutturali (vedi punto c) della fig.127).

L'insieme di tutti le lastre in compensato e pannelli lavorati, vengono stoccati nel "Ply Store" (vedi punto a) della fig.127), uno spazio coperto adiacente al MPF, che preserva i materiali e componenti dagli agenti atmosferici.

Il collegamento tra il programma di produzione e costruzione garantisce che il Facit Chassis possa essere prodotto e assemblato in sole 12 settimane. La produzione e l'assemblaggio dei componenti avvengono in modo parallelo, consentendo agli spazi di prendere forma man mano che i componenti si producono e si assemblano.

Il successo del sistema produttivo MPF ha posto le basi per la formulazione dell'evoluzione del sistema produttivo nel MPF 2.0 (vedi fig.128), la generazione successiva della Mobile Production Facility. Questo sistema facilita la consegna su larga scala ed è al centro degli sviluppi residenziali multipiano. La produzione avviene in tre fasi: il taglio delle parti al piano terra, l'assemblaggio al primo piano e la creazione di sottoinsiemi al secondo piano. Infine, i componenti assemblati vengono trasportati e utilizzati nella costruzione delle abita-

zioni. Grazie a questo sistema, Facit Homes riesce a lavorare giornalmente 140 pannelli in compensato, produrre 590 blocchi per un'abitazione, a completare la produzione dei componenti per un'abitazione in 4,1 giorni e a realizzare 60 case all'anno.¹⁸

Processi costruttivi ed integrazione dell'autocostruzione

Per comprendere i processi di costruzione ed autocostruzione, si farà riferimento agli articoli "Starting on site"¹⁹ e "The Facit Chassis in construction"²⁰ pubblicati nel 2022 sul sito ufficiale di Facit Homes (<https://www.facit-homes.com/blog>). Gli articoli illustrano i dettagli di un progetto realizzato nel "East Sussex".

Dopo la preparazione del cantiere con la consegna della fabbrica portatile MPF (vedi punto 1 della fig.129), l'area designata per il progetto è stata oggetto di scavi, livellatura e coperta con ghiaia. Per stabilizzare le fondazioni, sono stati inseriti dei pali di acciaio nel terreno. I tubi di drenaggio e di scarico (vedi punto 2 della fig.129) sono stati installati facendoli passare successivamente attraverso la lastra di Fondazione Advanced Foundation Technology (AFT) in cemento. Il sistema di fondazione prevede lo strato di EPS, seguito da una membrana antiumidità (DPM) e dal sistema di riscaldamento a pavimento per poi essere completata con la costruzione del massetto e delle travi rovesce interne ed esterne per otte-

tere una superficie uniforme (vedi punto 3 della fig.129).

Per assemblare la struttura portante lignea "Facit Chassis," vengono fissate delle piastre in legno lungo il perimetro delle fondazioni, che fungono da separatore e connettore tra il sistema fondazione e il sistema parete (vedi punto 4 della fig.129). Successivamente, vengono installati i blocchi delle pareti esterne e i portali di porte e finestre, seguiti dall'assemblaggio delle pareti interne per consentire l'inserimento delle travi del tetto (vedi punto 5 della fig.129). La struttura viene completata con strati di membrana traspirante e componenti del tetto ventilato (vedi punto 6 della fig.129). Successivamente, si procede all'isolamento della struttura mediante l'insufflaggio di isolamento in EPS Supabead.

L'installazione degli elementi di completamento, come il sistema ad aria MVHR, gli impianti idraulici ed elettrici e le finestre, può avvenire in parallelo all'assemblaggio della struttura, offrendo flessibilità al progetto.

Nel contesto delle fasi costruttive, si sottolinea la possibilità per l'acquirente di partecipare attivamente, non solo nelle fasi finali di finitura, ma in tutte le fasi di costruzione delle fondazioni e dell'assemblaggio dei componenti strutturali, entrando a far parte del team Facit grazie alla guida attenta dei tecnici, come nel caso delle fasi costruttive degli articoli analizzati.²¹

18. Facit Technologies. (n.d.). Mobile Production. Recuperato da <https://www.facit-technologies.com/mobile-production>

19. Facit Homes. (13 gennaio 2022). Starting on site. <https://www.facit-homes.com/post/starting-on-site>

20. Facit Homes. (22 marzo 2022). The Facit Chassis in Construction. Recuperato da <https://www.facit-homes.com/post/the-facit-chassis-in-construction>

21. Facit Homes. (n.d.). Blog. Recuperato da <https://www.facit-homes.com/blog>



1. Preparazione della fabbrica portatile "MPF" inserita nell'area di stoccaggio "Ply Store" per la produzione dei componenti strutturali



2. Inserimento dei pali in acciaio nel terreno per stabilizzare le fondazioni



3. Costruzione dei solai di fondazioni Advanced Foundation Technology (AFT)



4. Assemblaggio dei componenti strutturali delle pareti strutturali



5. Assemblaggio delle componenti parete interne e del solaio di copertura



6. Applicazione del rivestimento impermeabilizzante e successiva finitura dell'involucro esterno

Fig.129. Fasi costruttive di un'abitazione tramite il sistema Facit Homes. Fonte: <https://www.facit-homes.com/blog>

Casi studio di realizzazioni

Villa Asserbo, studio Een til een, Asserbo, Danimarca 2011



Fig.130. Villa Asserbo. Fonte: <http://ideasgn.com/villa-asserbo-by-eentileen-facit-homes/>



Fig.131. Assemblaggio della struttura portante di Villa Asserbo. Fonte: <https://www.archdaily.com/264572/villa-asserbo-a-sustainable-printed-house-that-snaps-together>



Fig.132. Assemblaggio del solaio di copertura di Villa Asserbo. Fonte: <https://www.archdaily.com/264572/villa-asserbo-a-sustainable-printed-house-that-snaps-together>

Tipologia: Abitazione monopiano

Villa Asserbo rappresenta il primo progetto di costruzione Facit in Danimarca, realizzato dallo studio Een til een. L'abitazione, estesa su 125mq e costruita in compensato nordico fabbricato tramite fresa CNC, è concepita attorno a uno spazioso centrale, dal quale si diramano i locali. La sua distintiva copertura, caratterizzata da falde spezzate e sfalsate, permette la creazione di un gioco di luce e riflessi donando luce naturale diretta ai locali. La fabbricazione

di Villa Asserbo ha coinvolto circa 820 fogli di compensato, con una produzione avvenuta in fabbrica e la consegna di circa 400 componenti assemblati in loco. L'edificio, posizionato su fondazioni con pali a vite che sollevano la struttura di circa 30 cm, incorpora travi I-joists di Kerto e OSB per la realizzazione del solaio contro terra e della copertura. L'intero processo costruttivo è stato completato in soli sei settimane.²²

22. Urban Francesco, *Dalla fabbricazione digitale ai processi di prefabbricazione del progetto di architettura: Analisi degli scenari di innovazione e dei casi studio sperimentali [tesi di laurea magistrale]*. Torino: Politecnico di Torino, 2020

Kolonihavehus Kastrup, studio Een til een, Kastrup, Danimarca 2011



Fig.133. Villa Asserbo. Fonte: <http://www.eentileen.dk/projekt/kolonihavehus-kastrup/16/bagom>



Fig.134. Assemblaggio della struttura portante del progetto Kolonihavehus Kastrup. Fonte: <http://www.eentileen.dk/projekt/kolonihavehus-kastrup/16/bagom>

Tipologia: Casa vacanze monopiano

L'abitazione Kolonihavehus Kastrup, con una superficie di 45 m², è stata progettata come casa vacanze, caratterizzandosi per la sua architettura minimalista che, al contempo, si mantiene fedele allo stile tipico delle case coloniali estive danesi. Le aperture disposte su entrambi i lati lunghi dell'edificio favoriscono una connessione visiva e funzionale con il giardino caratteristico delle abitazioni danesi.²³

23. Eentileen. (n.d.). Kolonihavehus Kastrup. Recuperato da <http://www.eentileen.dk/projekt/kolonihavehus-kastrup/16/bagom>



Fig.135. Fissaggio dei blocchi parete del progetto Kolonihavehus Kastrup. Fonte: <http://www.eentileen.dk/projekt/kolonihavehus-kastrup/16/bagom>



Fig.136. Assemblaggio del solaio di copertura del progetto Kolonihavehus Kastrup. Fonte: <http://www.eentileen.dk/projekt/kolonihavehus-kastrup/16/bagom>

Analogamente a quanto osservato in Villa Asserbo, la dimora presenta una copertura a doppia falda realizzata con elementi scatolari caratteristici del sistema Facit, integrati con travi I-joists. Tale approccio evidenzia la necessità di incorporare al sistema Facit, componenti strutturali non prodotti digitalmente attraverso macchine CNC.

www.eentileen.dk/projekt/kolonihavehus-kastrup/16/bagom

Clelia and Diana homes, Hertfordshire, UK, 2012

Fig.137. Progetto "Clelia and Diana homes" sviluppato da Facit Homes. Fonte: <https://www.facit-homes.com/oaklands>Fig.138. Costruzione fondazioni a vite. Fonte videodocumentario: <https://vimeo.com/53932758>Fig.139. Assemblaggio della struttura portante. Fonte videodocumentario: <https://vimeo.com/53932758>**Tipologia:** Abitazione a 2 piani

E' stata la prima applicazione su grande scala del sistema Facit Homes sviluppata attraverso l'assemblaggio in cantiere di 500 blocchi di compensato per comporre la struttura portante "Facit Chassis". Per la creazione del solaio controterra, supportato da travi in legno lamellare, travi I-joist e un sistema di fondazione con micropali a vite in acciaio, sono state impiegate due settimane di lavoro. L'innalzamento delle pareti del piano terra è stato completato

in appena una giornata di lavoro. L'intera struttura di compensato è stata quindi eretta in otto settimane, seguite da lavori di impermeabilizzazione, installazione di 4 grandi finestre esposte a sud per sfruttare al massimo il guadagno solare nei mesi invernali, isolamento e rifiniture in cedro e intonaco. L'intera costruzione è stata conclusa in 6 mesi.²⁴

24. Facit Homes. (n.d). Oaklands. Recuperato da <https://www.facit-homes.com/oaklands>

Flower House, Oxfordshire, UK, 2019

Fig.140. Progetto "Flower House" sviluppato da Facit Homes. Fonte: <https://www.facit-homes.com/flower-house>Fig.141. Costruzione del piano primo. Fonte: <https://www.self-build.co.uk/blog-timber-frame-erection-facit-homes/>Fig.142. Costruzione della copertura. Fonte: <https://www.self-build.co.uk/blog-timber-frame-erection-facit-homes/>**Tipologia:** Abitazione a 2 piani

Flower House, costruita all'interno del villaggio Graven Hill, un progetto volto a realizzare una comunità di edifici sostenibili, si sviluppa intorno ad un ampio open space caratterizzato da ambienti alti grazie al tetto a dente di sega. Il progetto si contraddistingue per le elevate prestazioni energetiche attribuibili ai 28cm di isolamento interno ai blocchi parete, alle finestre con triplo vetro, al sistema impiantistico MVHR e al sistema di fondazione AFT che include

il riscaldamento a pavimento.²⁵

L'intero processo di costruzione ha coinvolto circa 1300 pannelli di compensato di abete rosso per la produzione dei blocchi strutturali, i quali sono stati tagliati e assemblati in fabbrica per poi essere trasportati in cantiere.²⁶

25. Facit Homes. (anno di pubblicazione o ultima modifica del contenuto). Flower House. Recuperato da <https://www.facit-homes.com/flower-house>

26. Urban Francesco, Dalla fabbricazione digitale ai processi di prefabbricazione del progetto di architettura: Analisi degli scenari di innovazione e dei casi studio sperimentali [tesi di laurea magistrale]. Torino: Politecnico di Torino, 2020

London House, Londra, UK, 2021



Fig.143. Progetto "Flower House" sviluppato da Facit Homes. Fonte: <https://www.facit-homes.com/flower-house>

Tipologia: Abitazione a 3 piani

London House è il risultato di un progetto che ha preso forma dopo la demolizione di una vecchia abitazione degli anni '70, inizialmente programmata per una ristrutturazione. L'abitazione si distingue per la sua notevole altezza su tre piani, ottenuta grazie a un tetto mansardato rivestito in zinco, che ha permesso la creazione di spazi a tutta altezza al secondo piano. Le facciate, prevalentemente intonacate di bianco, fatta eccezione per il piano terra grigio, contribuiscono a mitigare la voluminosità complessiva dell'edificio. Al piano terra, un ampio open space accoglie la cucina, un tavolo da pranzo di 3 metri e un'area salotto, collegandosi al soggiorno. L'ampia apertura verso il giardino circostante è stata favorita da finestre e porte bifold Solarlux. L'interno è stato caratterizzato dalla presenza di una

scala su misura prodotta digitalmente e un design attento ad ogni dettaglio. L'abitazione raggiunge un'elevata efficienza energetica grazie a pareti super isolate, finestre con triplo vetro, un sistema di ventilazione con recupero di calore e riscaldamento a pavimento.²⁷

Anche se non si dispone di informazioni specifiche sul numero di pannelli di compensato utilizzati, è possibile ricostruire le fasi costruttive dell'edificio, descritte nella pagina adiacente attraverso l'analisi dell'articolo "Building a Facit Home"²⁸, pubblicato sul sito ufficiale di Facit Homes.

27. Facit Homes. (28 Settembre 2021). North London. Facit Homes. <https://www.facit-homes.com/north-london>

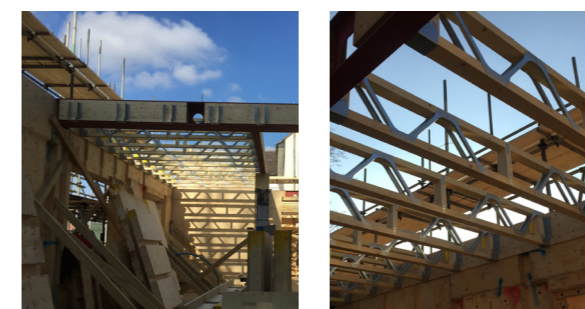
28. Facit Homes. (28 Settembre 2021). Building a Facit Home. Recuperato da <https://www.facit-homes.com/post/building-a-facit-home>



1. Costruzione del sistema di fondazioni a platea in cemento armato e fissaggio delle piastre intorno al perimetro della fondazione per l'assemblaggio dei blocchi parete



2. Assemblaggio dei blocchi parete perimetrali strutturali supportate durante la posa per compensare eventuali deviazioni



3. Assemblaggio dei blocchi parete interne strutturali con successiva applicazione delle travi in acciaio e reticolari in legno del solaio d'interpiano



4. Assemblaggio dei blocchi solaio ad incastro sulla struttura a travi in acciaio e travi reticolari in legno. Stesso procedimento dei punti 2,3 e 4 per il piano primo.



5. Installazione dei componenti strutturali speciale del tetto mansardato che fungerà da 3° piano



6. Inserimento degli infissi dei lucernari e successivo rivestimento del tetto con pannelli di compensato



7. Impermeabilizzazione ed assemblaggio dei travetti del tetto ventilato



8. Seconda impermeabilizzazione e successivo completamento delle finiture del tetto tramite l'applicazione di pannelli zincati con giunture verticali

Fig.144. Fasi costruttive del progetto "London House" di Facit Homes. Fonte: <https://www.facit-homes.com/post/building-a-facit-home>



4.2 WikiHouse

Anno

2011

Luogo

Londra, Regno Unito

Fondatore

Alastair Parvin e Nick Lerodiaconou

Brevetto

Sistema OpenSource

Tipologia del sistema costruttivo

Modulare con un kit di componenti finiti in blocchi strutturali cavi in legno

Materiali/Componenti

Pannelli in compensato di abete o pannelli di OSB da 2440mm x 1220mm di spessore 18mm

Processo produttivo

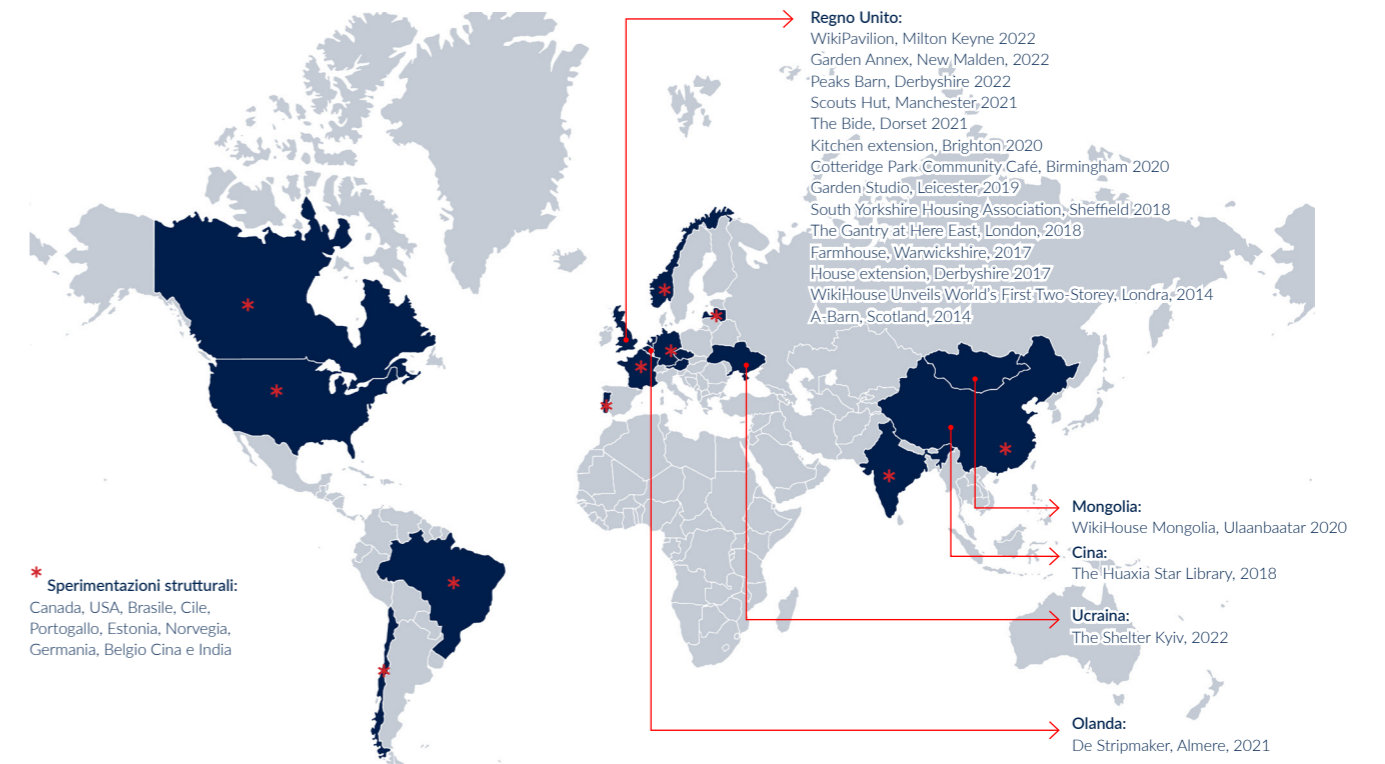
Rete di piccole imprese con taglio a macchina CNC o Laser Cut

Tipologia di connessione

Ad incastro tramite componenti con forma ad osso

Realizzazione e diffusione commerciale

Europa, America e Asia



Riferimento immagine pagina a sinistra:

Fig.145. Assemblaggio struttura portante Skylark 200 del "WikiPavilion". Rielaborazione del fotogramma del minuto 7:38 del video YouTube: https://www.youtube.com/watch?v=tdYBML6VC-MA&ab_channel=PulpBuild

Mappa:

Fig.146. Mappa diffusione sistema WikiHouse. Fonte: Rielaborazione propria.

* Sperimentazioni strutturali. Fonte: Monica Aimone Giglio, Valentina Ronco. (2017) Architettura in compensato. Il caso WikiHouse: studio della fattibilità economica e ambientale finalizzato alla progettazione di un modulo per cicloturisti realizzato con elementi piani [tesi di laurea magistrale]. Politecnico di Torino. Relatore: Guido Callegari. Torino.

Descrizione

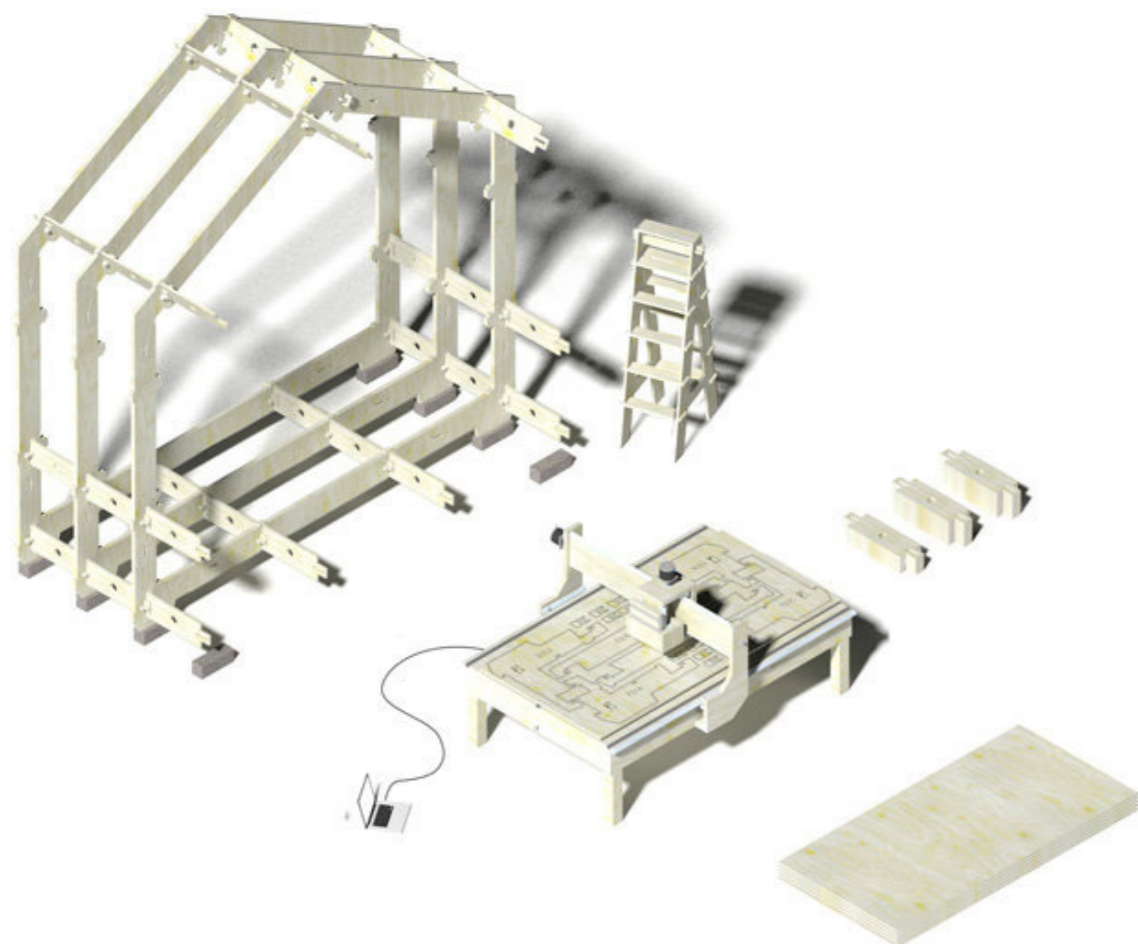


Fig.147. Processo produttivo del sistema WikiHouse per la realizzazione dei componenti struttura di un'abitazione. Fonte: articolo "Assessing the Openness and Conviviality of Open Source Technology: The Case of the WikiHouse" DOI: 10.3390/su11174746

WikiHouse è stato lanciato come un progetto e una piattaforma open source nel 2011 da Alastair Parvin e Nick Lerodiaco, in occasione della Gwangju Design Biennale in Corea del Sud. Questo sistema si basa sull'idea della condivisione gratuita di un metodo costruttivo in legno a zero emissioni, progettato per la costruzione di abitazioni a basso costo. Il sistema open source consente a chiunque di scaricare i progetti e di montare autonomamente le strutture in pochi giorni, grazie all'assem-

blaggio di componenti strutturali prefabbricati, appartenenti a un kit prefabbricato e modulare. Questi componenti sono realizzati attraverso l'utilizzo di macchine a controllo numerico CNC o laser cut, garantendo una precisione di 0,1 mm. Questo metodo di costruzione permette la realizzazione dei componenti senza la necessità di un grande impianto industriale. I modelli di abitazioni sono gestiti tramite il software gratuito SketchUp e poi condivisi e distribuiti liberamente in diversi formati.

Inoltre, WikiHouse offre numerosi servizi finalizzati a semplificare tutte le fasi di pianificazione, progettazione, produzione e autocostruzione attraverso piattaforme, guide e progetti consultabili sul sito ufficiale di WikiHouse. Questo approccio ha portato alla diffusione del sistema in tutto il mondo, dando origine a progetti significativi come la realizzazione di sistemi abitativi a basse emissioni in Rio de Janeiro per la costruzione delle favelas o la ricostruzione post-sisma di un quartiere di 21 abitazioni interamente realizzate con il sistema WikiHouse in Nuova Zelanda.

Dal punto di vista economico e finanziario, la WikiHouse Foundation è supportata dal WikiHouse Consortium, che consiste in un insieme di aziende, organizzazioni e professionisti che contribuiscono con fondi o assumendo compiti di sviluppo e mantenimento dell'infrastruttura. Inoltre, il progetto prevede un programma di certificazione per designer, promuovendo così un'ampia attività di consulenza basata sui progetti sviluppati dalla piattaforma.¹

Approccio

Nel 2008, Alastair Parvi, un architetto e designer londinese, si trovò ad affrontare una crisi occupazionale nel settore architettonico nel momento in cui la società aveva un grande bisogno di innovazione progettuale. Si chiese perché gli architetti, viste come figure capaci di risolvere le crisi sociali, lavorassero principalmente per una piccola parte privilegiata della popola-

zione mondiale. Questo approccio, basato su grandi organizzazioni e finanziamenti, si rivelò fallimentare nel tempo, portando alla creazione di quartieri monolitici non accessibili a tutti. Al contrario, Parvi propose un approccio collaborativo e democratico, con piccole realtà locali che adottano soluzioni innovative e a minor impatto ambientale. Questo modello democratizza la produzione e la costruzione, aprendo la strada a un futuro in cui il design è accessibile a tutti e la produzione è diffusa.² Sebbene esistano aziende che producono soluzioni edilizie basate sul legno, spesso richiedono grandi fabbriche costose e faticano a trovare domanda costante, specialmente nel mercato delle abitazioni di piccole dimensioni.³ Sulla base di questa visione nasce WikiHouse, un sistema Open Source⁴ progettato per rendere l'edilizia più accessibile e sostenibile. Il concetto si basa su una libreria di componenti strutturali 3D, scaricabili e adattabili a varie esigenze, che possono essere prodotti con macchine CNC standard. Questo approccio permette la creazione di case modulari, accoglienti ed efficienti, trasformando il settore delle costruzioni attraverso la partecipazione di piccole imprese, produttori autonomi e comunità locali.

2. WikiHouse. (2016, luglio 12). Wikihouse: dall'urbanizzazione democratica alla rigenerazione sociale. TechEconomy2030. Accessibile da <https://www.techeconomy2030.it/2016/07/12/wikihouse-dallurbanizzazione-democratica-alla-rigenerazione-sociale/>

3. Open Systems Lab. (s.d.). Projects. Accessibile da <https://www.opensystemslab.io/projects>

4. Il concetto di "open source" è stato utilizzato per la prima volta nel regno del software. Il software open source si riferisce a software con codice sorgente accessibile gratuitamente aperto per la redistribuzione e la modifica. L'open source applicato all'architettura, in questo modo, fornisce alcune direzioni principali di azione per la progettazione, per la creazione e gestione di piattaforme in grado di ospitare comunità trans-scalari di utenti, focalizzate sulla trasformazione sostenibile, adattabile e a basso costo dell'ambiente costruito. Andrea Rosada, L'open source come modello di sviluppo dell'abitare contemporaneo, Politecnico di Torino, 2012

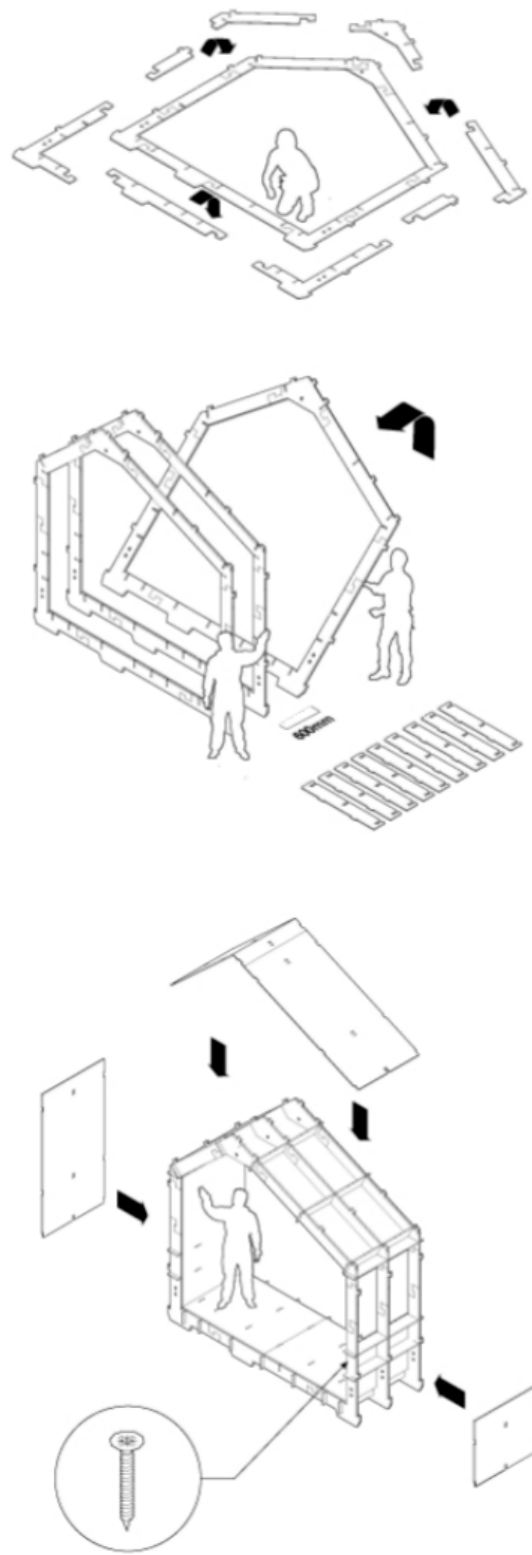


Fig.148. Processo costruttivo tramite il sistema Wren WikiHouse. Fonte: <https://www.zdnet.com/article/wikihouse-an-open-source-home-design-and-build-kit/>

L'obiettivo è costruire abitazioni belle, accessibili e a zero emissioni, integrando sia il settore privato che quello pubblico.

Il sistema di progettazione si basa sull'idea di democratizzare la creazione delle abitazioni, rendendo gli strumenti e le conoscenze accessibili a tutti. Questo permette ai cittadini di autoprogettare e autocostruire le proprie case con il supporto della comunità WikiHouse. Le abitazioni WikiHouse sono progettate per essere assemblate senza attrezzature complesse o competenze specializzate, con sezioni simili a puzzle che possono essere connesse facilmente da un piccolo gruppo di persone con l'uso limitato di attrezzi (vedi fig.148), completando la struttura in una sola giornata lavorativa. Successivamente, possono essere aggiunti serramenti, materiali isolanti e servizi in base alle necessità e alle disponibilità individuali.⁵

Evoluzione del sistema costruttivo

Sin dalla sua fondazione, il sistema WikiHouse ha esplorato varie soluzioni costruttive basate su blocchi scatolari cavi in compensato o OSB, assemblati tramite fresatura CNC e progettati per ospitare materiale isolante all'interno (vedi fig.139). L'evoluzione dei sistemi costruttivi WikiHouse ha condotto alla creazione del sistema attuale, denominato "Skylark" (vedi fig.150), proposto in due varianti di dimensioni: Skylark200⁶ e Skylark250⁷. La distinzione tra le due versioni riguarda lo spessore interno dei bloc-

5. Open Systems Lab. (s.d.). Projects. Accessibile da <https://www.opensystemslab.io/projects>

6. WikiHouse. (n.d.). Skylark 200. Retrieved from <https://www.wikihouse.cc/blocks/skylark-200>

7. WikiHouse. (n.d.). Skylark 250. Retrieved from <https://www.wikihouse.cc/blocks/skylark-250>

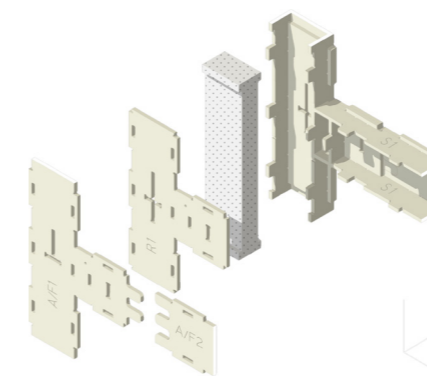


Fig.149. Sistema di assemblaggio dei componenti strutturali. Fonte: <https://github.com/wikihouseproject/Wren/wiki/Wren-Technical-Design-Guide>

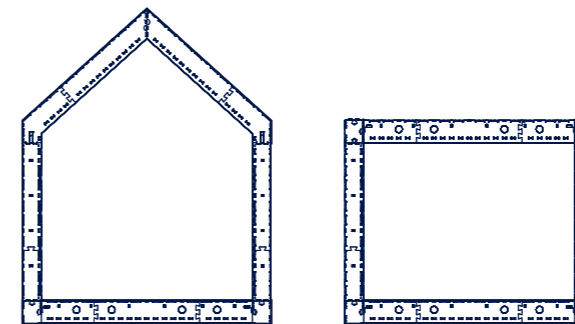


Fig.150. Sistema costruttivo Skylark per abitazioni con tetto a falde e tetto piano, Elaborazione propria con componenti del kit Skylark 250 scaricabili dal sito web WikiHouse

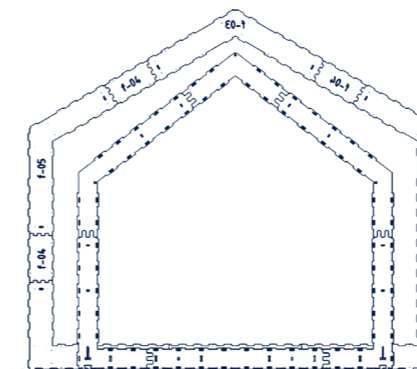


Fig.151. Sistema costruttivo esterno Wren, Sistema costruttivo interno Swift. Rielaborazione propria fonte: <https://webthesis.biblio.polito.it/15571/1/tesi.pdf>

chi strutturali che contengono il materiale isolante, con 200mm per il sistema Skylark 200 e 250mm per il sistema Skylark 250. Questo sistema consente la realizzazione di abitazioni fino a 3 piani di altezza, un traguardo difficilmente raggiungibili con sistemi precedenti, come il ben noto sistema strutturale a portali Wren, che ha giocato un ruolo chiave nella divulgazione globale dell'approccio WikiHouse, sostituito nel 2017 dal sistema Swift, il quale ha semplificato i componenti della struttura portante, consentendo portali con una luce massima da 3,6 m a 4,8 m (vedi fig.151).⁸

Oltre a questi sistemi, è stato in fase di sviluppo un sistema chiamato BlackBird, che ha abbandonato l'approccio a portali di Wren e Swift, focalizzandosi su travi e pilastri. Nonostante alcune testimonianze di autocostruzione da parte di WikiHouse nel 2020, non si dispongono di dettagli aggiuntivi su questo sistema. Tuttavia, considerando lo sviluppo del sistema attuale, Skylark, basato anch'esso su travi e pilastri scatolari, si può presumere che Skylark rappresenti l'evoluzione del sistema BlackBird. WikiHouse offre sistemi modulari anche per i componenti interni, come il sistema "Weaver" per le pareti interne e "Owl" per le porte interne. Al momento, questi sistemi non sono compatibili con il sistema Skylark. Tuttavia, secondo le risposte alle domande frequenti di WikiHouse sul sito ufficiale, stanno lavorando per renderli compatibili con il sistema Skylark.⁹

8. Urban Francesco, Dalla fabbricazione digitale ai processi di prefabbricazione del progetto di architettura: Analisi degli scenari di innovazione e dei casi studio sperimentali [tesi di laurea magistrale]. Torino: Politecnico di Torino, 2020

9. WikiHouse. (s.a.). FAQ. Accessibile da <https://www.wikihouse.cc/faq>

Servizi proposti

Il sistema WikiHouse fa parte di un complesso di servizi offerti da Open System Lab, un'organizzazione guidata dai fondatori di WikiHouse, che mirano semplificare i vari processi delle fasi di pianificazione, progettazione e costruzione di un'abitazione, fornendo al consumatore piattaforme e guide che consentano una gestione autonoma degli aspetti pratici.¹⁰ Riguardo alle **piattaforme** messe a disposizione, anche se ancora in fase di sviluppo si hanno due per la pianificazione e una per la progettazione.

Pianificazione:

1. **Fairhold:** Una piattaforma per i proprietari terrieri che desiderano mettere a disposizione il proprio terreno a basso costo per la comunità, permettendo di sostenere l'economia locale, preservare l'ambiente e promuovere la costruzione democratica attraverso accordi di locazione open source e modulari.
2. **PlanX:** Piattaforma dedicata ad assistere i proprietari di case e i loro agenti nel determinare se un progetto in fase di pianificazione richieda un permesso di costruire.

Progettazione:

- **BuildX:** Uno strumento web open source che permette una progettazione rapida e personalizzata di abitazioni. Utilizza sistemi di costruzione pre-ingegnerizzati e pre-costati, mostrando in tempo reale l'impatto economico e am-

bientale del progetto, insieme al numero di pannelli da fresare a macchina e al tempo necessario per produrre tutti i blocchi del kit abitativo (vedi fig.152).

WikiHouse oltre a mettere a disposizione delle piattaforme, fornisce un ricco set di informazioni tecniche e procedurali, mirate a condividere le conoscenze necessarie per l'adozione del sistema Skylark tramite guide mirate (vedi fig.153) sulla progettazione (Design Guide), produzione (Manufacturing Guide), assemblaggio (General Assembly Guide) e calcolo strutturale (Guide for structural engineers).¹¹ L'insieme di queste guide consente sia a individui autonomi che a coloro che richiedono assistenza di avviare la progettazione e la costruzione di un'abitazione. Inoltre, la guida "Manufacturing Guide" fornisce istruzioni per la creazione di un impianto di lavorazione dei pannelli, promuovendo in questo modo la decentralizzazione dei processi produttivi delle grandi aziende dell'approccio DfD-MA.

Va sottolineato che WikiHouse, non essendo un'azienda di costruzione o vendita di abitazioni, offre competenze per lo sviluppo dei progetti, ma non fornisce materiali, infissi o impianti. Pertanto, spetta al progettista contattare le aziende interessate.

Per quanto riguarda invece **l'organizzazione dell'infrastruttura collaborativa** ha come nodo principale il sito web WikiHouse.cc, che funge da punto di accesso alla comunità. Le attività della comunità sono gestite attraverso Google Groups, mentre

footprint	11.71m ²
numSheets	55
cncTime	3 days
chassisCost	£1226.50
cncCost	£1375.00
chassisTotal	£2601.50

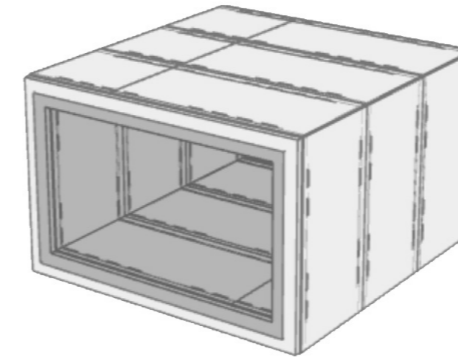


Fig.152. Piattaforma BuildX in fase di sviluppo. Fonte: <https://demo.buildx.cc/>

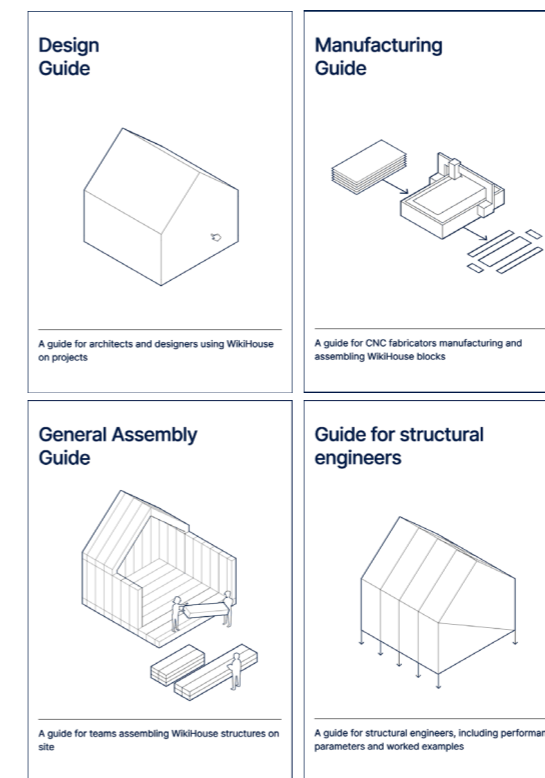


Fig.153. Guide online per la progettazione, produzione, assemblaggio e calcolo strutturale. Rielaborazione propria fonte: <https://www.wikihouse.cc/guides>

i progetti sono gestiti tramite piattaforme come Google Drive e Google Docs.¹² Attualmente, il sito indica anche un repository su GitHub, dal quale è possibile scaricare i piani per la realizzazione della prima mini-casa completa proposta da WikiHouse, utilizzando il sistema Wren. Allo stesso modo, sul sito GitHub, in riferimento al sistema Skylark, è disponibile solo l'elenco dei componenti, da utilizzare come base per la progettazione di un'abitazione. Per le procedure progettuali, produttive e costruttive dettagliate, è necessario fare riferimento alla pagina WikiHouse.

Costi

Nonostante WikiHouse non fornisca materiali e componenti di completamento, nella sezione dedicata ai costi¹³, vengono riportati degli esempi di prezzo per le diverse soluzioni abitative, potendo scegliere tra il tipo di abitazione, i piani, l'area al mq, il tipo di fondazioni, il materiale per la struttura, il materiale per l'isolamento, la qualità delle finiture ed involucri trasparenti e la possibilità di scegliere se autocostruire o meno. Nel caso di un'abitazione da 65mq mono-piano con il sistema di fondazioni a vite, compensato per il sistema strutturale in legno, lana minerale per l'isolante, finiture ed infissi di qualità media e l'autocostruzione dell'abitazione, il prezzo è compreso tra i £135.000 e i £153.000 sterline totali, con prezzo al metro quadro compreso tra i £2.080 e i £2.360 sterline. Questo cal-

12. WikiHouse: dall'urbanizzazione democratica alla rigenerazione sociale. (2016, luglio 12). TechEconomy2030. Accessibile da <https://www.techeconomy2030.it/2016/07/12/wikihouse-dallurbanizzazione-democratica-alla-rigenerazione-sociale/>

13. WikiHouse. (n.d.). Cost. Retrieved from <https://www.wikihouse.cc/cost>

10. Open Systems Lab. (s.d.). Projects. Accessibile da <https://www.opensystemslab.io/projects>

11. WikiHouse. (n.d.). Guides. Retrieved from <https://www.wikihouse.cc/guides>

colatore inoltre, permette di visualizzare i KgCO₂e delle emissioni legate alle scelte progettuali.

Questo sistema di calcolo dei costi e degli impatti permette di comprendere gli effettivi cambiamenti in base alle scelte progettuali, per esempio, sul costo complessivo dell'abitazione, la possibilità di autocostruire fa variare il prezzo di 6 mila sterline nei costi di servizio; il compensato di abete rosso varia il prezzo di 9mila sterline rispetto all'OSB; per la qualità delle finiture ed infissi, la variazione è proporzionale, triplicandosi per la qualità più alta rispetto a quella base; l'utilizzo di fondazioni a vite risulta essere la più costosa rispetto a fondazioni a travi rovesce, con una variazione di circa 8 mila sterline. Inoltre, è interessante notare che l'aumento del numero di piani dell'abitazione, invece di incrementare il prezzo complessivo, lo riduce, portando a un risparmio di quasi 10 mila sterline per un'abitazione a 3 piani rispetto a una a 1 piano rispetto alla stessa metratura quadrata.¹⁴

Impatti del sistema

L'adozione del sistema WikiHouse, oltre all'impatto sociale sostenuto dall'integrazione di progettisti e autocostruttori in una comunità dedicata allo sviluppo di abitazioni su terreni condivisi, la sfera ambientale assume una rilevanza ancora maggiore considerando gli obiettivi globali ed europei per la decarbonizzazione del settore edilizio. I risultati derivanti dall'analisi del ciclo di vita condotta da WikiHouse sulle abitazioni costruite con il sistema Skylark

14. WikiHouse. (n.d.). Cost. Retrieved from <https://www.wikihouse.cc/cost>

dimostrano che WikiHouse genera meno della metà delle emissioni durante l'intero ciclo di vita rispetto a una casa costruita in modo convenzionale. Questo notevole risparmio è principalmente attribuibile all'uso del legno e al fatto che WikiHouse è significativamente più facile da smontare e riutilizzare. Questo processo di riutilizzo comprende la creazione di mobili in legno utilizzando il materiale strutturale anziché bruciarlo per il recupero energetico o riciclarlo per la produzione di materia prima seconda. L'analisi del ciclo di vita ha inoltre evidenziato che le variazioni delle emissioni di CO₂ rispetto ai benefici termici ed economici nell'uso di vetri tripli invece di quelli doppi per finestre e/o porte finestre non sono sostanziali. Pertanto, si raccomanda l'uso di vetri doppi, garantendo così un equilibrio tra sostenibilità e efficienza.¹⁵

Materiali

Secondo le indicazioni fornite dalla "Manufacturing guide" e dalla "Design guide", i componenti Skylark del sistema WikiHouse sono realizzati mediante l'utilizzo di **pannelli strutturali di compensato** di abete rosso o pannelli strutturali **OSB** delle dimensioni di 2440 mm x 1220 mm, con uno spessore di 18 mm, che può variare fino a un minimo di 17,4 mm. I **blocchi Skylark** si contraddistinguono per un **peso** estremamente **contenuto**, variando da soli 21 kg per un blocco angolo parete (CORNER-S)

15. James Parker et al., (LBU) Leeds Beckett University - Leeds Sustainability Institute, Thermal Performance Modelling & Life Cycle Assessment, «WikiHouse», Innovate UK Project number: 77084, 21 Luglio 2021, <[https://assets-global.website-files.com/6118e2d27c92cc41c39747a0/61ed1aaa333bc06f027c2f2b_77084_WikiHouse%20Thermal%20Performance%20and%20LCA%20report_July%202021%20\(1\).pdf](https://assets-global.website-files.com/6118e2d27c92cc41c39747a0/61ed1aaa333bc06f027c2f2b_77084_WikiHouse%20Thermal%20Performance%20and%20LCA%20report_July%202021%20(1).pdf)>



Fig.154. Sopra: Pannello di compensato di abete. Sotto: Pannello in OSB. Fonte immagine: <https://www.leroymerlin.it/>



Fig.155. Rotolo isolante SupaSoft. Fonte immagine: <https://www.insulationsuperstore.co.uk/>

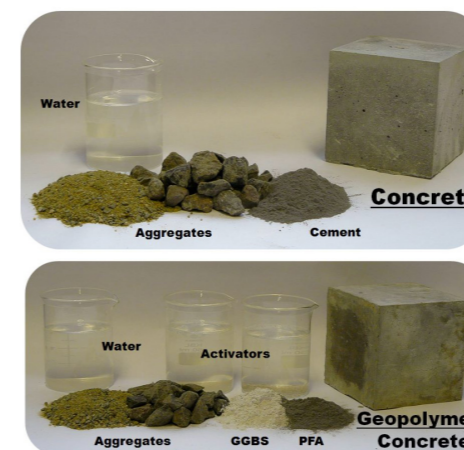


Fig.156. Paragone Calcestruzzo normale con Calcestruzzo geopolimerico. <https://blogs.qub.ac.uk/geopolymer/geopolymer-background/>

del sistema Skylark 200 a 125 kg per un blocco copertura a falde (VERGE42-L) del sistema Skylark 250mm. I video dimostrativi¹⁶ evidenziano la possibilità di assemblare senza difficoltà anche gli elementi più pesanti, senza la necessità di ricorrere a macchinari di supporto.

Per quanto riguarda il **materiale isolante** destinato a collocarsi all'interno dei blocchi strutturali, WikiHouse menziona l'uso comune di rotoli di materiale plastico riciclato denominato "**Supasoft**" (vedi fig.155). Gli spessori disponibili per i materiali isolanti variano a seconda del componente e del sistema utilizzato: per il sistema Skylark 250, lo spazio dedicato al materiale isolante è di 250 mm, mentre per il sistema Skylark 200 è di 200 mm. Per i componenti del pavimento e della copertura, lo spazio utile è di 350 mm.¹⁷

Prestazioni

WikiHouse attesta le elevate prestazioni termiche del sistema, che raggiunge valori di trasmittanza dei blocchi pari a 0,15 W/m²K. Tuttavia, in ambienti particolarmente freddi, viene consigliata l'applicazione di un cappotto continuo in fibra di legno sulla facciata.¹⁸

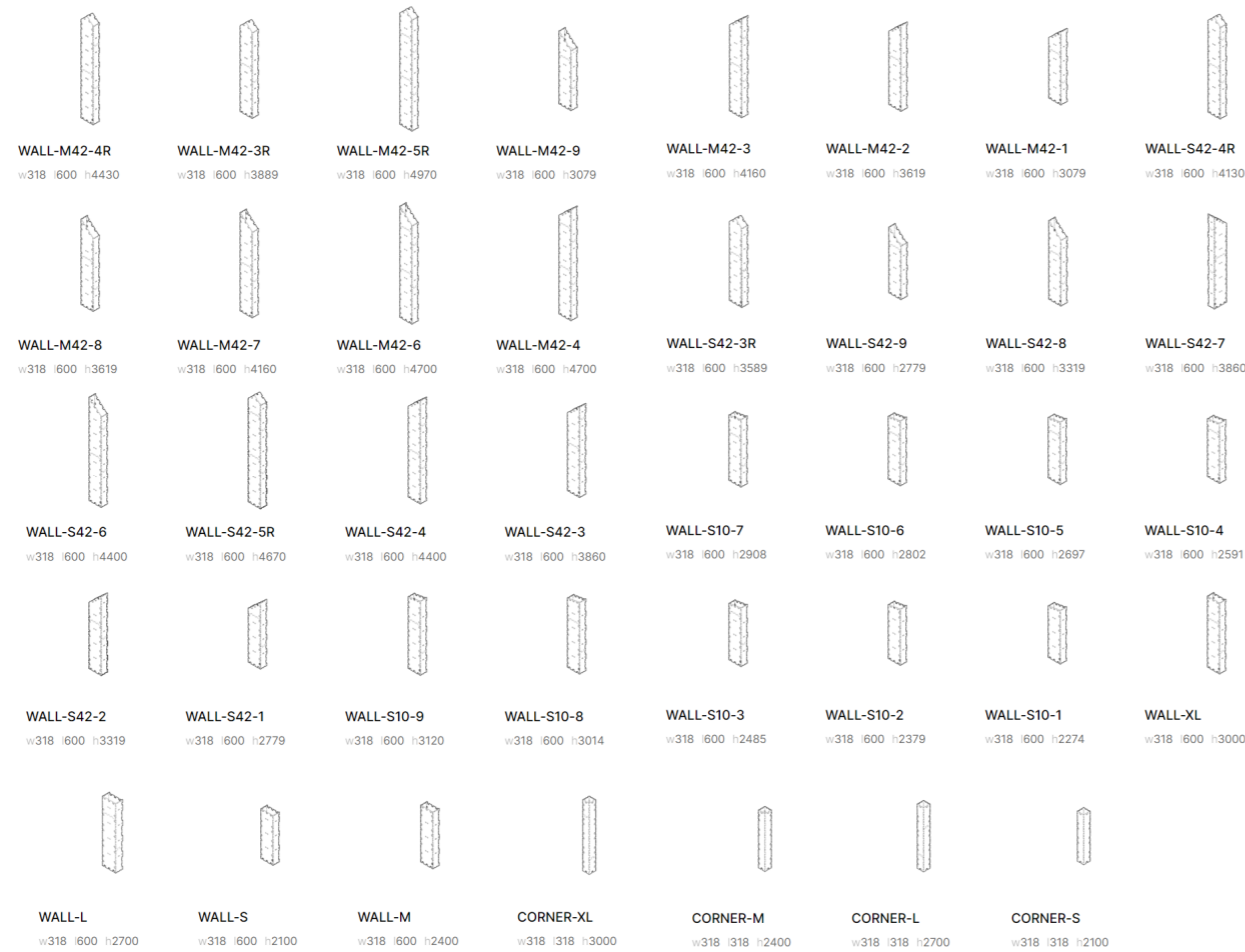
16. PulpBuild. (n.d.). Example of Prefabricated House Construction. [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=tdYBML6VC-MA&ab_channel=PulpBuild

17. WikiHouse. (n.d.). What is WikiHouse?. Retrieved from <https://www.wikihouse.cc/design/what-is-wikihouse>

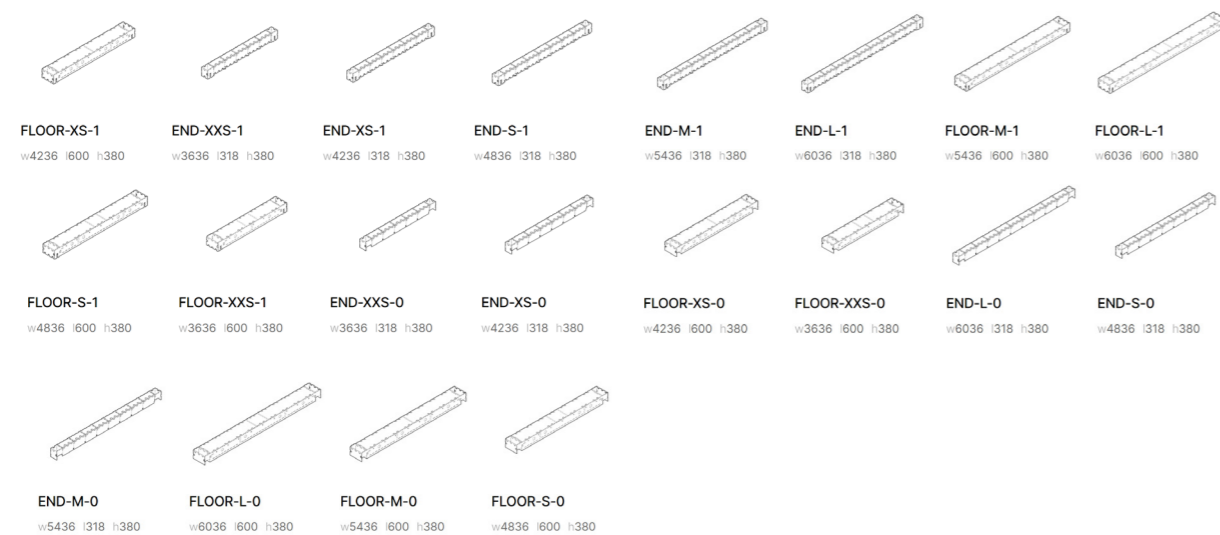
18. WikiHouse. (n.d.). Product. Retrieved from <https://www.wikihouse.cc/product>

Abaco dei componenti del sistema Skylark 250

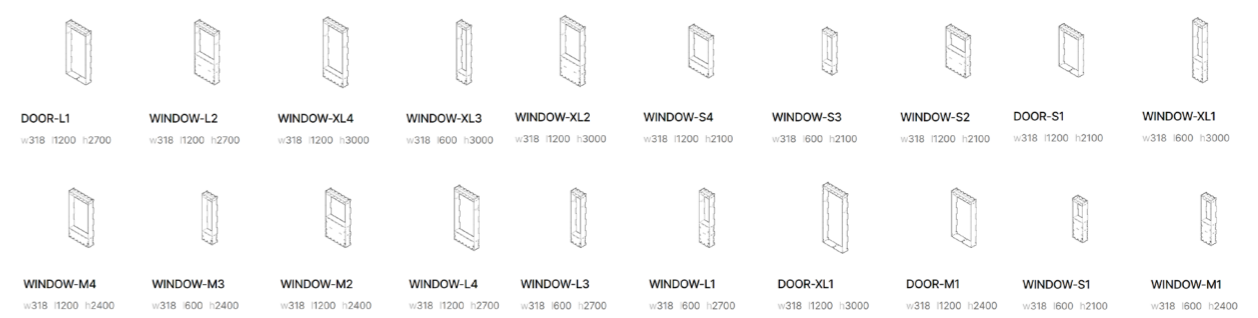
Blocchi parete



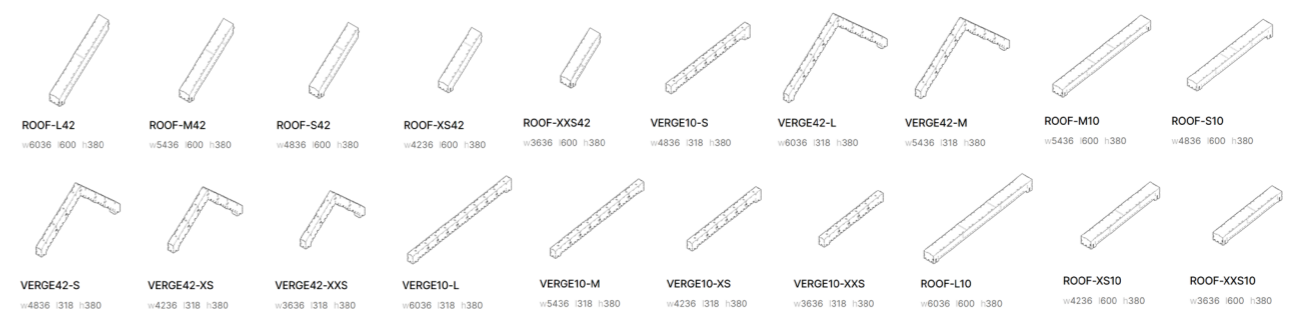
Blocchi solaio



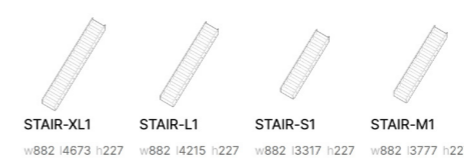
Blocchi porte e finestre



Blocchi copertura



Blocchi scala



Blocchi giunti e fondazioni



Fig.157. Blocchi dell'abaco di componenti del sistema Skylark 250 di WikiHouse. Fonte: <https://www.wikihouse.cc/blocks/skylark-250>

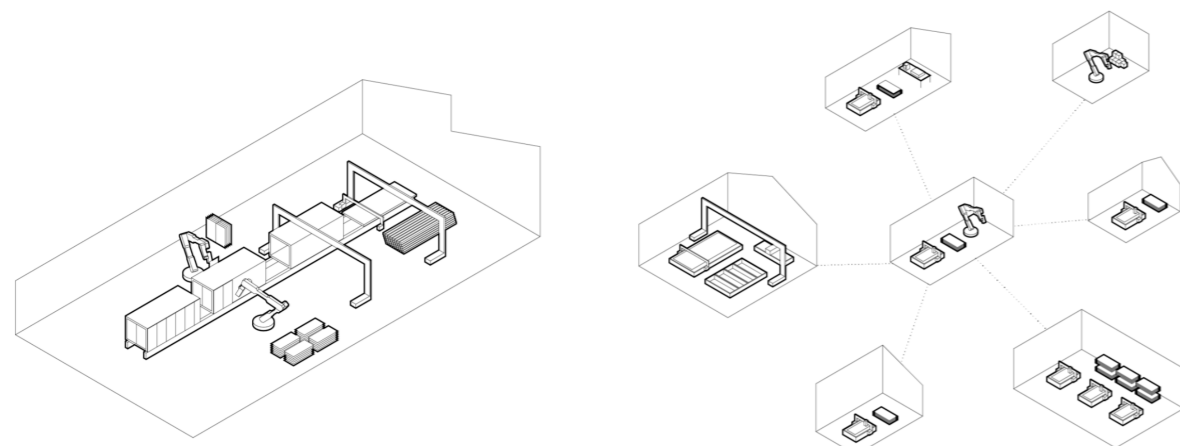


Fig.158. Confronto tra un sistema produttivo centralizzato e un sistema produttivo distribuito. Fonte: <https://www.mirandaplowden.com/projects/wikihouse-sheffield-2018-could-offsite-construction-be-the-solution-to-the-uks-housing-crisis>

Approccio alla produzione

La realizzazione dei componenti Skylark si basa sull'adozione della metodologia DfD-MA "design for distributed manufacture & assembly", un'evoluzione dell'approccio DfMA "design for manufacture & assembly". Questo concetto si concretizza attraverso l'impiego del sistema WikiHouse per la produzione dei componenti, mediante l'applicazione di diversi approcci produttivi digitali tra cui la lavorazione dei pannelli di compensato o OSB tramite macchinari di fresatura CNC o macchinari di taglio laser cut. L'obiettivo di questo approccio è quello di creare componenti prefabbricati e modulari, facilmente trasportabili ed assemblabili prodotti in piccole fabbriche digitali, caratterizzate da costi notevolmente inferiori rispetto alle grandi fabbriche impiegate per la lavorazione di prodotti lignei pesanti, come pannelli in CLT. Questa efficienza è resa possibile dalla lavorazione di prodotti lignei leggeri come pannelli di

compensato e pannelli OSB, il che riduce le dimensioni e i costi di avviamento di una micro-fabbrica e i costi di produzione, permettendo la formazione di una rete di piccole imprese che collaborano attraverso l'integrazione digitale in tutte le fasi del progetto, partendo dalla divulgazione attraverso il web.¹⁹

Come già evidenziato nella sezione precedente, WikiHouse fornisce una guida dettagliata su come creare la propria mini-fabbrica di produzione. Tuttavia, si sottolinea che tale iniziativa dovrebbe essere portata avanti da individui qualificati che aspirano a diventare produttori e distributori WikiHouse.

Processo produttivo

Dal punto di vista operativo, la guida "Manufacturing guide"²⁰ fornisce dettagli ap-

19. Open Systems Lab. (s.d.). Projects. Accessibile da <https://www.opensystemslab.io/projects>

20. WikiHouse. (n.d.). Manufacturing. Retrieved from <https://www.wikihouse.cc/guides/manufacturing>

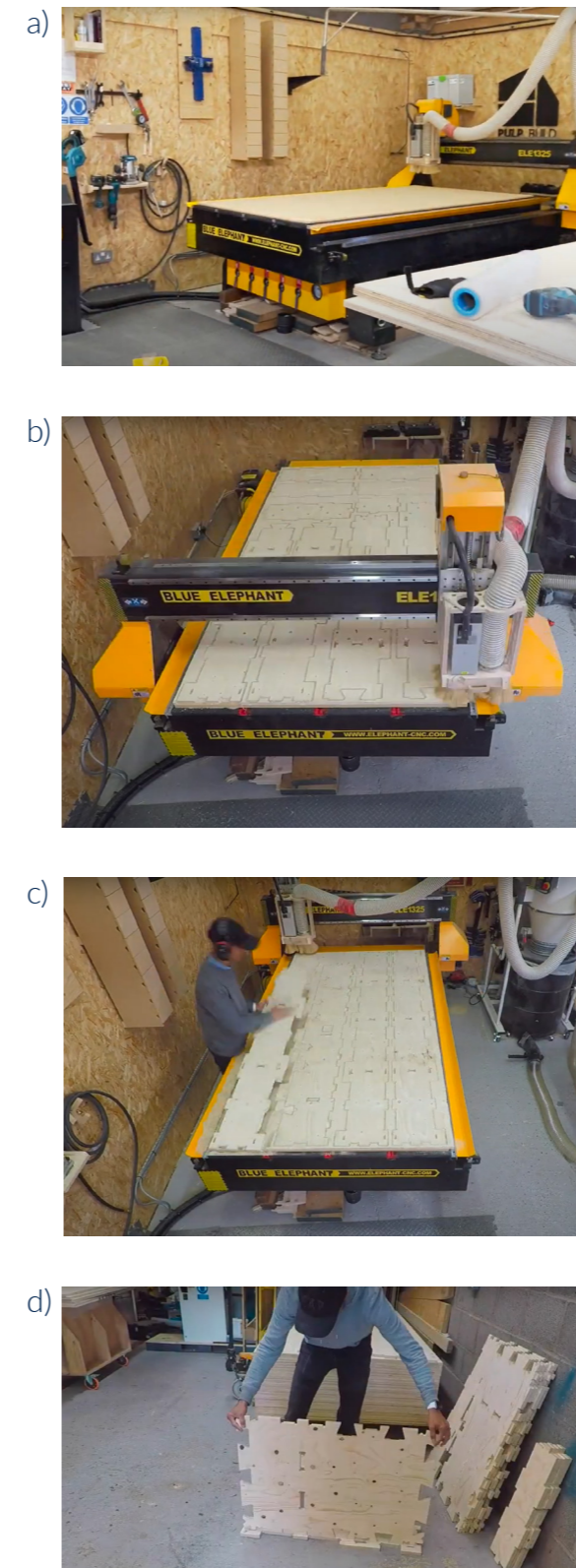


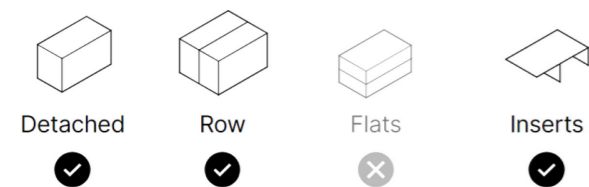
Fig.159. a) Macchina CNC. b) Taglio pannelli compensato per blocchi Skylark. c) Movimento pannelli blocchi CNC. d) Verifica delle tolleranze di montaggio. Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=tdYBML6VCMA&ab_channel=PulpBuild

profonditi su come gestire la produzione dei componenti costruttivi del sistema Skylark. I file di taglio per ciascun blocco sono disponibili individualmente in formato DXF, DWG, 3DM e SKP e possono essere scaricati direttamente dal sito ufficiale di WikiHouse, dove è già integrato un perimetro di tolleranza per gli sfridi del macchinario.

Per agevolare la fresatura dei pannelli, tutte le geometrie Skylark presentano tasche "Dog-bone" o "T-bone" negli angoli interni dei componenti, mitigando eventuali raccordi causati dalla punta del macchinario. La produzione dei componenti può avvenire con qualsiasi macchinario CNC capace di tagliare fogli di compensato o OSB di dimensioni 2440 mm x 1220 mm. Tuttavia, per progetti che richiedono il taglio di più di 50 fogli, si consiglia l'uso di un router CNC a portale con prestazioni superiori. Per operare in sicurezza ed efficacia, la guida suggerisce specifiche pratiche, tra cui: l'uso di un piano di aspirazione per fissare rapidamente le lastre, frese da 9,5-12,5 mm per il taglio del compensato da 18 mm in un solo passaggio, un cambio utensile automatico (ATC) e un mandrino singolo raffreddato ad acqua (ideale 7-9 kW). Si raccomanda di trovare un equilibrio tra una velocità di funzionamento del CNC che non danneggi le frese e non lasci bordi scheggiati.

Per la gestione dei file digitali, WikiHouse consiglia l'utilizzo di un laptop con sistema operativo Windows, una buona scheda grafica e software come RhinoCAM, Vectric Aspire, V-Carve o Fusion360 per convertire i file CAD in formati compatibili con i macchinari di produzione.

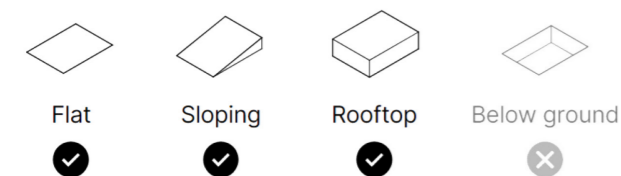
Tipologia di edificio



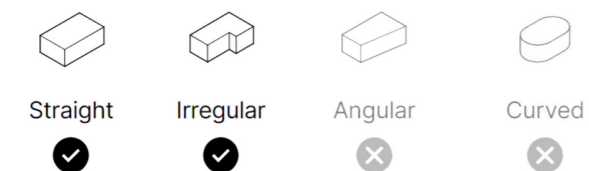
Numero di piani costruibili



Terreni sui quali è possibile costruire



Forme costruibili



Tipidi copertura

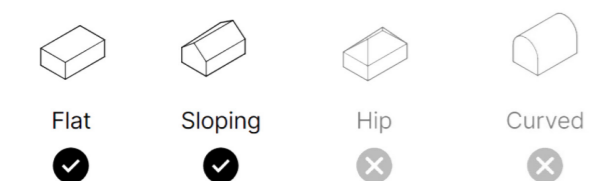


Fig.160. Tipologie costruttive con il sistema WikiHouse Skylark. Fonte: <https://www.wikihouse.cc/product>

Le fasi produttive, dettagliate nella guida “Manufacturing guide” di WikiHouse, possono essere riassunte nei seguenti passaggi:

1. Verifica delle condizioni dei pannelli: Controllare umidità e spessore dei pannelli di compensato o OSB, con uno spessore minimo di 17,4 mm.
2. Conversione dei file 2D in codice G: Analizzare e convertire i file 2D in codice G comprensibile per la macchina di taglio, con taglio di solito su un solo lato del pannello.
3. Verifica delle tolleranze di montaggio: Verificare attentamente le tolleranze di montaggio di ogni blocco prima di procedere con l'assemblaggio.
4. Identificazione unica dei componenti: Contrassegnare ogni componente con un numero d'ordine unico per semplificare l'assemblaggio.
5. Stoccaggio appropriato dei blocchi: Conservare i blocchi in un ambiente a bassa umidità, sollevati da terra e lontani da fonti di calore e fiamme libere.

Tipologie abitative

Con il sistema costruttivo Skylark è possibile realizzare abitazioni fino a 3 piani di altezza con diverse forme su varie superfici, a condizione che non vi siano piani interrati, può assumere forme regole ed irregolare, a patto che non presenti angoli inferiori o superiore ai 90° o pareti, inoltre è possibile progettare abitazioni a tetto piano o a tetto inclinato a doppia falda su un unico verso e non a padiglioni o curvi (vedi fig.160).²¹

21. WikiHouse. (s.d.). Product. Recuperato da <https://www.wikihouse.cc/product>



Fig.161. Fondazione a vite. Fonte immagine: <https://www.guidaedilizia.it/product/cusi/pali-avvitati-in-acciaio-paalupiste-pro/>



Fig.162. Fondazioni “Portable”. Fonte immagine: <https://www.torosteelbuildings.com/options-and-finishes/steel-arch-buildings/foundation/>



Fig.163. Fondazione a platea. Fonte immagine: <https://lavoriindustriali.com/progetti/progeo.php>



Fig.164. Fondazione a trave rovescia. Fonte immagine: <https://www.immobilgreen.it/news/case-in-legno/fondazioni-case-in-legno-quello-che-devi-sapere/>

Progettazione

La progettazione avviene attraverso **software di progettazione 3D** come Sketchup o Rhinoceros, con la possibilità di esportare i blocchi nei formati Sketchup, Rhino, AutoCAD, Blender e IFC, disponibili sul sito WikiHouse. Può essere condotta autonomamente, ma WikiHouse consiglia il coinvolgimento di un progettista qualificato per garantire la conformità con i regolamenti strutturali di WikiHouse fornisce una guida dettagliata per la progettazione, che spiega i passaggi e i sistemi necessari per utilizzare efficacemente il sistema Skylark. La trasmittanza termica dei componenti di 0,15 W/m²K permette la realizzazione dell'edificio anche in zone molto fredde e, nel caso in cui non si raggiungano i valori minimi da normativa, basta applicare un cappotto esterno. Tuttavia, il sistema Skylark non è progettato per resistere a forti raffiche di vento, pertanto si consiglia il coinvolgimento di uno strutturista in tali circostanze.

La progettazione ha inizio con la definizione del **tipo di fondazione** da applicare che può essere di 4 tipi: fondazione a vite (meno emissioni e leggermente più costoso delle altre) vedi fig.161, fondazioni “portable” (vedi fig.162), fondazione a platea (vedi fig.163) o fondazione a trave rovescia (vedi fig.164). Viste le elevate emissioni, WikiHouse consiglia l'utilizzo di un cemento geopolimerico EFC che permette di risparmiare tra il 75% e l'87% di carbonio incorporato rispetto al cemento standard. Una volta definita la fondazione si andranno ad inserire i pannelli in legno che si interporranno tra i blocchi solaio e le fon-

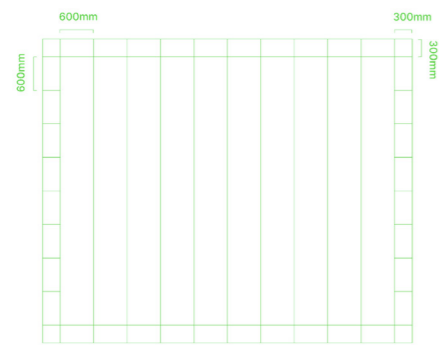


Fig.165. Griglia di progetto. Fonte: <https://www.wikihouse.cc/design/designing-for-wikihouse>

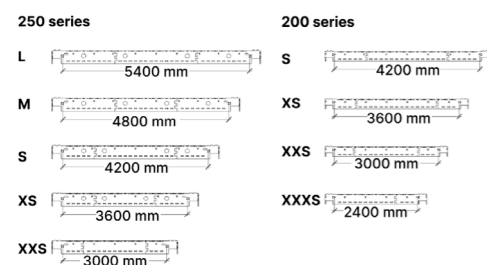


Fig.166. Dimensioni blocchi solaio. Fonte: <https://www.wikihouse.cc/design/designing-for-wikihouse>

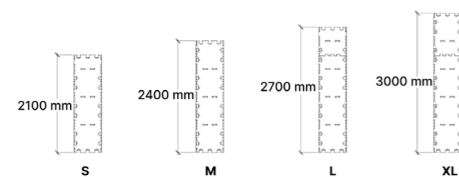


Fig.167. Dimensioni blocchi parete. Fonte: <https://www.wikihouse.cc/design/designing-for-wikihouse>

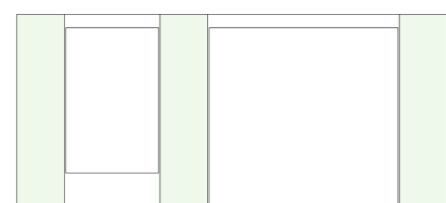


Fig.168. Blocchi parete intorno ai blocchi finestre. Fonte: <https://www.wikihouse.cc/design/designing-for-wikihouse>

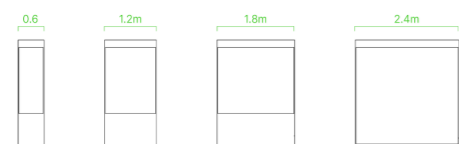


Fig.169. Dimensioni blocchi finestra. Fonte: <https://www.wikihouse.cc/design/designing-for-wikihouse>

dazioni, che dovranno seguire il perimetro esatto delle pareti e stare perfettamente in bolla sui quali verrà fissata la struttura WikiHouse.

Per la progettazione della struttura, viene definita una griglia progettuale con la quale si andrà a delineare il perimetro dell'abitazione. I moduli interni della griglia sono di 600 x 600 mm, basati sulla larghezza del blocco parete mentre gli angoli presentano uno scarto di 30 mm x 30 mm (vedi fig.165), pari allo spessore del blocco parete. La lunghezza parallela ai blocchi del solaio deve avere dimensioni di 3,6 m (taglia S), 4,8 m (taglia M), o 5,4 m (taglia L) per il sistema Skylark 250, mentre per il sistema 200 si avranno 2,4 m (taglia XXXS) o 4,2 m (taglia S) (vedi fig.166).

Le pareti interne non hanno blocchi Skylark di riferimento e devono essere progettate con componenti e sistemi diversi, consigliando di utilizzarle come elementi di controventamento per contrastare le forze flettenti. L'altezza dei blocchi parete varia tra i 2.1m e i 3m (vedi fig.167) mentre, la lunghezza minima delle pareti è regolata da specifiche distinzioni tra edifici a piano terra (parete continua di 1,8 m o due pareti da 1,2m ogni 6 metri) e a due piani (parete continua di 3,6 m o due pareti continue da 2,4m ogni 6 metri). Per la realizzazione di abitazioni a 3 piani, si consiglia un supporto tecnico qualificato.

Per i pannelli porta e finestra, sono disponibili 4 misure standard: 0,6 m, 1,2 m, 1,8 m e 2,4 m (vedi fig.169). L'analisi LCA riporta che gli impatti termici e ambientali del triplo vetro non variano particolarmente rispetto al doppio vetro perciò, si consiglia l'utilizzo di quest'ultimo. In caso di pareti

con molte aperture, è necessario garantire almeno un elemento parete per lato di ciascuna apertura.

Per la realizzazione dei tetti piani è prevista una pendenza di 10° per il drenaggio, mentre per i tetti a doppia falda vi è la necessità di una trave nel colmo che non è inclusa nel kit Skylark e deve essere progettata appositamente. I blocchi tetto sono progettati per ospitare una trave larga 90 mm, ma nel caso in cui sia richiesta una trave di colmo di dimensioni superiori, sarà necessario apportare modifiche ai blocchi.

Per quanto riguarda il rivestimento, WikiHouse non fornisce soluzioni kit, ma offre una serie di guide progettuali. Si consiglia di applicare una membrana traspirante tra la struttura in legno e il rivestimento, seguita dalla posa di uno strato impermeabilizzante che copra integralmente l'edificio a partire dall'estradosso del solaio di base, preventivamente sollevato di almeno 150 mm da terra. Il rivestimento può successivamente essere completato con qualsiasi tipo di materiale e fissato ai 18mm di spessore dei blocchi parete.²²

Processo di autocostruzione

La gestione dei blocchi Skylark necessita di un team composto da **1-4 persone**, però per edifici di dimensioni grandi dimensioni, WikiHouse consiglia l'utilizzo di un transpallet.

Per il corretto **assemblamento** del kit sono necessari i seguenti **strumenti**: Cuffie antirumore, martelli di gomma, martelli a colpo sicuro, guanti da lavoro, genie lift per posi-

zionamento blocchi pavimento e tetto, cinghie, piattaforma mobile per raggiungere i soffitti, scale a pioli, Imbracature di sicurezza per lavori in quota, pistola sparachiodi (a batteria), taglialegna/multiutensile, lime e carta vetrata, maschere antipolvere, pinze, estintore e Kit di pronto soccorso.

Le **fasi di autocostruzione** di un'abitazione WikiHouse con il sistema Skylark250 inizia con la preparazione del cantiere e la costruzione della fondazione (vedi fig.170), che devono essere livellate con uno scarto massimo di 2mm su tutta l'area dell'abitazione. Una volta costruite le fondazione, si andranno ad installare i "Combs" (pannelli solaio che fungono da connettori tra fondazione e solaio) attraverso staffe angolari o piatte in acciaio fissate con viti o bulloni (vedi fig.171). Ci sono Combs specifici per l'uso al piano terra (blocchi COMB-A), per i piani intermedi e superiori (blocchi COMB-B), e per i tetti spioventi a capanna (blocchi COMB-G). Nei perimetri della pianta verranno applicati i blocchi tipo END. I blocchi END-X verranno installati parallelamente alle travi del pavimento e ai blocchi END, mentre i blocchi END-Y verranno installati perpendicolarmente a blocchi lungo la "lunghezza" dell'edificio, che si andranno ad agganciare sopra i COMBs dell'asse x, spingendoli verso il basso a colpi di martello di gomma. I blocchi FLOOR, con misure di campate dalla S alla L, vengono installati successivamente e pesano tra i 70 e i 100 kg. Saranno necessarie 4 persone o un transpallet per sollevarli. Successivamente verranno inseriti i blocchi WALL sopra le linguette sollevate sui bordi esterni dei blocchi FLOOR e END. Generalmente i blocchi WALL, arrivano già pre-isolati,

22. WikiHouse. (s.d.). Design Kits. Recuperato da <https://www.wikihouse.cc/design/wikihouse-blocks#design-kits>

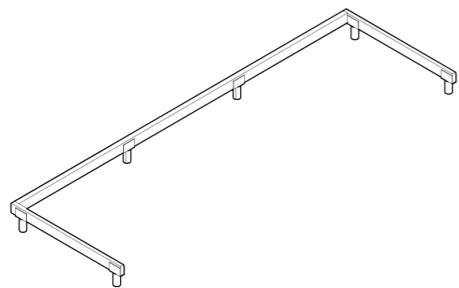


Fig.170. Travi in legno di fondazione fissati a punti di ancoraggio su pali a vite elicoidale. Fonte: <https://www.wikihouse.cc/guides/assembly>

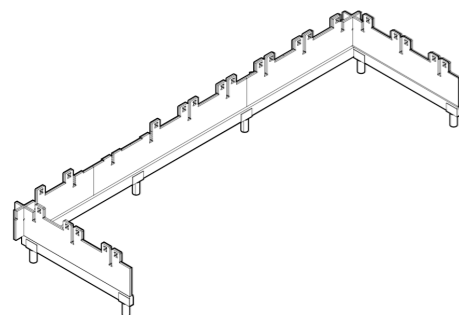


Fig.171. Posizionamento dei Combs fissate alle travi di fondazione tramite staffe in acciaio. Fonte: <https://www.wikihouse.cc/guides/assembly>

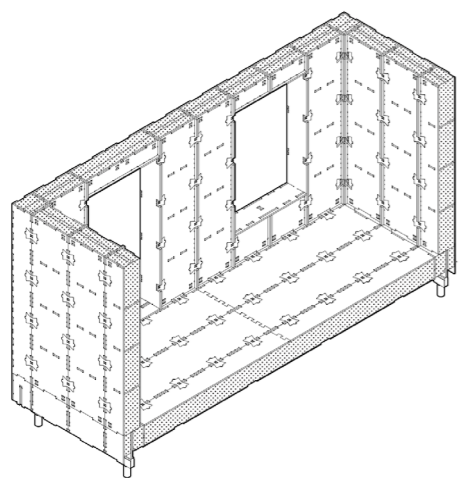


Fig.172. Solaio di base: Installazione dei blocchi FLOOR e END-Y. Pareti: Installazione su solaio di base dei WALL, dei blocchi angolari END Y e dei blocchi per porte e finestre. Fonte: <https://www.wikihouse.cc/guides/assembly>

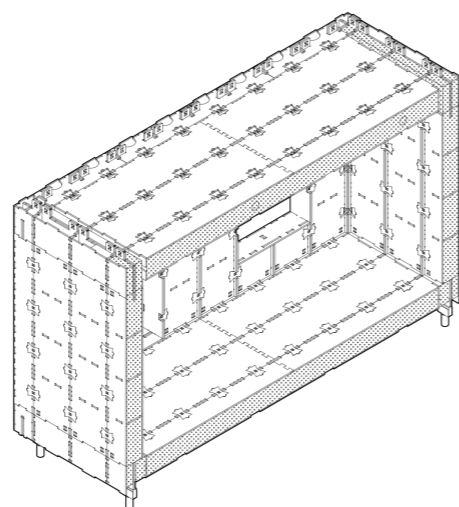


Fig.173. Installazione dei blocchi FLOOR-1 sui blocchi parete. Fonte: <https://www.wikihouse.cc/guides/assembly>

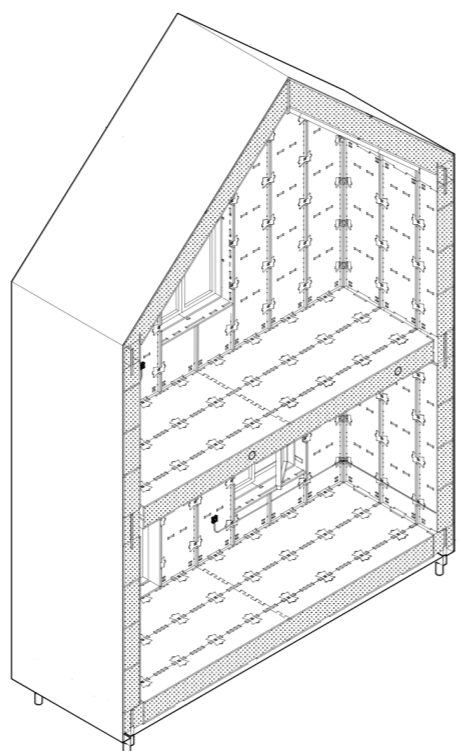


Fig.174. dopo aver assemblato il telaio è opportuno avvolgerlo in una membrana traspirante. Fonte: <https://www.wikihouse.cc/guides/assembly>

pesano circa 40-60 kg e possono essere trasportati da due persone (vedi fig.172). I piani intermedi sono composti dai blocchi FLOOR-1 (vedi fig.173), che hanno connessioni a farfalla per le pareti sottostanti e superiori, da fissare con le staffe standard, tra l'esterno e l'interno. Per sollevare i blocchi FLOOR, WikiHouse consiglia di utilizzare un'assistenza meccanica, come un Genie-lift con forchei, in alternativa, una gru HIAB o un carrello elevatore telescopico. Le pareti del piano superiore sono installate allo stesso modo delle pareti del piano terra. Per quanto riguarda il rivestimento della copertura invece, è possibile utilizzare praticamente qualsiasi tipo di materiale, tra cui tegole, pannelli ondulati, membrane o tetti verdi. Dopo aver assemblato il telaio, è consigliabile rivestirlo il prima possibile con una membrana traspirante.

Una volta concluso l'assemblaggio degli blocchi strutturali del sistema Skylark 250 o 200, si procederà con il completamento dell'abitazione attraverso l'inserimento della parte impiantistica e rivestimento dell'edificio, non fornite da WikiHouse.

La linearità e l'accuratezza del telaio rendono piuttosto semplice aggiungere o rimuovere pareti interne ovunque all'interno della struttura. Ciò offre ampio margine per modificare la disposizione interna dell'edificio nel corso di vita dell'abitazione, adattandola a diverse esigenze, inoltre, grazie alla precisione della struttura, per le finiture delle pareti interne sarà sufficiente carteggiare e stuccare le giunzioni prima di dipingerle, evitando la necessità di stuccare completamente le pareti. Le finestre compatibili con la struttura WikiHouse possono essere di diverse dimensioni. Sono com-

poste da doppio vetro con apertura verso l'interno. Le scale sono pre-assemblate e installabili tra due pareti di supporto e al solaio superiore, fissate con viti da applicare direttamente ai blocchi parete e solaio.²³

Realizzazioni

Non sono presenti delle abitazioni realizzate con il sistema Skylark ma, solo dei padiglioni o delle tinyhouse costruite nel giardino di casa. Le abitazioni prodotte fino all'anno attuale sono avvenute tutte con i sistemi costruttivi Wren e Swift. I progetti più rilevanti di WikiHouse consistono nella realizzazione di grandi complessi abitativi come il De stripmaker in Olanda e il The Gantry at Here East a Londra.

23. WikiHouse. (s.d.). Che cos'è WikiHouse. Recuperato da <https://www.wikihouse.cc/design/what-is-wikihouse>

Casi studio di realizzazioni

Wikipavillon, Milton Keynes, UK, 2022



Tipologia: Padiglione espositivo
Sistema costruttivo: Skylark 200

Wikipavillon, realizzato in 2 giorni, è uno dei primi progetti costruiti con il sistema Skylark 200, facile da montare e smontare, adatto a diverse posizioni all'interno della città.²⁴ Fu concepito come padiglione temporaneo, infatti, non prevede alcun rivestimento o sistema di impianto. La sua realizzazione è stata commissionata dal Consiglio di Milton Keynes e gestito da Pooleyville per celebrare il ricco patrimonio immobiliare pionieristico e progressista

24. WikiHouse. (n.d.). Progetti in evidenza: Wikipavillon. Recuperato da <https://www.wikihouse.cc/featured-projects/wikipavillon>

Fig.175. Padiglione Wikipavillon. Fonte: <https://www.wikihouse.cc/featured-projects/wikipavillon>

dal punto di vista ambientale della città di Milton Keynes.²⁵ Fu costruito preventivamente in un parco per poi essere smontato e rimontato dentro lo spazio espositivo dell'Archive-opia. Sulla pagina YouTube di Pulp Build, è disponibile un video²⁶, dove vengono riportate tutte le fasi di produzione ed autocostruzione del padiglione, riassunte nella pagina affianco.

25. Urban Fabric. (n.d.). Homepage. Recuperato da <https://urban-fabric.co.uk/>
26. PulpBuild. (n.d.). Example of Prefabricated House Construction. [Video]. YouTube. Retrieved from https://www.youtube.com/watch?v=tdYBML6VCMA&ab_channel=PulpBuild



Fig.176. Processo produttivo ed autocostruttivo del padiglione Wikipavillon: 1) Taglio dei blocchi Skylark tramite macchina CNC. 2) Pre-assemblaggio dei blocchi in fabbrica. 3) Trasporto dei blocchi pre-assemblati. 4) Assemblaggio blocchi solaio di base. 5) Fissaggio blocchi parete su solaio di base. 6) Fissaggio architrave su blocchi parete. 7) Assemblaggio blocchi copertura su blocchi parete ed architrave. 8) Completamento del padiglione con l'aggiunta di una porta a battente senza telaio. Fonte: fotogrammi da videoclip: https://www.youtube.com/watch?v=tdYBML6VCMA&ab_channel=PulpBuild

Farmhouse, Warwickshire, UK, 2017



Tipologia: Abitazione a 2 piani
Sistema costruttivo: Misto

Farmhouse è il primissimo progetto di una casa a due piani a basso costo realizzato utilizzando il sistema costruttivo WikiHouse. Questa abitazione è stata progettata tra il 2015 e il 2017 dallo studio "Architecture 00" con l'obiettivo di richiamare l'estetica di un fenile agricolo. La costruzione è stata gestita direttamente dai proprietari, che in soli 14 giorni hanno completato la parte strutturale, supportati dall'animazione computerizzata fornita da WikiHouse che faceva da guida per tutte le fasi costruttive.²⁷

27. WikiFarmHouse. (2015, agosto 5). Building a Plywood Farmhouse. Recuperato da <https://awikifarmhouse.wordpress.com/2015/08/05/building-a-plywood-farmhouse>

Fig.177. Progetto WikiHouse "Farmhouse". Fonte: <https://www.wikihouse.cc/featured-projects/farmhouse>

Le fondazioni, realizzate con travi rovesce, e il montaggio del sistema impiantistico sono stati gli unici aspetti del processo che hanno coinvolto professionisti esterni. La produzione dei componenti è avvenuta a Sheffield, a 130 km di distanza, per poi essere trasportati e stoccati in un garage temporaneo nella zona di cantiere.²⁸

28. Urban Francesco, Dalla fabbricazione digitale ai processi di prefabbricazione del progetto di architettura: Analisi degli scenari di innovazione e dei casi studio sperimentali [tesi di laurea magistrale]. Torino: Politecnico di Torino, 2020



Fig.178. Processo di autoconstruzione della struttura e delle finiture del progetto WikiHouse "Farmhouse": 1) Stoccaggio dei blocchi strutturali. 2) Costruzione delle fondazioni a travi rovesce. 3) Fissaggio dei blocchi pilastri su fondazioni. 4) Costruzione del piano terra a travi e pilastri. 5) Costruzione piano primo con copertura a doppia falda. 6) Tamponamento della struttura con pannelli di compensato e successiva impermeabilizzazione. 7) Fissaggio dei montanti per il rivestimento esterno 8) Applicazione rivestimento esterno. Fonte: <https://awikifarmhouse.wordpress.com/2015/08/05/building-a-plywood-farmhouse>

The Shelter, Kyiv, Ukraine, 2022



Fig.179. Abitazioni "The Shelter", WikiHouse. Fonte: <https://www.wikihouse.cc/featured-projects/the-shelter>



Fig.181. Portali strutturali WikiHouse dell'abitazione "The Shelter". Fonte: <https://www.wikihouse.cc/featured-projects/the-shelter>



Fig.180. Interni dell'abitazione "The Shelter". Fonte: <https://www.wikihouse.cc/featured-projects/the-shelter>

Tipologia: Abitazione espositiva

Sistema costruttivo: Swift (ipotizzato)

The Shelter è una piccola abitazione di 32mq progettata e realizzata per un evento di esposizione edilizia. La casa comprende un soggiorno con annessa cucina, un bagno e un soppalco con uno spazio per dormire. L'obiettivo del team di progetto è costruire piccole abitazioni simili a questa al fine di fornire rifugio alle famiglie sfolla-



Fig.182. Costruzione portali strutturali per abitazione "The Shelter". Fonte: <https://www.wikihouse.cc/featured-projects/the-shelter>

te a causa della guerra nell'est dell'Ucraina. Il progetto è stato realizzato dall'azienda ucraina IWHOME tramite l'utilizzo del sistema costruttivo Swift, anche se non si hanno dati certi.²⁹

29. WikiHouse. (n.d.). Progetti in evidenza: The Shelter. Recuperato da <https://www.wikihouse.cc/featured-projects/the-shelter>

De Stripmaker, Almere, Netherlands, 2021



Fig.183. Abitazioni realizzate nel progetto WikiHouse "De Stripmaker". Fonte: <https://www.wikihouse.cc/featured-projects/de-stripmaker>



Fig.184. Progetto WikiHouse "De Stripmaker". Fonte: <https://www.wikihouse.cc/featured-projects/de-stripmaker>

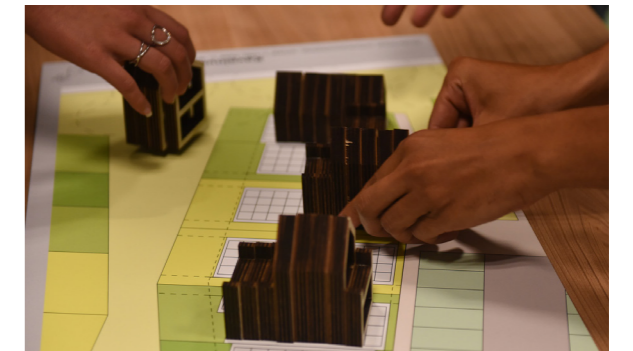


Fig.185. Moduli abitativi da comporre per progettare un abitazione del progetto WikiHouse "De Stripmaker". Fonte: <https://wikihousenl.cc/portfolio-item/destripmaker/>

Tipologia: Quartiere residenziale

Sistema costruttivo: Swift

Nel 2017, Het Woningbouwatelier ha introdotto il primo quartiere WikiHouse al mondo, facente parte del progetto europeo H4.OE³⁰ e costruito attraverso il sistema WikiHouse Swift. Woningbouw Atelier ha suddiviso il sito in lotti singoli, offrendo agli abitanti la possibilità di progettare e autocostruire le proprie case utilizzando

30. Housing 4.0 Energy. (n.d.). The Building of WikiHouse De Stripmaker (NL) Has Begun. Retrieved November 30, 2023, from <https://vb.nweurope.eu/projects/project-search/h40e-housing-40-energy/news/the-building-of-wikihouse-de-stripmaker-nl-has-begun/>

una serie di moduli abitativi da comporre. La partecipazione al progetto richiedeva un reddito massimo di 45.000€ e la condizione di non possedere l'abitazione, ma di essere in affitto. La costruzione delle 28 abitazioni è pianificata in due fasi separate, contribuendo a favorire l'espansione graduale del concetto WikiHouse nei Paesi Bassi.³¹

31. WikiHouse Nederland. (s.d.). De Stripmaker. Recuperato il 30 novembre 2023, da <https://wikihousenl.cc/portfolio-item/destripmaker/>



4.3 Blokiwood

Anno

2012

Luogo

Francia

Fondatore

Joel Menard

Brevetto

Numero 3861268. Depositato nel registro elettronico di Parigi nel 2011. Scadenza 2031

Tipologia del sistema costruttivo

Personalizzabile con blocchi strutturali cavi in legno e travi e pilastri in legno

Materiali/Componenti

- . Pannelli di OSB da 18mm e da 12mm
- . Pannelli di legno ibrido RWH da 16mm
- . Travi e pilastri in legno lamellare

Processo produttivo

Produzione aziendale. Sistema non specificato

Tipologia di connessione

A secco tramite viti e chiodi in acciaio

Realizzazione e diffusione commerciale

Francia, Belgio e Paesi Bassi



Riferimento immagine pagina a sinistra:

Fig.186. Assemblaggio struttura portante del sistema Boliwood. Fotogramma 3:10 del video Vimeo "Tuto BLOKIWOOD : montage d'un mur": <https://vimeo.com/225819517>

Mappa:

Fig.187. Mappa diffusione sistema Blokiwood. Rielaborazione propria della fonte: <https://blokiwood.fr/>

Descrizione del sistema

Guidata da Joël Menard, l'azienda di produttori di componenti per l'edilizia Dom'Innov, ha ideato Blokiwood nel 2012 per affrontare le sfide di accessibilità del sito e garantire un'implementazione agevole, rispettando le scadenze e adattandosi ai cambiamenti normativi termici e ambientali. Questo sistema rappresenta una soluzione per la costruzione di edifici prefabbricati personalizzati e a basso consumo energetico, utilizzando componenti scatolari portanti (vedi fig.188) realizzati con materiali a basse emissioni di carbonio di origine biologica. Blokiwood offre un approccio costruttivo semplice e di alta qualità, adattabile a una vasta gamma di progetti e facilmente realizzabile grazie alle linee guida fornite. Dom'Innov fornisce il kit abitativo e le relative linee guida, ma non si occupa dell'assemblaggio, lasciando al cliente l'opzione di realizzare la costruzione assistita o tramite imprese edili, con attenzione alle diverse complessità e alle normative locali. In questo contesto, Blokiwood si propone come anticipatore della transizione verso edifici a basse emissioni di carbonio, in linea con il RE2020, promuovendo salute, efficienza e comfort abitativo attraverso le proprie soluzioni che rispettano gli obiettivi della normativa RE2020.¹

La certificazione ATEx, garanzia di innovazione, riconosce e promuove l'efficacia del sistema Blokiwood. Inoltre, il sistema ha ricevuto importanti riconoscimenti, come il Label Solar Impulse Foundation e il Prix Jean Paul Lanly, per la sua valorizzazione

1. Blokiwood. (2023). Blokiwood. <https://blokiwood.fr/blokiwood/> (accesso il 13 dicembre 2023)

del legno francese.²

Approccio

L'approccio innovativo di Blokiwood si concentra sulla realizzazione di un kit abitativo per la costruzione di abitazioni in legno, progettato per essere assemblato autonomamente in modo assistito o tramite imprese di costruzione seguendo le linee guida fornite dall'impresa Dom'Innov. Questa metodologia si traduce nella produzione di componenti leggeri, come il blocco parete di 60 kg, adattabile a una vasta gamma di stili abitativi, dalle residenze ultramoderne ai chalet di montagna. La costruzione con Blokiwood permette un'implementazione veloce ed ecologica, evitando i tempi di asciugatura grazie alle connessioni a secco con viti e bulloni e riducendo i rifiuti con la prefabbricazione dei componenti, adottando un sistema off-site innovativo che affronta con successo le sfide di velocità, semplicità, accessibilità e adattabilità architettonica.³

Servizi

L'azienda Blokiwood offre un servizio completo e personalizzato, con un ufficio di progettazione dedicato che esegue lo studio tecnico, dimensiona gli elementi e produce i piani di realizzazione per garantire un corretto avanzamento della costruzione

2. Blokiwood. (2023). FAQ. <https://blokiwood.fr/faq/> (accesso il 13 dicembre 2023)

3. Blokiwood. (2023). Blokiwood. <https://blokiwood.fr/blokiwood/> (accesso il 13 dicembre 2023)

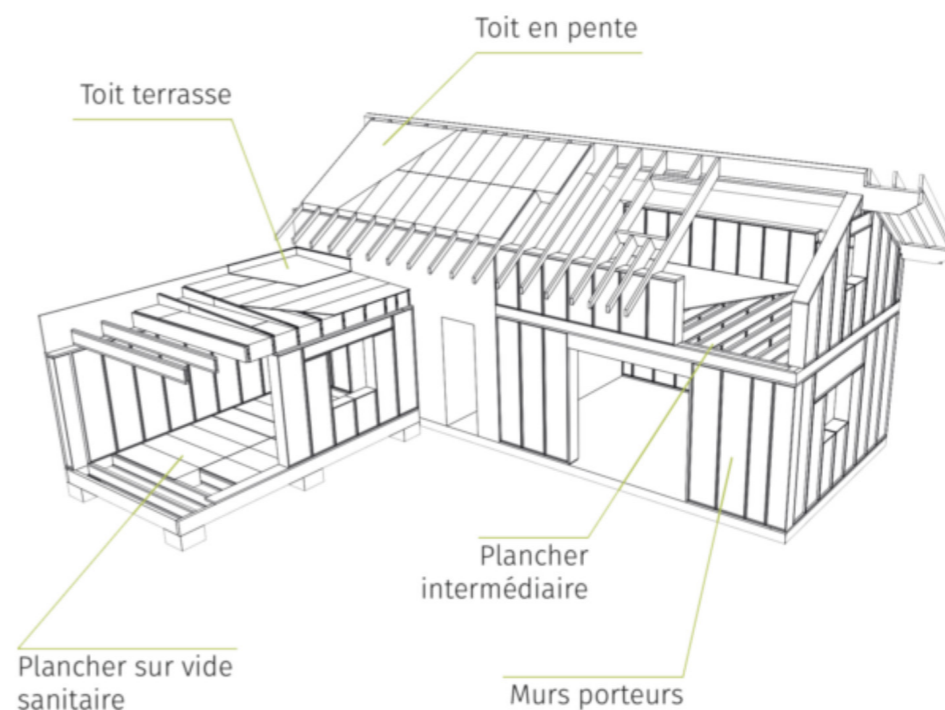


Fig.188. Sistema costruttivo Blokiwood. Fonte: <https://blokiwood.fr/nos-produits/>

in cantiere.⁴ Questa metodologia permette di semplificare il processo costruttivo, fornendo una soluzione chiavi in mano che risolve problemi di approvvigionamento da più fornitori. Offrendo una gamma completa di elementi prefabbricati, Blokiwood facilita la realizzazione di strutture preisolate eliminando la complessità derivante dalla gestione di diversi fornitori ed evitando i rischi di bloccare il cantiere⁵.

Blokiwood fornisce consigli e guide (vedi fig.189) per la pianificazione e la progettazione delle abitazioni, suddividendo il processo in sei fasi chiave: finanziamento, scelta del terreno, progettazione dei piani, deposito del permesso di costruire, progett-

4. Blokiwood. (2023). Fabricant Ossature Bois. <https://blokiwood.fr/fabricant-ossature-bois>

5. Blokiwood. (2023). Gagnez du temps sur vos chantiers. <https://blokiwood.fr/gagnez-du-temps-sur-vos-chantiers/>

tazione con il sistema Blokiwood e, infine, costruzione dell'abitazione⁶.

Per garantire la qualità del prodotto, Blokiwood sottopone il proprio sistema a rigorosi controlli di qualità, dalla ricezione delle materie prime all'inizio del cantiere. Questi controlli includono prove sull'incollaggio, effettuate ogni mezza giornata di produzione, ed ispezioni regolari da parte di enti di certificazione come il FCBA⁷.

Costi

Blokiwood non fornisce un costo specifico per il sistema proposto, ma evidenzia che il costo totale è principalmente influenzato dalle finiture e dagli impianti elettrici e

6. Blokiwood. (2023). Particuliers. <https://blokiwood.fr/particuliers/>

7. Blokiwood. (2023). Blokiwood. <https://blokiwood.fr/blokiwood/>

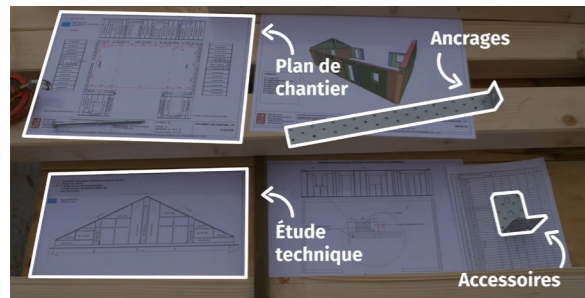


Fig.189. Disegni tecnici e guide per la costruzione di un'abitazione con il sistema Blokiwood. https://www.youtube.com/watch?v=bDmSSf8zrSA&t=115s&ab_channel=Blokiwood



Fig.190. Progetto senza nome realizzato da Blokiwood a 2 piani con possibile tetto a mansarda. Fonte: <https://blokiwood.fr/departements/maison-bois-savoie-sur-mesure/maison-bois-novalaise/>



Fig.191. Progetto "Une maison individuelle en Isère", Blokiwood. Fonte videoclip: https://www.youtube.com/watch?v=2znN5AM-61Po&t=6s&ab_channel=Blokiwood

idraulici, con l'uso della struttura in legno di Blokiwood che contribuisce in modo significativo al contenimento dei costi complessivi dei materiali.⁸

Tipologie abitative

Nonostante non ci siano informazioni specifiche nelle fonti analizzate riguardo al sistema di costruzione Blokiwood, l'analisi dei progetti realizzati consultabili sul sito web⁹, inclusi due casi illustrati nelle figure 190 e 191, suggerisce che il numero massimo di piani costruibili potrebbe essere limitato a due, con la possibilità di realizzare un tetto mansardato.

Impatto ambientale del sistema

I blocchi strutturali in legno del sistema Blokiwood sono fabbricati esclusivamente con materiali provenienti da foreste gestite in modo sostenibile, certificate PEFC o FSC, confermando l'impegno del sistema nei confronti di pratiche ambientali responsabili e della conservazione delle risorse forestali.¹⁰ Inoltre, l'impatto positivo sull'ambiente attribuibile al sistema Blokiwood il sistema è riconosciuto dal riconoscimento dall'ottenimento dell'etichetta "Solar Impulse Efficient Solution". Questa designazione è il risultato di una valutazione condotta da esperti esterni indipendenti, basata su rigorosi standard verificati, sostenuta da Solar Impulse, un'iniziativa che mira a selezionare soluzioni che soddisfino elevati standard di redditività e sostenibili-

8. Blokiwood. (2023). FAQ. <https://blokiwood.fr/faq/>

9. Blokiwood. (n.d.). Réalisations. Recupéré sur <https://blokiwood.fr/realisations>

10. Blokiwood. (n.d.). FAQ. Recupéré da <https://blokiwood.fr/faq/>

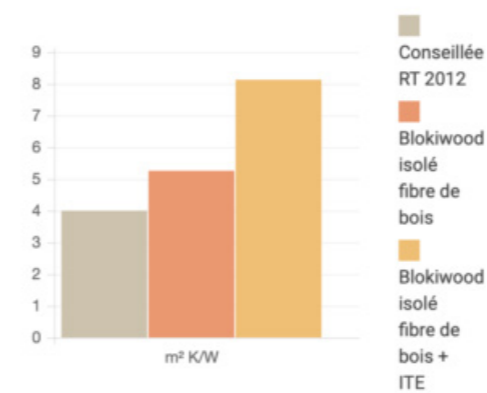


Fig.192. Resistenza termica delle abitazioni Blokiwood rispetto alla normativa R2012. Fonte: <https://blokiwood.fr/les-performances-blokiwood/>

tà affrontando le sfide di fattibilità, impatto ambientale e rendimento economico¹¹.

Prestazioni del sistema

Il sistema di blocchi parete modulari Blokiwood presenta una notevole efficienza termica, con una resistenza termica di $R=5,26 \text{ m}^2\text{K/W}$ e una trasmittanza di $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$, superando gli standard richiesti dalla normativa termica RE 2020 di $0,36 \text{ W/m}^2\text{K}$ (vedi fig.192). Per potenziare ulteriormente la resistenza termica, è possibile aggiungere un pannello in fibra di legno spesso 40 mm nelle "alette" esterne e/o interne del blocco, portandola a $R=6,1 \text{ m}^2\text{K/W}$. Questo miglioramento prestazionale non comporta un aumento dello spessore totale della parete, che rimane costantemente a 300 mm. Inoltre, è possibile implementare l'isolamento termico esterno (ITE) per ulteriori benefici.¹²

11. Blokiwood. (n.d.). Fabricant ossature bois. Recupéré da <https://blokiwood.fr/fabricant-ossature-bois>

12. Dom'inno (2023) Fiche technique [File PDF], BLOKIWOOD LA MAISON BOIS BASSE CONSOMMATION, pag. 2 di 2, Estratto da <https://blokiwood.fr/fiches-techniques-blokiwood/>

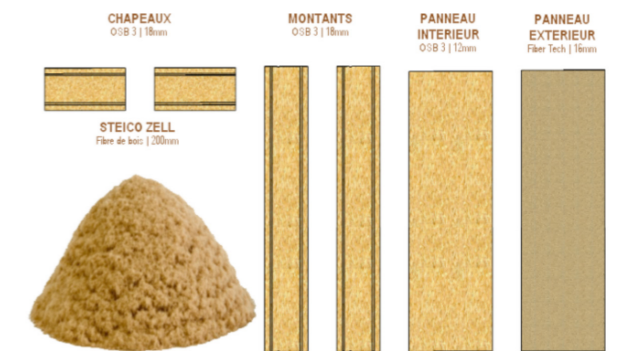


Fig.193. Materiali che compongono un blocco scatolare parete e solaio Blokiwood. Fonte: <https://blokiwood.fr/les-performances-blokiwood/>

I blocchi Blokiwood presentano una resistenza al fuoco di classe REI 45 (o CF 45), garantendo una resistenza al fuoco di 45 minuti (superiore ai 30 minuti richiesti per l'isolamento in fibra di legno, con una trasmittanza di $0,038 \text{ W/m}^2\text{K}$, assicura un comfort termico estivo ottimale, con uno sfasamento termico di 8:50.¹³

Materiali

Il sistema Blokiwood fa ampio uso di diversi materiali per i suoi componenti strutturali (vedi fig. 193):

Per travi e pilastri viene utilizzato il **legno lamellare**.

Per i blocchi strutturali per pareti e soffitti sono costituiti da **pannelli OSB** (Oriented Strand Board) da 18 mm per montanti longitudinali e trasversali, da 12 mm per il pannello interno del blocco, e **legno ibrido RWH** (Resin Wood Hybrid)¹⁴ da 16 mm per

13. Blokiwood. (s.d.). Les performances. Blokiwood. Recupéré da <https://blokiwood.fr/les-performances-blokiwood/>

14. Dom'inno (2023) Fiche technique [File PDF], Blokiwood la maison bois basse consommation, pag. 2 di 2, Estratto da <https://blokiwood.fr/fiches-techniques-blokiwood/>

Sistema costruttivo delle pareti portanti esterne ed interne

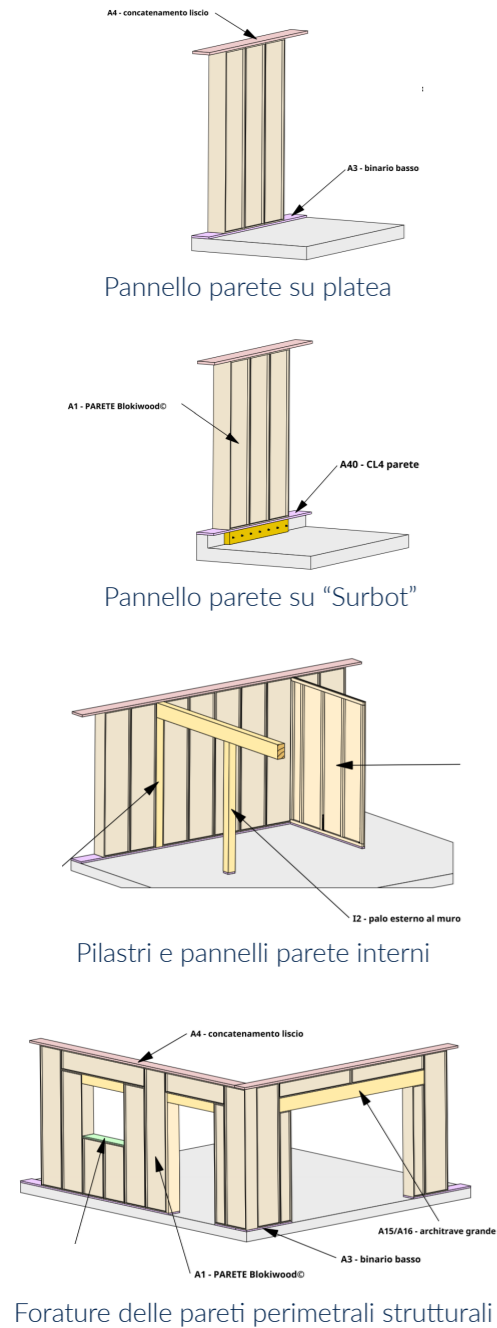


Fig.194. Sistema costruttivo Blokiwood delle pareti strutturali perimetrali ed interne. Fonte: Dom'inno (n.d.) Principes de pose [File PDF], Blokiwood la maison bois basse consommation, pagine 1 e 2 di 9, Estrato da <https://blokiwood.fr/fiches-techniques-blokiwood/>

il pannello esterno. L'anima del blocco è composta da fibra di legno "Steico Zell", insufflata all'interno del blocco in un'intercapedine spessa 200 mm. Questo isolante non emette composti organici volatili (VOC), formaldeide o metalli pesanti all'interno dell'abitazione, anche sotto l'azione del calore.

Il pannello di supporto tra il solaio di fondazione e il blocco parete è realizzato con legno compensato di classe CL3B. Questa categoria indica che il legno non è idoneo al contatto diretto con il terreno, ma può sopportare periodi di umidità frequente, sebbene non in modo continuativo.¹⁵

Il sistema di connessione tra i blocchi avviene mediante viti in acciaio per da legno ponendo una striscia in PVC applicato su 3 lati in una scanalatura apposita che fanno da cuscinetto.

Per quanto riguarda i rivestimenti, vengono impiegati materiali tradizionali come cartongesso, fermacell e pannelli compositi.¹⁶

Sistema costruttivo

Il sistema costruttivo Blokiwood, ideato da Dom'Innov, si basa sull'assemblaggio di diversi componenti strutturali, tra cui dei componenti scatolari isolati mediante insufflaggio, per pareti e solai di base, interpiano e coperture (con quest'ultimi temporaneamente fuori produzione¹⁷), oltre a fondazioni sollevate tramite plinti su una struttura a travi interposte, costu-

15. Wooddesign.fr (n.d.), *Classes d'emploi* [file PDF] pag 2 di 2. Recuperato da https://www.wooddesign.fr/edit/classes_d_emploi.pdf
 16. Blokiwood. (n.d.). *Architecture et conception sans contrainte*. Recuperato da <https://blokiwood.fr/espace-pro/architecture-et-conception-sans-contrainte/>
 17. Blokiwood. (2023). *Toitures*. <https://blokiwood.fr/nos-produits/toitures/> (accesso il 13 dicembre 2023)

Sistema costruttivo del solaio di base, d'interpiano e di copertura

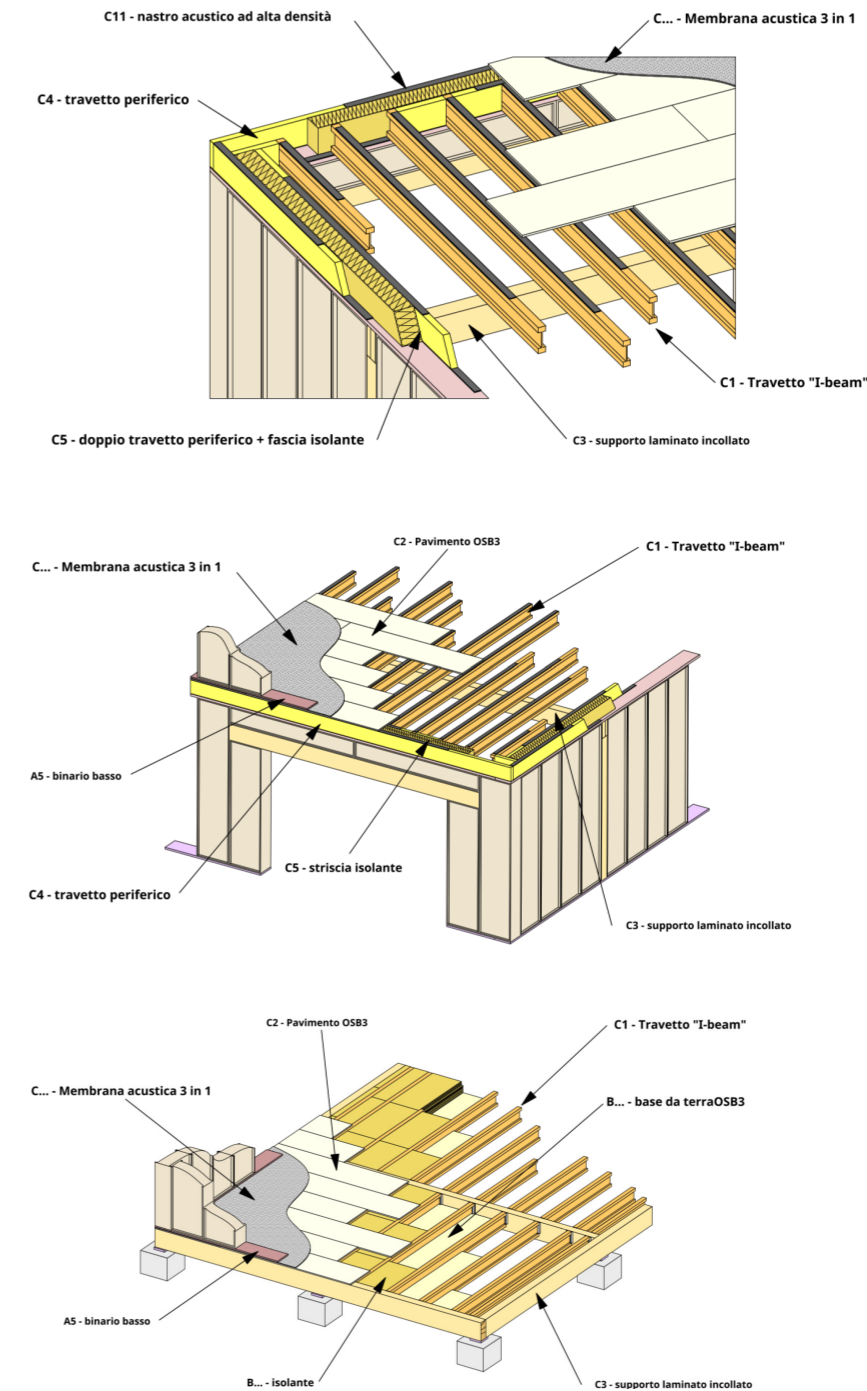


Fig.195. Sistema costruttivo Blokiwood del solaio di base, solaio d'interpiano e solaio di copertura. Fonte: Dom'inno (n.d.) Principes de pose [File PDF], Blokiwood la maison bois basse consommation, pagine 4 e 9 di 9, Estrato da <https://blokiwood.fr/fiches-techniques-blokiwood/>

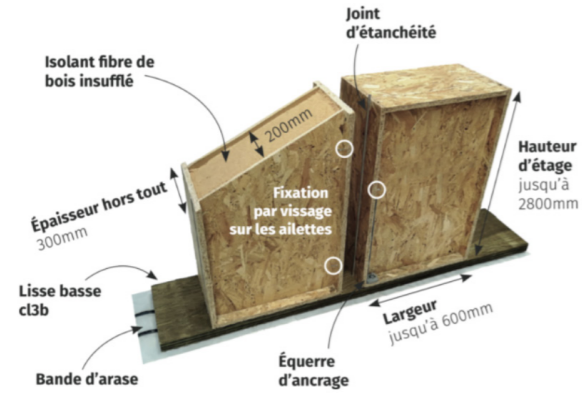


Fig.196. Blocco parete Blokiwood. Fonte: <https://blokiwood.fr/nos-produits/murs/>



Fig.197. Struttura a telaio tradizionale per tetti a doppia falda dei progetti Blokiwood. Fonte: <https://blokiwood.fr/nos-produits/toitures/>



Fig.198. Telaio strutturale della copertura a traliccio per tetti a doppia falda dei progetti Blokiwood. Fonte: <https://blokiwood.fr/nos-produits/toitures/>



Fig.199. Travi prefabbricate "POSI" per tetti piani dei progetti Blokiwood. Fonte: <https://blokiwood.fr/nos-produits/toitures/>

tuendo in questo modo un kit di componenti da assemblare manualmente grazie alla leggerezza dei componenti che, per il componente parete per esempio, hanno un peso di 60 Kg. L'implementazione di tali elementi strutturali, insieme agli elementi impiantistici e di rivestimento, rende possibile la realizzazione di varie tipologie di costruzioni.

L'assemblaggio di questi elementi può essere eseguita sia da professionisti qualificati che dai clienti stessi, previa formazione specifica e l'uso dei manuali forniti dall'azienda, che guidano il costruttore attraverso tutte le fasi di assemblaggio. Blokiwood, oltre alle guide di assemblaggio fornisce l'elenco di utensili necessari per la corretta applicazione del sistema (una livella laser, un mirino, un doppio metro a nastro, due morsetti, due cavalletti e pochi altri strumenti) specificando che in alcuni casi potrebbe essere necessario il noleggio di macchinari per il sollevamento degli elementi strutturali.¹⁸

Componenti

Il sistema costruttivo "Blokiwood" rappresenta un'innovativa soluzione che offre flessibilità e sostenibilità nella realizzazione di edifici. Composto da diverse componenti strutturali e non strutturali, Blokiwood si adatta alle diverse esigenze architettoniche grazie ad una vasta offerta di componenti strutturali.

Blocchi Parete:

I blocchi parete realizzati con pannelli di

18. Blokiwood. (n.d.). Maison Bois Kit. Blokiwood. <https://blokiwood.fr/maison-bois-kit/>

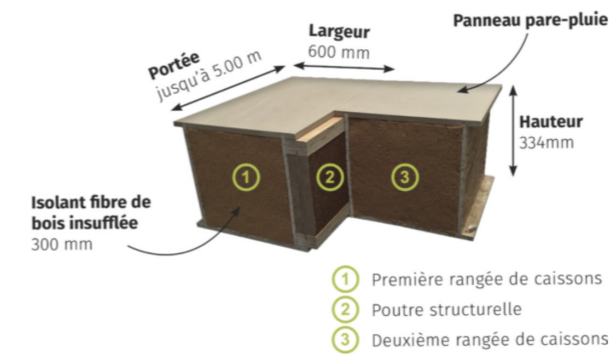


Fig.200. Elementi che compongono un blocco tetto Blokiwood. Fonte: <https://blokiwood.fr/nos-produits/toitures/>



Fig.201. Assemblaggio di un blocco tetto Blokiwood su travi ad I. Fonte: <https://blokiwood.fr/nos-produits/toitures/>

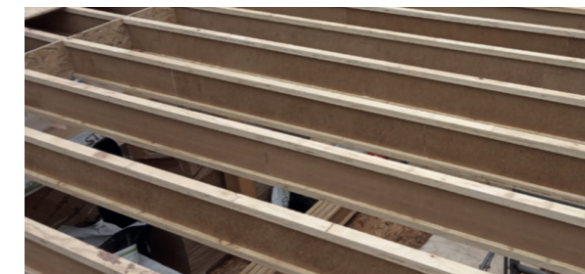


Fig.202. Travi ad I per i solai di copertura ed interpiano del sistema Blokiwood. Fonte: <https://blokiwood.fr/nos-produits/toitures/>



Fig.203. Pannelli in legno lamellare con scanalature per l'accoppiamento del sistema Blokiwood. Fonte: <https://blokiwood.fr/nos-produits/toitures/>

OSB e pannelli di legno ibrido RWH hanno un'altezza massima di 2,8m 60 cm in larghezza e 30 cm di spessore, con 200mm di isolante interno (vedi fig.196) insufflato in fabbrica. La facilità di movimentazione è garantita dal peso massimo di 60kg e dalla presenza di blocchi parete con dimensioni variabili.¹⁹

Solaio di copertura:

- Il tetto di un'abitazione può essere: piano, a falda unica o a doppia falda. Per ogni tipologia di tetti, i materiali ed i componenti variano:²⁰
- Per i **tetti tradizionali a doppia falda**, viene proposto un sistema a travi e pilastri in legno lamellare tradizionale pretagliati nel loro stabilimento (vedi fig.197).
- Per **tetti a doppia falda con struttura a traliccio**, verrà applicata un struttura pretagliata che velocizza i tempi di applicazione (vedi fig.198).
- Per **copertura a tetto piano** vengono utilizzate le travi prefabbricate POSI composte da travi in legno e telai metallici le quali consentono luci fino a 14m senza supporti intermedi e facilità l'installazione di impianti elettrici, condotti di ventilazione e altri servizi senza l'applicazione di perforazioni (vedi fig.199).
- Per i **tetti a blocchi coibentati**, vengono impiegati blocchi strutturali simili a quelli utilizzati per le pareti, ma con uno spessore di 334 mm e un isolante interno di 300 mm (vedi fig.200). Seppur at-

19. Blokiwood. (n.d.). Nos Produits - Murs. Blokiwood. <https://blokiwood.fr/nos-produits/murs/>

20. Blokiwood. (s.d.). Nos Produits - Toitures. Blokiwood. <https://blokiwood.fr/nos-produits/toitures/>



Fig.204. Struttura del solaio di fondazione Blokiwood su pali avvitati a terra. Fonte: <https://blokiwood.fr/nos-produits/dalles/>

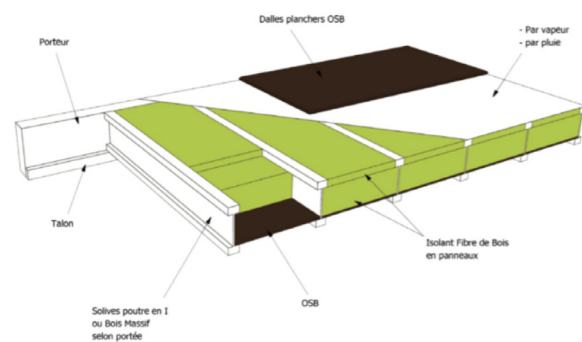


Fig.205. Elementi che compongono un solaio di fondazione Blokiwood. Fonte: <https://blokiwood.fr/nos-produits/dalles/>



Fig.206. Blocco tapparella coibentato simile ai blocchi parete Blokiwood. Fonte: Dom'inno (2023) RE 2020 Comment être conforme à la nouvelle réglementation [File PDF], Blokiwood la maison bois basse consommation, pag. 3 di 6, Estratto da <https://blokiwood.fr/fiches-techniques-blokiwood/>

tualmente si sia sospesa la produzione, si possono applicare per la costruzioni di tetti piani e tetti a spiovente inseriti tra travi pretagliate (vedi fig.201).

- Per i **tetti piani** vengono utilizzate delle travi ad I prefabbricate. La campata massima può essere di 7 metri (vedi fig.202).
- Per i **tetti a spiovente**, come per i tetti piani, i blocchi tetto sono posti tra la struttura portante che, in questo caso, sarà composto da travi tradizionali in legno lamellare, consentendo una luce massima di 6m, se non si prevedono delle capriate.

Solaio d'interpiano:

Come per i tetti, i solai d'interpiano possono essere realizzati tramite 3 sistemi costruttivi differenti:²¹

- **Solaio d'interpiano con travi ad I:** struttura pretagliata con campate di massimo 7m;
- **Pannelli in legno lamellare:** I pannelli, larghi 600 mm e spessi tra 100 e 140 mm, permettono aperture fino a 6 metri e sono dotati di incisioni per agevolare l'accoppiamento e l'incollaggio (vedi fig.203).
- **Travi prefabbricate POSI:** luci fino a 14m senza supporti intermedi. Facilità il passaggio degli impianti senza prefare.

Fondazioni:

Il solaio di base proposto da Blokiwood è costituito da una struttura in legno sollevata da terra ed appoggiata a dei basamenti

21. Blokiwood. (n.d.). Nos Produits - Planchers. Blokiwood. <https://blokiwood.fr/nos-produits/planchers/>

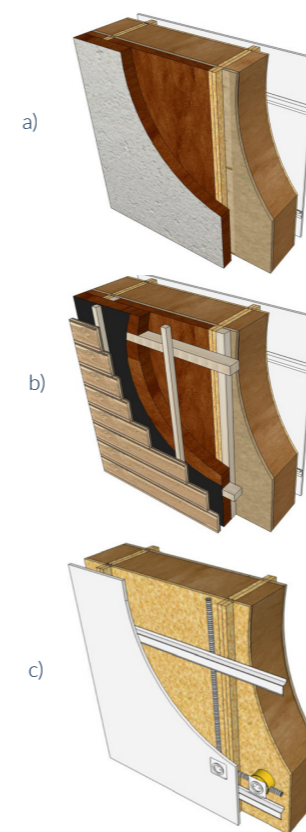


Fig.207. Soluzioni di rivestimenti esterni: a) 40-60mm di rivestimento in fibra di legno con successiva intonacatura, b) facciata a pannelli su una struttura lignea interposta allo strato isolante. Soluzioni di rivestimenti interni: c) Montanti longitudinali applicati ai blocchi parete e successivo inserimento dei pannelli di rivestimento. Fonte: <https://blokiwood.fr/les-solutions-de-parement/>

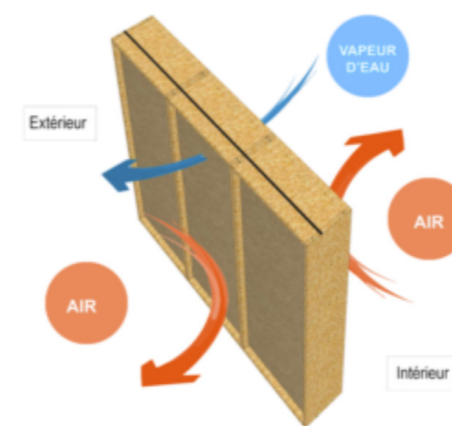


Fig.208. Schema sull'impermeabilizzazione delle pareti del sistema Blokiwood. Fonte: <https://blokiwood.fr/les-performances-blokiwood/>

in CA, ad una platea o a dei pali avvitati a terra, composta da travi secondarie a I e travi principali in legno lamellare.²²

Solaio di base:

Il solaio di base è costituito da travi in legno lamellare principali e travi ad I secondarie. Tra le travi ad I vengono inseriti i blocchi solai preassemblati o gli elementi separatamente (vedi fig.205).²³

Rivestimenti:

Nei blocchi parete è possibile applicare un rivestimento esterno in fibra di legno da 40-60mm con successiva intonacatura o con l'applicazione di una facciata a pannelli su una struttura lignea interposta allo strato isolante esterno, oppure un rivestimento interno tramite l'applicazione di montanti longitudinali di sostegno ai pannelli di rivestimento (vedi fig.207).²⁴

Impermeabilizzazione:

I blocchi Blokiwood, già precoibentati in fabbrica, offrono prestazioni ottimali. Il giunto di compressione tra i blocchi assicura una tenuta impeccabile della parete senza l'uso di adesivi o mastici. Per conformarsi agli standard Q4 della RE2020, i blocchi Blokiwood ottengono un valore di impermeabilizzazione di 0,35 m³/h/m², al di sotto del requisito di 0,6 m³/h/m².²⁵

22. Blokiwood. (n.d.). Nos Produits - Dalles. Blokiwood. <https://blokiwood.fr/nos-produits/dalles/>

23. Blokiwood. (n.d.). Nos Produits - Dalles. Blokiwood. <https://blokiwood.fr/nos-produits/dalles/>

24. Blokiwood. (n.d.). Les Solutions de Parement. Blokiwood. <https://blokiwood.fr/les-solutions-de-parement/>

25. Blokiwood (2023). RE 2020 Comment être conforme à la nouvelle réglementation [File PDF], Blokiwood la maison bois basse consommation, pag. 6 di 6. Estratto da <https://blokiwood.fr/fiches-techniques-blokiwood/>

Impianti:

Il sistema Blokiwood offre un sistema impiantistico di ventilazione VMC, in particolare quelli a doppio flusso che offrono l'ottimizzazione energetica per il riscaldamento e il raffreddamento delle case.²⁶

Tempi di costruzione

Blokiwood dichiara che con il loro sistema, un team di tre persone può completare la costruzione di una casa di 100 metri quadrati entro un periodo di soli due giorni.²⁷

Produzione del sistema

La produzione dei blocchi scatolari e della maggior parte dei materiali strutturali del sistema avviene nella fabbrica Blokiwood, situata nelle vicinanze di Grenoble, in Francia. Sebbene l'azienda non fornisca dichiarazioni esplicite, l'approccio produttivo del sistema sembra adottare la fabbricazione in linea dei componenti modulari che costituiranno i blocchi scatolari parete. Considerando la mancanza di forme complesse, si potrebbe dedurre che l'azienda non utilizzi macchinari CNC, ma piuttosto macchine dotate di taglio a lama. Tale approccio richiama il concetto di progettazione per la fabbricazione e l'assemblaggio dei sistemi produttivi DfMA.

Progettazione

26. Dom'inno (2023) RE 2020 Comment être conforme à la nouvelle réglementation [File PDF], Blokiwood la maison bois basse consommation, pag. 6 di 6, Estrato da <https://blokiwood.fr/fiches-techniques-blokiwood/>
27. Blokiwood. (2023). Fabricant Ossature Bois. <https://blokiwood.fr/fabricant-ossature->

L'ufficio di progettazione dell'azienda supporta la progettazione di abitazioni con il sistema Blokiwood, creando nuovi progetti o adattando i piani forniti dal cliente. Il dimensionamento della struttura, in base alla complessità del progetto, può essere gestito internamente o con la collaborazione di professionisti esterni. Durante la fase progettuale, vengono pianificate le fasi di assemblaggio della struttura, e queste guide dettagliate sono messe a disposizione del cliente.²⁸

Realizzazioni

Dom'Innov ha realizzato svariati progetti utilizzando il sistema Blokiwood. La mappa, disponibile nelle pagine iniziali del caso studio Blokiwood, evidenzia la distribuzione predominante dei progetti in Francia, con alcune realizzazioni anche in Belgio e nei Paesi Bassi. Le abitazioni prodotte attraverso il sistema Blokiwood comprendono "chalet, maison traditionnelle, maison contemporaine e architecture régionale"²⁹ esposti nelle pagine successive. Si procede presentando un caso studio per ciascuna tipologia abitativa realizzata dall'azienda, ad eccezione della tipologia "architecture régionale" vista la struttura progettuale simile alla fusione delle abitazioni tipologiche maison traditionnelle e maison contemporaine. Tuttavia, a causa delle limitate informazioni disponibili sulla costruzione delle abitazioni, si avrà una predominanza di immagini.

28. Blokiwood. (n.d.). Gagnez du temps sur vos chantiers. Recuperato da <https://blokiwood.fr/gagnez-du-temps-sur-vos-chantiers/>
29. Blokiwood. (n.d.). Réalisations. Recuperato da <https://blokiwood.fr/realisations/>

Casi studio di realizzazioni**Maison individuelle en Isère, Isère, Francia**

Fig.209. Progetto "Maison individuelle en Isère", Blokiwood. Fonte videoclip: https://www.youtube.com/watch?v=2znN5AM-61Po&t=6s&ab_channel=Blokiwood



Fig.210. Interni del progetto "Maison individuelle en Isère", Blokiwood. Fonte videoclip: https://www.youtube.com/watch?v=2znN5AM61Po&t=6s&ab_channel=Blokiwood

Tipologia: Chalet

L'abitazione di Valentin realizzata tramite l'utilizzo del sistema Blokiwood situata a St Martin d'Uriage (38), è dotata di ampie vetrate, esposta a sud con un ampio terrazzo ed un piccolo giardino.³⁰

30. Blokiwood. (s.d.). Maison bois à St Martin d'Uriage. Recuperato da <https://blokiwood.fr/departements/votre-maison-bois-en-isere/maison-bois-a-st-martin-duriage/>



Fig.211. Sistema strutturale piano terra e primo piano di "Maison individuelle en Isère". Fonte videoclip: https://www.youtube.com/watch?v=2znN5AM61Po&t=6s&ab_channel=Blokiwood



Fig.212. Blocchi parete ed architravi Blokiwood del piano terra. Fonte videoclip: https://www.youtube.com/watch?v=2znN5AM-61Po&t=6s&ab_channel=Blokiwood



Fig.213. Disposizione dei blocchi parete Blokiwood. Fonte videoclip: https://www.youtube.com/watch?v=2znN5AM-61Po&t=6s&ab_channel=Blokiwood

Maison ossature bois dans le puy de dôme, Maringues, Francia, 2020



Fig.214. Progetto "Maison ossature bois dans le puy de dôme", costruito con il sistema Blokiwood. Fonte: <https://blokiwood.fr/departements/construction-maison-ossature-bois-puy-de-dome/maison-ossature-bois-a-maringues/>



Fig.216. Sistema costruttivo Blokiwood del piano terra e primo piano del progetto "Maison ossature bois dans le puy de dôme". Fonte: <https://blokiwood.fr/departements/construction-maison-ossature-bois-puy-de-dome/maison-ossature-bois-a-maringues/>



Fig.215. Interni del progetto Blokiwood "Maison ossature bois dans le puy de dôme". Fonte: <https://blokiwood.fr/departements/construction-maison-ossature-bois-puy-de-dome/maison-ossature-bois-a-maringues/>



Fig.217. Sistema costruttivo Blokiwood del piano terra del progetto "Maison ossature bois dans le puy de dôme". Fonte: <https://blokiwood.fr/departements/construction-maison-ossature-bois-puy-de-dome/maison-ossature-bois-a-maringues/>

Tipologia: Masion traditionnelle

La residenza "Maison ossature bois dans le puy de dôme", di 200 mq, è stata costruita basandosi sul progetto originale del falegname Alban Baudry e successivamente adattata al sistema Blokiwood da Dom'Innov.. Nel videoclip³¹, Alban afferma: "Le

confort y est inégalé, il n'y a pas d'humidité ambiante, l'air y est sain", sottolineando uno dei principali vantaggi del Blokiwood: l'assenza di umidità. Il progetto comprende ampie vetrate, uno spazioso interno e una vasta terrazza, tutti affacciati su un giardino esterno.

31. Blokiwood. (s.d.). Maison bois à St Martin d'Uriage. Recuperato da <https://blokiwood.fr/departements/votre-maison-bois-en-isere/maison-bois-a-st-martin-duriage/>

Maison ossature bois dans le puy de dôme, Maringues, Francia, 2020



Fig.218. Abitazioni "Maison ossature bois dans le puy de dôme", Blokiwood. Fonte videoclip: https://www.youtube.com/watch?v=F-QHASzeSUNk&ab_channel=Blokiwood



Fig.220. Struttura del piano primo e della copertura del progetto Blokiwood. Fonte videoclip: https://www.youtube.com/watch?v=F-QHASzeSUNk&ab_channel=Blokiwood



Fig.219. Interni "Maison ossature bois dans le puy de dôme", Blokiwood. Fonte videoclip: https://www.youtube.com/watch?v=F-QHASzeSUNk&ab_channel=Blokiwood



Fig.221. Blocchi parete e solaio da assemblare sul basamento in CA, Blokiwood. Fonte videoclip: https://www.youtube.com/watch?v=F-QHASzeSUNk&ab_channel=Blokiwood

Tipologia: Masion contemporaine

Situata a Novalaise, in Savoia (73), nei pressi del lago di Aiguebelette, l'abitazione moderna in legno, come evidenziato nel videoclip "Maison bois Savoie - Novalaise - Blokiwood"³², è caratterizzata da una struttura costruita su un piano in calcestruzzo, che funge da basamento per i due

piani superiori realizzati con pannelli parete Blokiwood, travi a I e blocchi scatolari da tetto isolati interposti sulle travi ad I. La casa, impermeabilizzata e rifinita con Tre-spa, dispone di un'ampia terrazza con vista sulle montagne. Internamente offre un ambiente accogliente, caldo e luminoso grazie alle ampie vetrate,

32. Blokiwood. (s.d.). Titolo del video [Formato]. YouTube. Recuperato da https://www.youtube.com/watch?v=F-QHASzeSUNk&ab_channel=Blokiwood



4.4 PopUp House

Anno

2014

Luogo

Francia

Fondatore

Corentin Thiercelin

Brevetto

FR3135288A1

Tipologia del sistema costruttivo

Personalizzabile con blocchi strutturali cavi in legno e travi e pilastri in legno

Materiali/Componenti

- . Pannelli in LVL
- . EPS per i blocchi isolanti

Processo produttivo

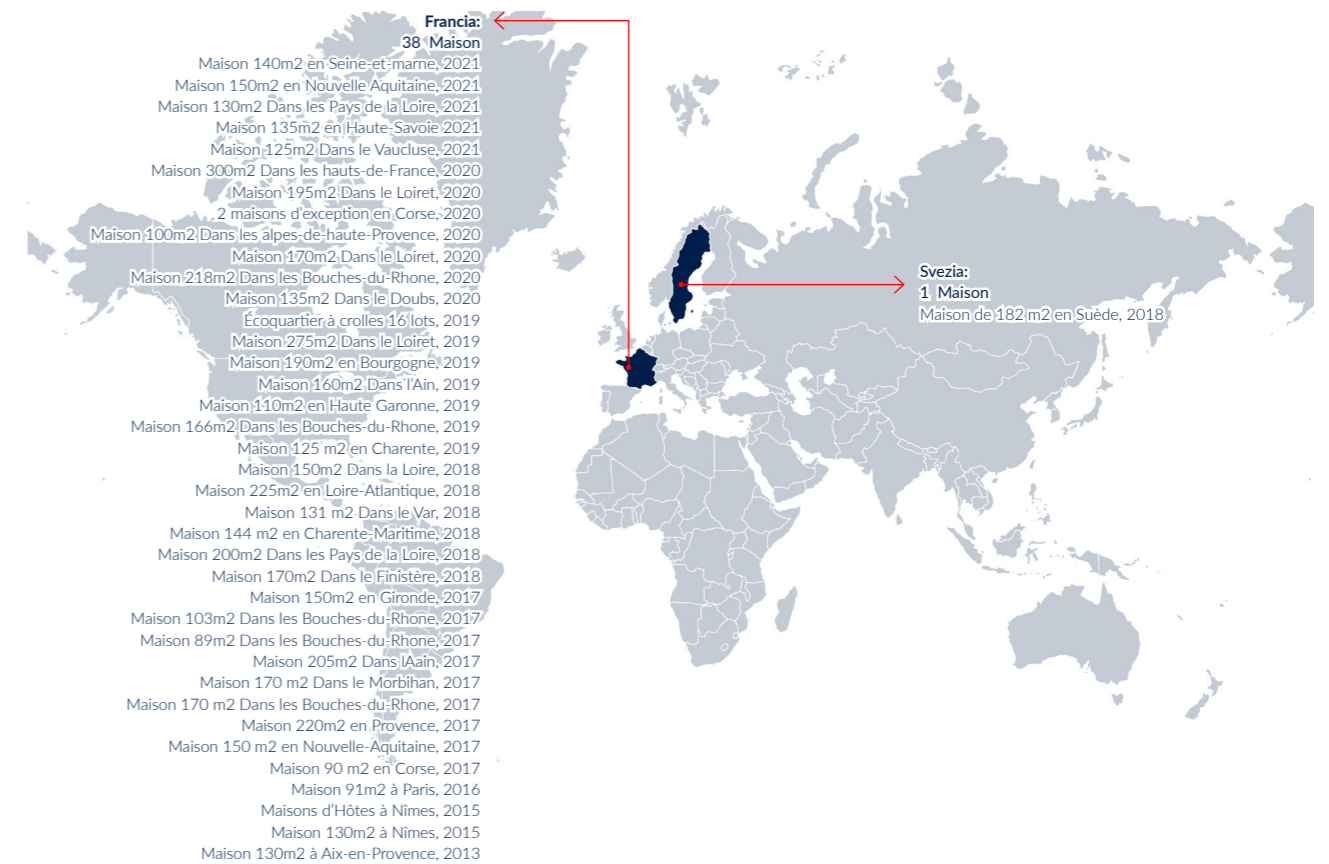
Aziendale tramite processi digitali. Sistema non specificato

Tipologia di connessione

A secco tramite viti in acciaio per il legno

Realizzazione e diffusione commerciale

Francia, Belgio e Paesi Bassi



Riferimento immagine pagina a sinistra:

Fig.222. Assemblaggio struttura portante del sistema PopUp House dell'abitazione "Maison passive montée en 4 jours". Fonte: <https://www.lavorincasa.it/casa-pronta-in-4-giorni/>

Mappa:

Fig.223. Mappa della diffusione del sistema PopUp House. Rielaborazione propria delle informazioni ricavate dalla fonte: <https://www.popup-house.com/portfolio/maison-150m%2b2-dans-la-loire/>

Descrizione

PopUp House è nata come risposta a una domanda: **perché costruire la struttura di una casa e poi isolarla successivamente, quando la si può costruire già isolata?**

La risposta a questa domanda portò Corentin Thiercelin a ideare il concetto di PopUp House nel 2012 basato sulla costruzione di abitazioni mediante l'integrazione diretta di componenti isolanti abbinati ai componenti strutturali. Il primo prototipo di ufficio fu realizzato a Marsiglia nel novembre 2012, seguito da una seconda costruzione ad Aix-en-Provence nell'ottobre 2013, insieme al primo brevetto, il quale suscitò grande interesse attirando l'attenzione di oltre 5 milioni di persone e professionisti, rimasti colpiti dalla semplicità e rapidità di costruzione. Successivamente nel 2014, applicando le conoscenze dei primi prototipi, fondò PopUp House, partendo da una start-up, in cerca di una soluzione che gli permettesse di ampliare gli uffici dell'azienda Virtual-Expo di sua proprietà, con una soluzione ecologica, elegante e rapida. Nel 2016, PopUp House, avviò la sua linea di produzione del sistema investendo 4 milioni di euro nella creazione di una fabbrica di 15.000 m² a Rousset, nel sud della Francia, chiamata **PopUp Factory**.

Nel maggio 2020, PopUp House accelerò la sua transizione ecologica modificando il suo isolamento e offrendo edifici realizzati al 100% con fonti biologiche.

Per soddisfare la crescente domanda di mercato, nel settembre 2020 PopUp House annunciò un investimento di 1 milione di euro per la creazione di PopUp Construction, che comprendeva squadre di

assemblaggio e insufflazione PopUp con l'obiettivo di completare l'offerta di assemblaggio fornita dalla rete di partner indipendenti. PopUp Construction operava principalmente nel sud della Francia, nei dipartimenti 13 e 83. Nel 2023 purtroppo, per problemi economici PopUp House dovette chiudere l'attività, vanificando tutti gli investimenti intrapresi.¹

Approccio

PopUp House è un'azienda impegnata nell'affrontare le sfide ambientali attraverso un approccio ecologico, offrendo edifici sostenibili e a basso consumo energetico con materiali naturali provenienti da foreste gestite in modo ecologico. I valori fondamentali dell'azienda comprendono innovazione tecnologica e condivisione di idee per la progettazione di edifici moderni, veloci da assemblare ed energeticamente efficienti. Il concetto "PopUp" enfatizza l'ottimizzazione dell'uso della luce solare per il comfort termico ed energetico. La progettazione ecologica si traduce in edifici ben isolati, mentre l'azienda promuove la condivisione, cercando di rendere il proprio sistema costruttivo accessibile a un vasto pubblico.²

1. PopUp House. (n.d.). Qui sommes-nous? Recuperato da <https://popup-house.com/qui-sommes-nous/>

2. PopUp House. (s.d.). Le Concept PopUp House. Recuperato da <https://www.popup-house.com/le-concept-popup-house-2/>

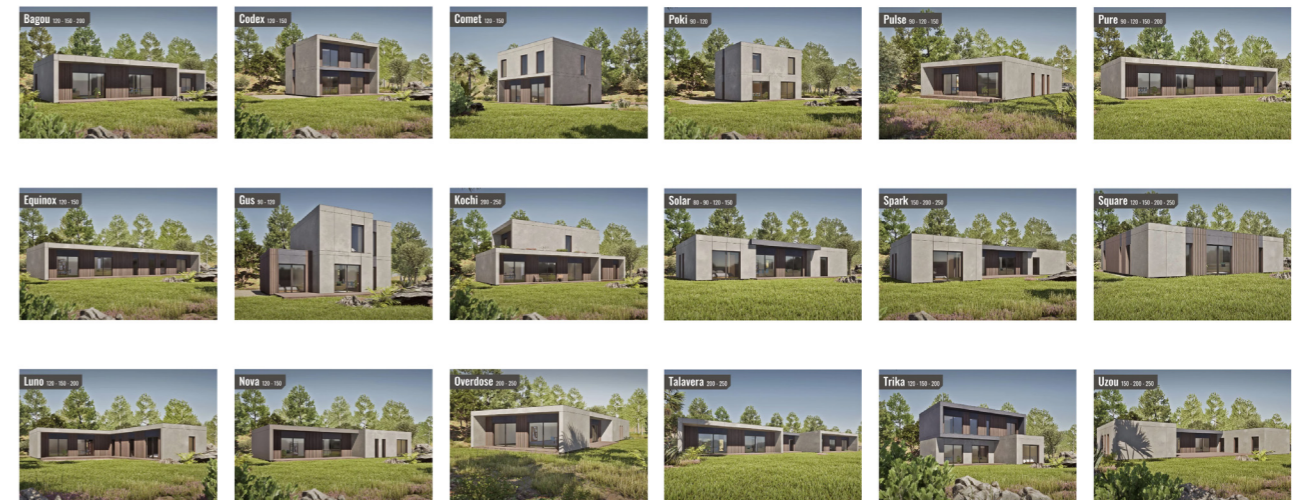


Fig.224. Proposte tipologiche di progetto da parte dell'azienda PopUp House. Fonte: <https://www.popup-house.com/collection/>

Servizi

Secondo la sezione servizi del sito web [epopup-house](https://www.popup-house.com)³, i servizi offerti dall'azienda si suddividono in tre categorie:

1. Servizi Tecnici,
2. Servizi per le energie rinnovabili
3. Servizi per la salute e sicurezza sul lavoro

Concentrandosi sulla tematica tecnologica della tesi, si riportano solo i servizi tecnici.

I servizi tecnici rivolti alla realizzazione di progetti edilizi includono: Trasporto, Montaggio con tempistica in funzione del livello di realizzazione, Studio dettagliato del progetto e del sito, Progettazione Bioclimatica, Progettazione Preliminare ed Esecutiva Architettonica, Progettazione Strutturale e Deposito al Genio Civile, Progettazione impiantistica ed Energetica (A+++), Progetto preliminare, Progetto definitivo, Progetto esecutivo, Direzione Lavori, Coordina-

3. PopUp House. (n.d.). Servizi. Recuperato da <http://www.epopup-house.com/servizi/>

mento sicurezza in progettazione, Coordinamento sicurezza in esecuzione, Rilievi e Accatastamenti, Progetto strutturale, Progetto di Impianti, Redazione documentazione richiesta titolo abilitativo, Raccolta e redazione documentazione richiesta e, per concludere, Agibilità.

Questi servizi tecnici coprono l'intero processo, dalla progettazione alla realizzazione, garantendo conformità normative, sicurezza e qualità in ogni fase della costruzione.

Tipologie abitative

Dal sito ufficiale di PopUp House, consultabile nella sezione "Collection"⁴, emerge chiaramente che le proposte abitative non superano i 2 piani, indicando implicitamente un **limite massimo di 2 piani** per le loro realizzazioni che possono presentare diverse forme geometriche squadrate (vedi fig.224).

4. PopUp House. (n.d.). Collection. Retrieved from <https://www.popup-house.com/collection/>

Costi

Il costo di una PopUp House può variare in base a diversi fattori.

Per un edificio chiavi in mano, il prezzo parte da circa 2200€ al metro quadrato di superficie interna, tasse incluse, escludendo terreno, onorari dell'architetto e arredo.

La costruzione invece della sola struttura, fondazione, impermeabilizzazione, falegnameria e finiture esterne ha un prezzo di 1500€ al metro quadrato di superficie interna. Questa scelta permette di risparmiare lasciando al cliente la possibilità di completare i lavori di finitura interna, impianto elettrico ed idraulico⁵.

Prestazioni

Resistenza sismica: nonostante la struttura leggera e con forme semplici, ma compatta, il sistema dispone di tutte le caratteristiche necessarie per resistere ai terremoti. Si utilizzano materiali flessibili come l'EPS, in grado di assorbire le deformazioni senza subire danni.

La verifica tecnica condotta da Socotec ha convalidato il sistema in tutta la Francia, incluso nelle zone sismiche (zone da 1 a 4).⁶

Resistenza al vento e alla neve: le case costruite in luoghi ventosi avranno una struttura rinforzata, mentre quelle in montagna saranno in grado di sopportare il carico della neve, consentendo di costruire una PopUp House in qualsiasi ambiente e

di renderla resistente a qualsiasi tipo di clima⁷.

Prestazioni energetiche:

La progettazione bioclimatica rappresenta il primo passo per realizzare una casa passiva, sfruttando al massimo i benefici naturali del sito. Gli apporti solari vengono ottimizzati per il riscaldamento naturale dell'edificio, con particolare attenzione all'orientamento delle finestre (50% a sud, tra il 20 e il 30% ad est, il 15% ad ovest e tra lo 0 e il 10% a nord) e alla disposizione interna delle stanze (mettere a nord le stanze che non necessitano di grandi apporti termici e mettere a sud, ad est e ad ovest le stanze più vissute). È fondamentale evitare il surriscaldamento in estate, prevedendo soluzioni come aggetti sopra le finestre orientate a sud, Brises soleil sopra le finestre ad ovest e est, e l'uso della vegetazione per fornire ombreggiatura supplementare. Inoltre, il mantenimento di una temperatura confortevole è garantito da progetti di costruzione compatta, pareti e finestre con prestazioni termiche ottimali, ermeticità dell'edificio per evitare flussi di aria non controllata, e l'installazione di impianti di riscaldamento, condizionamento e aerazione adatti e dimensionati per le PopUp House.⁸ Il sistema costruttivo sviluppato da PopUp House è altamente efficiente dal punto di vista termico. I blocchi isolanti con uno spessore di 30 cm consentono alla struttura PopUp di avere un basso coefficiente di trasmissione termica "U" rispetto ad altre tipologie di costruzione. Ciò

significa che una quantità minima di calore si disperde attraverso il pavimento, le pareti e il soffitto, sia dall'esterno verso l'interno che viceversa.

Il sistema costruttivo di PopUp House supera i requisiti stabiliti dal regolamento RT2020:

Regolamento francese 2012/2022⁹

$U \leq 0.36 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

$R > 2.77 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$

PopUp House¹⁰

$U = 0.15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

$R = 6,7 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$

Il metodo edilizio di PopUp House offre un tempo di sfasamento di 9 ore, il quale indica che la temperatura interna delle pareti richiede 9 ore per equilibrarsi con quella esterna. Pavimenti, pareti e soffitti sono realizzati con lo stesso materiale isolante, riducendo al minimo i ponti termici. I pannelli OSB fissati all'interno della struttura, l'assemblaggio accurato e l'uso di un nastro speciale su tutti gli angoli e gli alloggiamenti delle finestre garantiscono l'efficienza dell'isolamento dell'edificio.

Le PopUp House sono generalmente due volte più ermetiche dell'obbligo normativo francese in materia di tenuta dell'aria. Le prestazioni termiche del sistema di PopUp House sono compatibili con la costruzione di una casa passiva o di un edificio a energia quasi zero (nZEB)¹¹.

9. PopUp House. (n.d.). Quelles sont les performances thermiques d'une PopUp House ? Recuperato da <https://www.popup-house.com/quelles-sont-les-performances-thermiques-dune-popup-house-2/>

10. PopUp House. (n.d.). Quelles sont les performances thermiques d'une PopUp House ? Recuperato da <https://www.popup-house.com/quelles-sont-les-performances-thermiques-dune-popup-house-2/>

11. PopUp House. (s.d.). FAQ. Recuperato da <http://www.epo->

Materiali e componenti

Una PopUp House può essere costruita su diversi tipi di fondazioni tra cui:

1. **Fondazioni su plinti in cemento armato** con un telaio di sostegno in legno o acciaio (vedi fig.225).
2. **Fondazioni su pali elicoidali** trivellati con un telaio di sostegno in legno o metallo (vedi fig.226).
3. **Fondazione in cemento con muri di sostegno** isolati dalla struttura PopUp con tavole di legno e membrana per evitare l'umidità di risalita (vedi fig.227).
4. **Fondazione a platea cementizia** che deve essere isolata dalla struttura PopUp con tavole di abete e membrana per evitare risalite di umidità e ponti termici (vedi fig.228).

PopUp House consiglia l'utilizzo di "Fondazioni a platea cementizia" coibentata a terra o a vespaio. Questa soluzione offre diversi vantaggi, come una soglia delle finestre ben incassata e coibentata, reti passanti a terra per impianto idraulico, impianto elettrico e nessun rischio di vibrazione della soletta. La fondazione a platea viene sormontata dai pannelli in legno posizionati su una fascia di livellamento per evitare la risalita di umidità e ancorati alla soletta con tasselli di ancoraggio, su cui vengono montate le pareti PopUp. Per la platea l'azienda consiglia di raggiungere una resistenza termica di $5,5 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$, al fine di garantire una prestazione termica costante per pareti, soffitto e pavimento.¹²

[pup-house.com/faq/#1508166068701-2fca9b28-3497](http://www.popup-house.com/faq/#1508166068701-2fca9b28-3497)

12. PopUp House. (s.d.). Quel type de fondations? Recuperato da <https://www.popup-house.com/quel-type-de-fondations/>

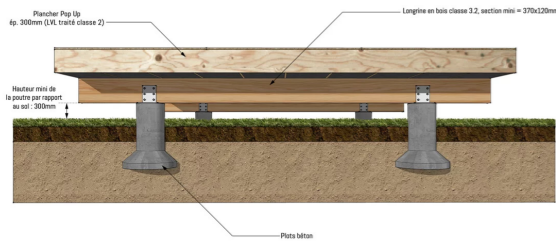


Fig.225. Fondazioni su plinti in cemento armato per il sistema PopUp House. Fonte: <https://www.popup-house.com/en/what-type-of-foundations-can-be-used/>

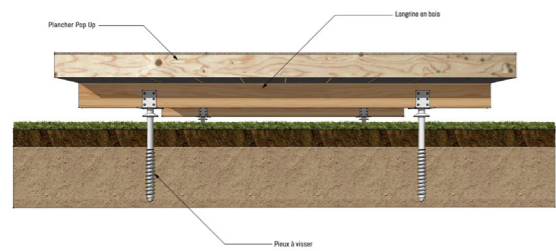


Fig.226. Fondazioni su pali elicoidali per il sistema PopUp House. Fonte: <https://www.popup-house.com/en/what-type-of-foundations-can-be-used/>

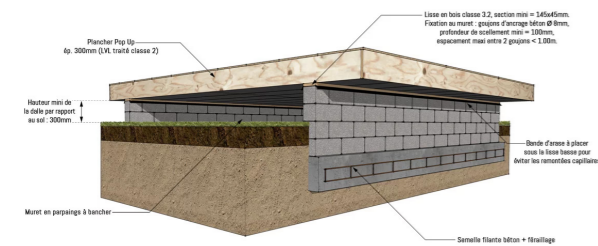


Fig.227. Fondazione in cemento con muri di sostegno per il sistema PopUp House. Fonte: <https://www.popup-house.com/en/what-type-of-foundations-can-be-used/>

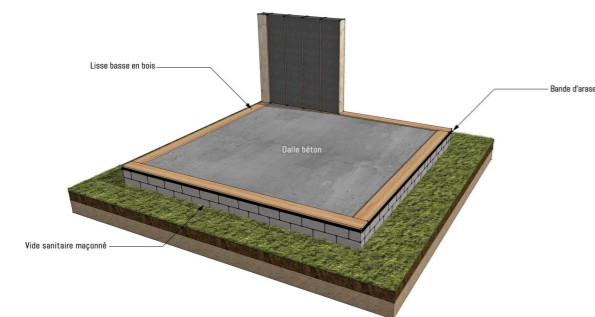


Fig.228. Fondazione a platea cementizia per il sistema PopUp House. Fonte: <https://www.popup-house.com/en/what-type-of-foundations-can-be-used/>

Per l'**isolamento termico**, viene utilizzato il **polistirene espanso (EPS)** con densità variabile tra 10 e 40 kg/m³, rivestito in grafite, che offre un'efficienza termica fino al 20% superiore rispetto all'EPS bianco tradizionale.

Per i pannelli in legno viene utilizzato il **Laminate Veneer Lumber (LVL)** che offre elevata resistenza meccanica e reazione al fuoco ottima¹³.

Per le **finiture esterne**, PopUp House presenta diverse opzioni di sistemi di fissaggio a vite, tra cui il "**Bois-ciment**," composto da una miscela di particelle di legno e cemento, il "**Fibres-ciment**," realizzato con cemento, cellulosa e materiali minerali nei colori crema, grigio e "Neo," e il "**Bardages frêne THT**," un rivestimento a listelli larghi 40 e 92mm in legno di Frassino o legno di Douglas. Per quanto riguarda le finiture delle **pavimentazioni esterne**, PopUp House propone listelli in legno di Frassino e Pino con trattamento ad alta temperatura (THT). Inoltre, l'azienda offre un **kit per gradini** con doghe in legno di Frassino e Pino, entrambi di classe C14 e con uno spessore di 45mm (vedi fig.229).

PopUp House offre per le **finiture interne**, come per le finiture esterne, il fibrocemento in grigio antracite, grigio chiaro e bianco sporco. Per uno stile più naturale, ci sono pannelli in legno di Quercia o Pioppo su supporto in legno MDF. Per soluzioni moderne, pannelli MDF installabili su supporti

13. Stefania Alessandrini, IgenioWeb. (8 marzo 2014). Pop-up House: la casa passiva pronta in 4 giorni. Recuperato da <https://www.ingenio-web.it/articoli/pop-up-house-la-casa-passiva-pronta-in-4-giorni/>

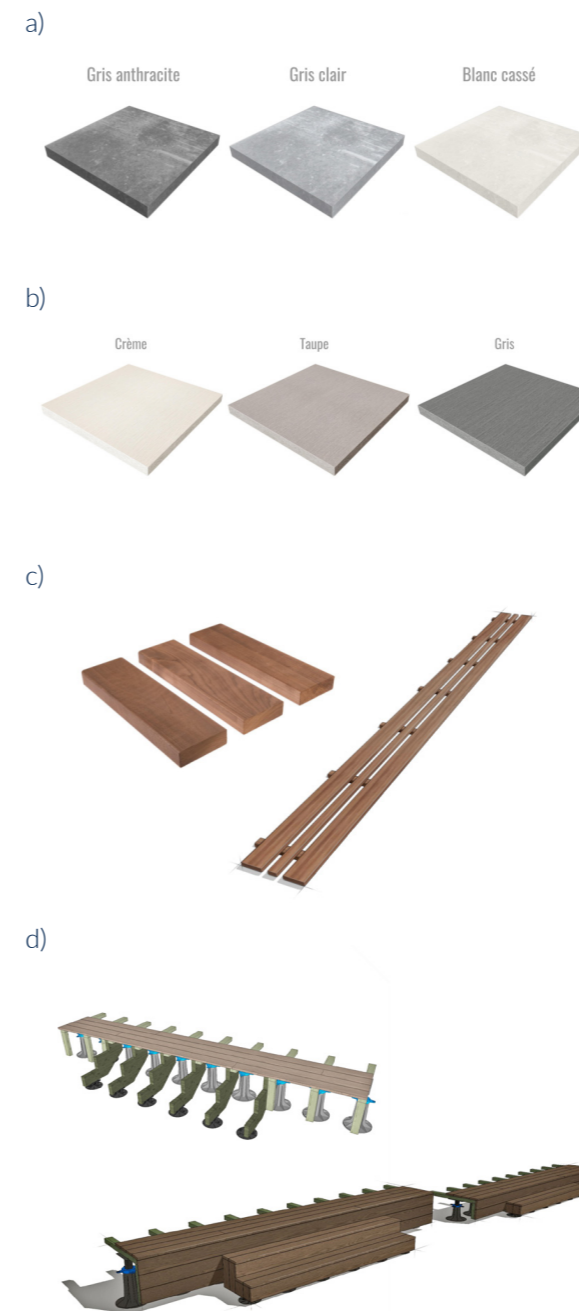


Fig.229. Materiali e componenti del sistema tetto proposto da PopUp House: a) Pannelli di rivestimento per esterni ed interni in legno-cemento. La colorazione "blanc cassé" soltanto per gli interni, b) Pannelli di rivestimento per esterni in fibrocemento, c) Listelli THT di rivestimento trattati ad alta temperatura in legno di Frassino o Douglas, d) Kit per il i gradini da esterno in pannelli di legno lamellare C14 di 45mm di spessore. Fonte rivestimenti e componenti da esterno: <https://www.popup-house.com/finitions-exterieures/> Fonti rivestimenti da interno: <https://www.popup-house.com/finitions-interieures/>

metallici, verniciabili in cantiere o preverniciati di bianco. Il soffitto può essere arricchito con pannelli scanalati in legno di Quercia o Pioppo¹⁴.

Il **tetto** può essere sia piano che a falde. Il tetto piano può essere un tetto accessibile o non accessibile ricoperto di vegetazione o ghiaia. In tutti i casi il sistema di impermeabilizzazione, di scarico delle acque piovane e delle fuoriuscite dei condotti delle stufe o dei sistemi VMC, rimane analogo. L'impermeabilizzazione avviene tramite **membrane flessibili in PVC o EPDM**, da porre sopra dei pannelli in EPS sagomate in modo da creare 2% di pendenza. Sul perimetro vengono posti dei listelli da 150x45mm con le forature da 100x100mm per il passaggio dei condotti per l'acqua piovana. Il tutto è posto su un pannello di truciolato di 22mm di spessore che poggia sullo strato isolante del solaio di copertura, contornato da un listello in legno da 360x45mm. Tutto il pacchetto viene fissato tramite delle rondelle e bulloni (vedi fig.230).¹⁵

Per i **parapetti**, PopUp House presenta due soluzioni: una con montanti in acciaio e corrimano in legno, utilizzata per parapetti inferiori a 1m di altezza e un'altra con listelli in legno nella parte inferiore.¹⁶

14. PopUp House (n.d.) Finitions INTÉRIEURES [File PDF], Estratto da https://www.popup-house.com/wp-content/uploads/2014/03/plaquette_finitions_interieures_part.pdf

15. PopUp House (n.d.) Éléments TOITURE [File PDF], Estratto da https://www.popup-house.com/wp-content/uploads/2014/03/plaquette_toiture_part.pdf

16. PopUp House (n.d.) Finitions EXTÉRIEURES [File PDF], Estratto da https://www.popup-house.com/wp-content/uploads/2014/03/plaquette_finitions_exterieures_part.pdf

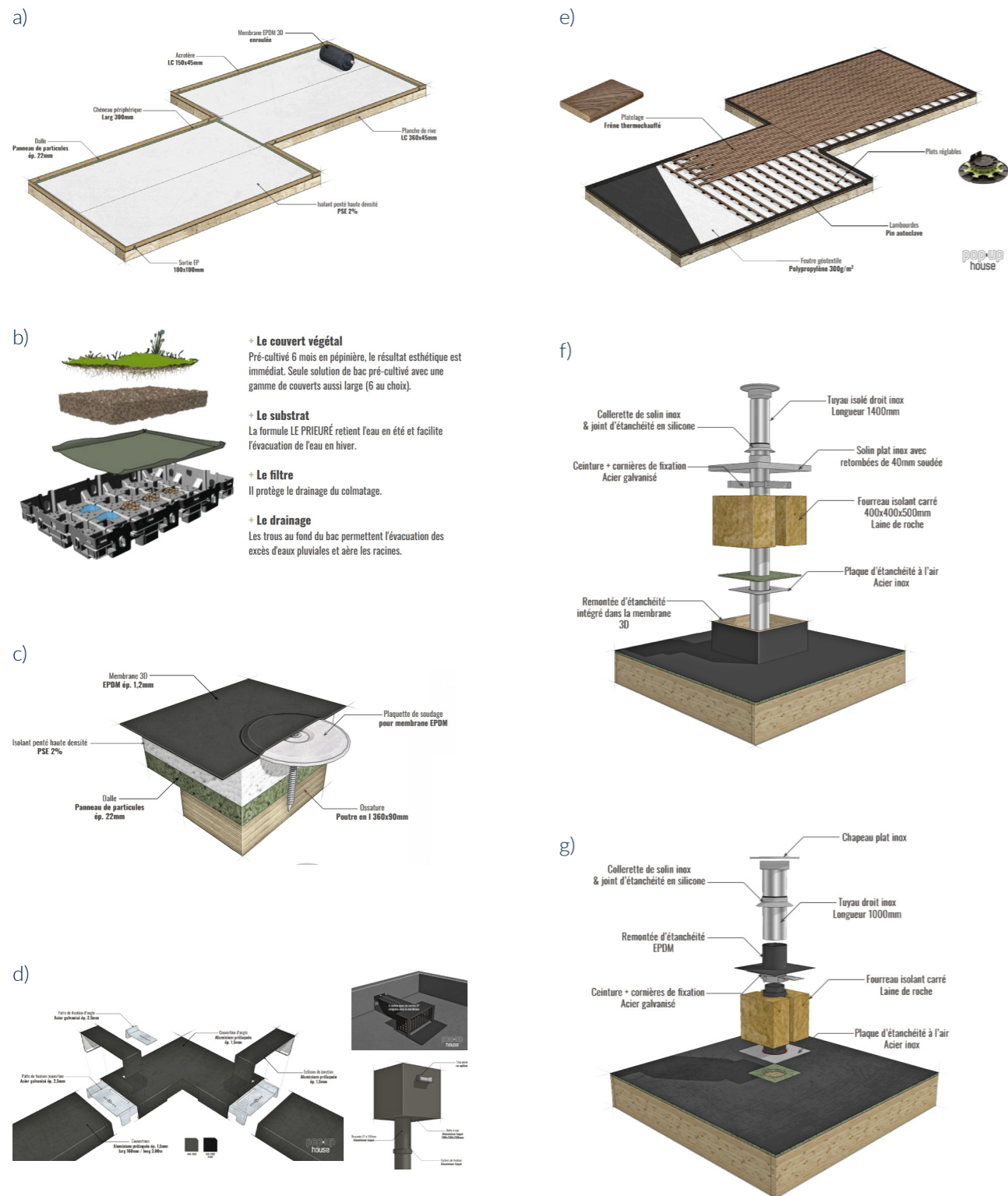
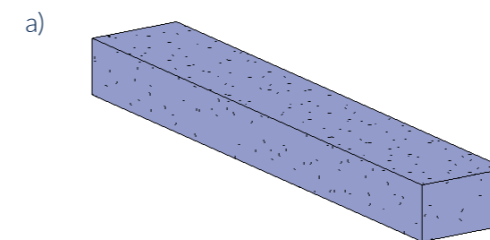


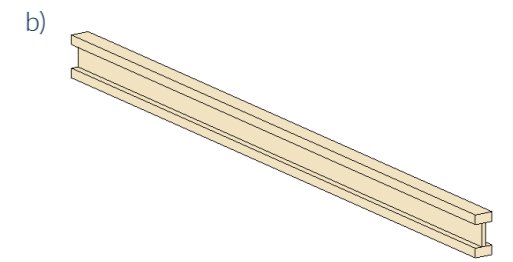
Fig.230. Materiali e componenti del sistema tetto proposto da PopUp House: a) Listelli, pannelli e membrane del tetto, b) Vasca a 4 strati per tetti giardino, c) Fissaggio a vite del pacchetto, d) Sistema per il deflusso delle acque piovane, e) Tetto calpestabile, f) Componenti del kit per il sistema di sfogo della stufa, g) Componenti del kit per il sistema impiantistico VMC. Fonte: <https://www.batiactu.com/edito/pop-up---une-maison-passive-montee-en-4-jours-38024.php>

Abaco tipo dei componenti di un kit abitativo "Maison passive montée en 4 jours"

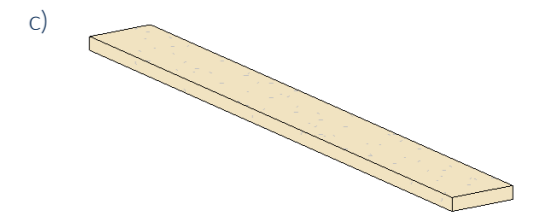
Mediante lo studio del progetto "Maison passive montée en 4 jours" e l'analisi del video di assemblaggio del progetto disponibile sul sito https://www.youtube.com/watch?v=wtEo-FOFEuU&ab_channel=GroeneSteden, insieme all'analisi dei documenti PDF reperibili nella sezione FAQ del sito ufficiale PopUp House, consultabile al seguente indirizzo <https://www.pop-up-house.com/faq/>, è stato possibile elaborare il seguente kit. Vengono riportate le informazioni estratte da tali fonti, arricchite da considerazioni e ipotesi proprie su alcune misure dei vari componenti del kit.



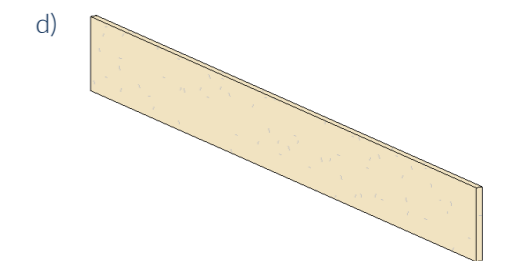
Pannello isolante in polistirene espanso da 300 mm di spessore, utilizzato per l'isolamento termico e acustico. Con resistenza statica elevata, funge anche da trave per coprire grandi luci. Dimensioni variabili in lunghezza e larghezza, densità di 30 kg/m³. Trasmittanza termica di 0.11 W/m²K e resistenza termica (R) di 9.86 m²K/W. Adatto a diverse applicazioni per garantire efficienza nell'isolamento termico.



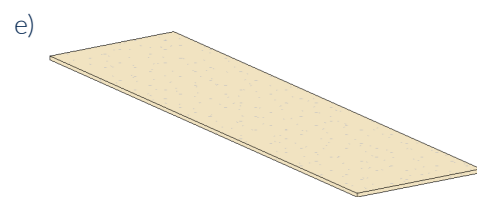
Trave ad H composta da fogli di LVL "Laminated Veneer Lumber". Lunghezza massima 14m. Larghezza ed altezza non specificate ma, dalle immagini del progetto, si ipotizzano 7x20cm



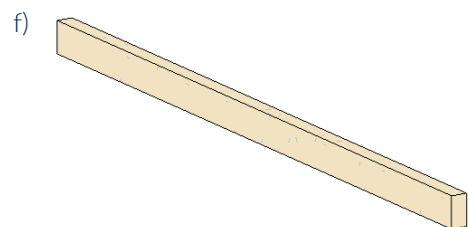
Pannello architrave in LVL "Laminated Veneer Lumber" di 60 mm di spessore ipotizzato, con una larghezza di 300 mm e una lunghezza ipotizzata di 1m



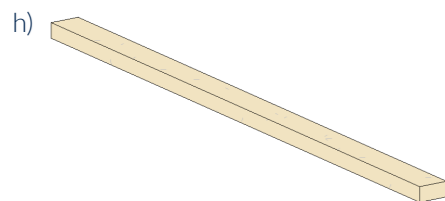
Pannello di irrigidimento di solai e pareti in LVL "Laminated Veneer Lumber" intervallati dai pannelli isolanti. Hanno uno spessore di 27 mm, una larghezza di 300 mm e una lunghezza fino a 24,50 m.



Pannelli pavimentazione del solaio di base in "LVL-Laminated Veneer Lumber". Presentano uno spessore di 27 mm, una larghezza ipotizzata di circa 70 cm e una lunghezza fino a 24,50 m.



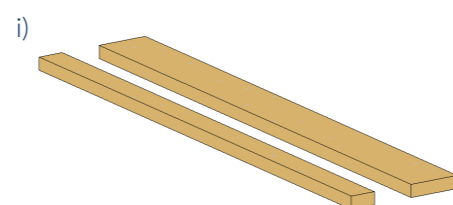
Listello di contenimento del manto del tetto posto a filo delle pareti perimetrali in legno di sezione 360x45mm



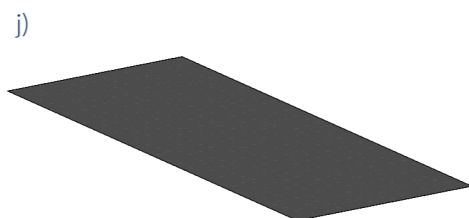
Listelli orizzontali in legno di fissaggio del rivestimento in facciata. Le dimensioni non specificate. Si ipotizzano delle sezioni di 10x5 cm.



Viti per legno in acciaio lunghe 1m con diametro da 8mm



Listelli in legno verticali di rivestimento delle facciate. Lo spessore si ipotizza di 3cm, perciò, le sezioni sono di 4,0x3 cm e 9,2x3 cm.



Guaina impermeabilizzante che ricopre pareti e manto di copertura

Fig.231. Componenti del sistema costruttivo del progetto "Pop-Up House: la casa passiva pronta in 4 giorni": a) Pannello isolante in polistirene espanso, b) Trave ad H, c) Pannello architrave, d) Pannello di irrigidimento di solai e pareti, e) Pannelli pavimentazione del solaio di base, f) Listello di contenimento del manto del tetto, g) Viti per legno in acciaio, h) Listelli orizzontali in legno di fissaggio del rivestimento in facciata, i) Listelli in legno verticali di rivestimento delle facciate, j) Guaina impermeabilizzante. Fonte: Rielaborazione a cura di Jean Carlos Lapo Procel delle informazioni ricavate dal video YouTube "PopUp House - DIY passive house building" (https://youtu.be/wtEo-FOFEuU?si=rZpx-56Utd_ajv2W)

Sistema costruttivo

Il sistema costruttivo di PopUp House consiste nell'assemblaggio di blocchi di isolamento EPS separati da pannelli di legno LVL per la costruzione di un intero edificio, utilizzati per il solaio di base, per le pareti e per il solaio di copertura. Questo metodo permette un'installazione rapida, utilizzando materiali leggeri e non richiedendo attrezzi speciali (vedi fig. 227).

Con lo scopo di fornire una comprensione approfondita di questo sistema e dei suoi componenti, è stato rielaborato da parte propria il sistema costruttivo del progetto "Maison passive montée en 4 jours"¹⁷, attraverso il quale il sistema PopUp House ha guadagnato notorietà. Questo progetto, realizzato ad Aix-en-Provence, in Francia, verrà successivamente illustrato nella sezione dei "casi studio di realizzazioni".

Dall'analisi del sistema emerge un'attenzione particolare alla minimizzazione dei materiali impiegati, utilizzando pannelli LVL e blocchi EPS per l'intera struttura portante, sia esterna che interna. Questi materiali vengono tagliati alle dimensioni desiderate e collegati tra loro tramite sistemi di connessione a secco, utilizzando viti in acciaio. La facilità di applicazione di questo sistema evidenzia l'innovazione tecnologica portata da PopUp House, garantendo velocità di costruzione e elevate prestazioni termiche, come evidenziato nelle sezioni precedenti.

17. PopUp House. (n.d.). Maison 130m² à Aix-en-Provence. Retrieved from <https://www.popup-house.com/portfolio/maison-130m%C2%B2-a-aix-en-provence/>

Fasi di costruzione con il sistema costruttivo del progetto "Maison passive montée en 4 jours"

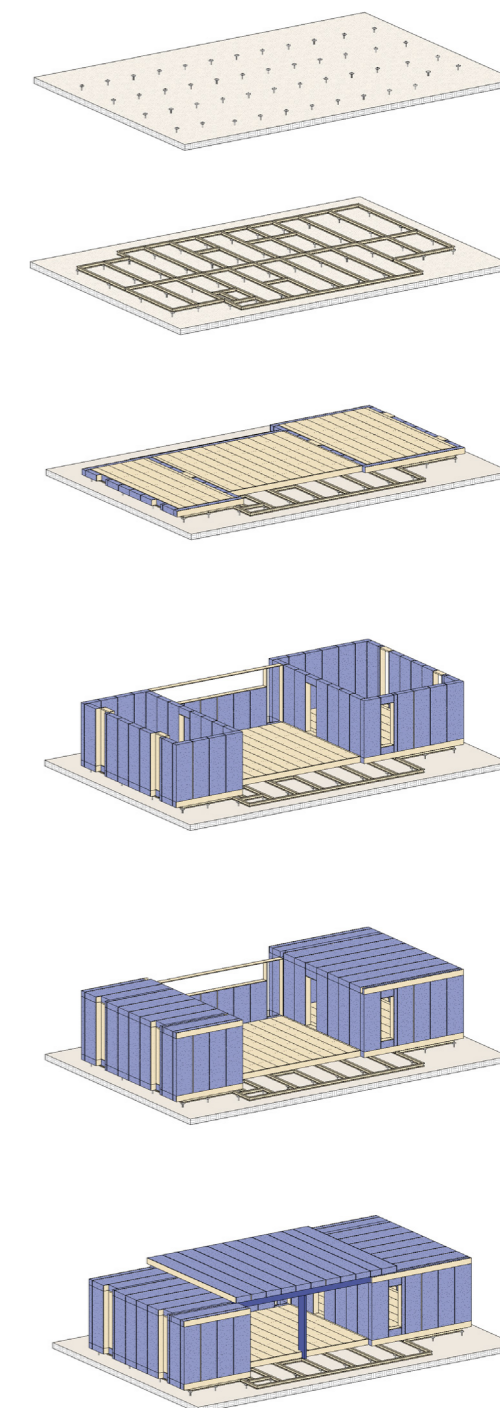


Fig.232. Sistema costruttivo del progetto "Pop-Up House: la casa passiva pronta in 4 giorni". Fonte: Elaborazione a cura di Jean Carlos Lapo Procel

Componenti del sistema costruttivo delle fasi di assemblaggio del progetto "Maison passive montée en 4 jours" esposte in figura 231.

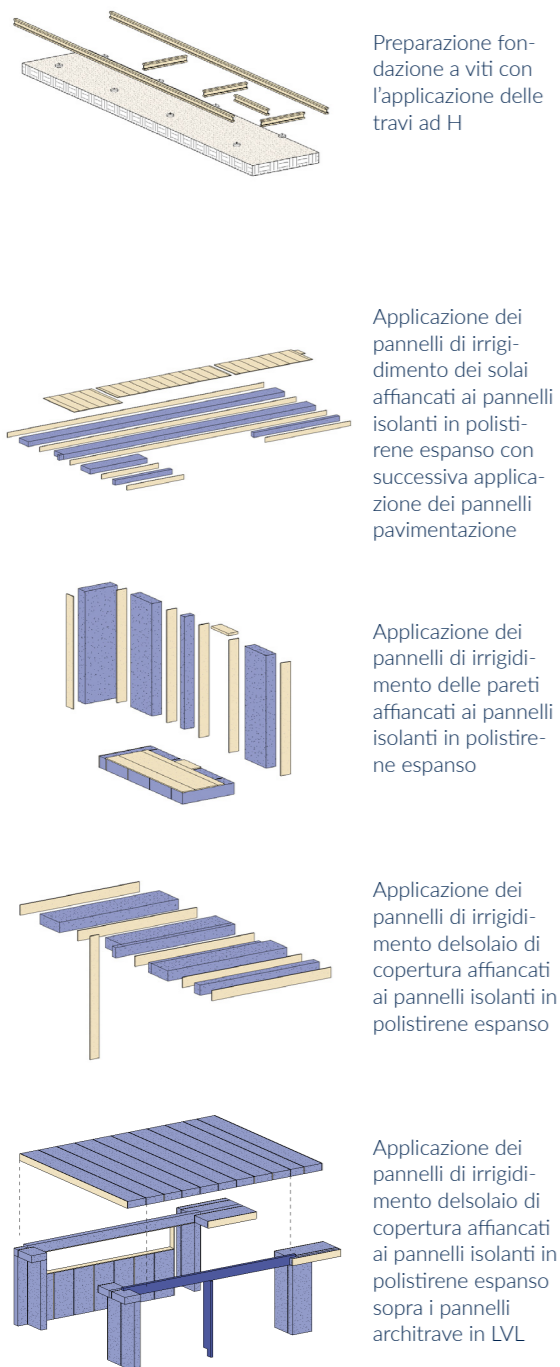


Fig.233. Componenti delle fasi costruttive del sistema costruttivo del progetto "Pop-Up House: la casa passiva pronta in 4 giorni". Fonte: Elaborazione a cura di Jean Carlos Lapo Procel

Produzione

La produzione delle case PopUp avviene nello stabilimento di 15.000 m² a Rousset, Francia (13), noto come PopUp Factory. Inizialmente, l'ufficio progettazione crea un modello digitale 3D per ciascun progetto, il quale viene successivamente inviato alla fabbrica per essere tagliato su misura. Ogni elemento del kit, compresi quelli della struttura, i pannelli di finitura, la falegnameria, l'impermeabilizzazione, ecc., viene numerato e tagliato con precisione, per poi essere confezionato e spedito al sito di destinazione. L'industrializzazione del processo costruttivo consente a PopUp di garantire il controllo sulla qualità, sui costi e sui tempi di costruzione. La PopUp Factory ha una capacità produttiva di circa 50.000 m² di edifici all'anno¹⁸.

Progettazione

La progettazione di PopUp House segue diverse fasi con lo scopo di garantire un risultato ottimale suddivisibile in 6 fasi:¹⁹

Fase 1

Durata dalle 13 alle 16 settimane. da 3 a 6 settimane dal concepimento e 10 settimane per ottenere i permessi

Analisi del sito: Valutazione approfondita dell'area di costruzione, considerando orientamento solare, topografia e altri fattori rilevanti.

Progettazione concettuale: Sviluppo delle

18. PopUp House. (n.d.). Où sont fabriquées les PopUp Houses? Recuperato da <https://www.popup-house.com/ou-sont-fabriquees-les-popup-houses/>

19. PopUp House. (n.d.). Construire votre maison avec PopUp House. Recuperato da <https://www.popup-house.com/construire/>

idee iniziali e dei concetti relativi alla disposizione degli spazi, all'orientamento delle finestre e all'uso di materiali ecologici.

Progettazione architettonica: Definizione dei dettagli architettonici, dimensioni, disposizione degli ambienti e scelta dei materiali.

Progettazione strutturale: Definizione delle fondamenta, delle pareti e del tetto per garantire solidità e resistenza.

Progettazione degli impianti: Sviluppo degli impianti elettrici, idraulici e di riscaldamento/raffreddamento, con attenzione all'efficienza energetica.

Rendering e visualizzazione: Creazione di rendering per comunicare il progetto ai clienti e agli stakeholder.

Approvazioni e permessi: Ottenimento delle necessarie approvazioni e permessi dalle autorità competenti.

Fase 2

Durata da 6 a 8 settimane.

Convalidazione e firma dei preventivi.

Preparazione del terreno: Collegamento alle reti pubbliche, preparazione del terreno e costruzione delle fondamenta.

Produzione delle istruzioni di montaggio: Creazione delle istruzioni e dei componenti necessari per il kit nella PopUp Factory.

Consegna dei materiali: Pronti per l'assemblaggio in cantiere entro 8 settimane dal ricevimento del primo acconto.

Fase 3

Durata da 3 a 4 mesi.

Costruzione: Avvio della fase di costruzione, che include montaggio strutturale, impermeabilizzazione, falegnameria e installazione di finiture interne/esterne.

Installazione impianti: Collegamento di impianti elettrici, idraulici, di riscaldamento e

ventilazione.

Questo approccio modulare consente una costruzione rapida e efficiente, soddisfacendo le esigenze di varie tipologie di progetti abitativi.

Assemblaggio

Grazie alla modularità degli elementi e alla facilità di assemblaggio, la costruzione può essere completata in tempi ridotti, richiedendo solamente quattro operai per quattro giorni di lavoro²⁰. L'assemblaggio può essere realizzato tramite viti o per mezzo di incollaggio. Il vantaggio delle viti, rispetto all'uso della colla, risiede nella pulizia del polistirolo, permettendo così lo smontaggio completo e il riciclo dell'edificio. Il concept originario del progetto contempla anche l'opzione di effettuare un pre-assemblaggio in laboratorio, accelerando notevolmente le fasi di montaggio dell'abitazione e garantendo un significativo risparmio di tempo.²¹

Realizzazioni

Il progetto "Maison passive montée en 4 jours" è diventato il volto più noto di PopUp House, portando l'azienda a guadagnare una notorietà globale, sebbene abbia realizzato più di 700 abitazioni²² in diverse località della Francia.

20. Redazione CasaNoi (1 Marzo 2018). PopUp House casa passiva bioclimatica modulare. Recuperato da <https://blog.casanoi.it/popup-house-casa-passiva-bioclimatica/>

21. Stefania Alessandrini, IgenioWeb. (8 marzo 2014). Pop-up House: la casa passiva pronta in 4 giorni. Recuperato da <https://www.igenio-web.it/articoli/pop-up-house-la-casa-passiva-pronta-in-4-giorni/>

22. PopUp House. (n.d.). PopUp clap de fin. Recuperato da <https://www.popup-house.com/popup-clap-de-fin/>

Casi studio di realizzazioni

Maison passive montée en 4 jours, Aix-en-Provence, Francia, 2014



Fig.234. Progetto PopUp House "Maison passive montée en 4 jours". Fonte: <https://www.ingenio-web.it/articoli/pop-up-house-la-casa-passiva-pronta-in-4-giorni/>

Tipologia: Abitazione a 1 piano

La casa passiva di 150 mq, denominata "Maison passive montée en 4 jours", ideata dallo studio "Multipod" e realizzata con il sistema PopUp House, è stata assemblata in soli 4 giorni. L'innovativo approccio al processo edilizio si manifesta nell'impiego di blocchi EPS isolanti con una densità di 30 kg/m³, intervallati da pannelli in legno LVL, uniti tra loro mediante viti in acciaio, che costituiscono integralmente tutta la struttura del sistema solaio di base, solaio di copertura e pareti interne ed esterne. Questa metodologia si contraddistingue per la sua praticità, utilizzando materiali leggeri e non richiedendo macchinari per il sollevamento dei componenti. L'intero processo non solo si traduce in una significativa riduzione dei tempi, ma anche in una gestione ottimizzata dei costi grazie all'impiego di materiali

economici. Il costo complessivo del sistema strutturale si colloca intorno ai 200€/mq, coprendo tutte le fasi di assemblaggio. Oltre agli aspetti legati all'efficienza e alla convenienza, il progetto si distingue per un'impronta ambientale positiva, facendo ampio uso di materiali riciclabili e garantendo la possibilità di smontare velocemente l'edificio. Con un'elevata efficienza energetica, caratterizzata da un valore di isolamento termico di 0,11W/m²K, l'abitazione si pone come un esempio di sostenibilità, riducendo al minimo il fabbisogno energetico.²³

23. Stefania Alessandrini, IgenioWeb. (8 marzo 2014). Pop-up House: la casa passiva pronta in 4 giorni. Recuperato da <https://www.ingenio-web.it/articoli/pop-up-house-la-casa-passiva-pronta-in-4-giorni/>



Fig.235. Fasi di assemblaggio dei componenti del progetto PopUp House "Maison passive montée en 4 jours": 1) Costruzione delle fondazioni, assemblaggio del solaio di base. 2) Fissaggio a vite dei componenti. 3) Assemblaggio delle pareti. 4) Assemblaggio della copertura e successiva impermeabilizzazione. 5) Applicazione del rivestimento esterno in Frassino THT. 6) Applicazione del rivestimento interno. Fonte: <https://www.batiactu.com/edito/pop-up---une-maison-passive-montee-en-4-jours-38024.php>



Fig.236. Pianta del progetto PopUp House "Maison passive montée en 4 jours" con destinazioni d'uso dei locali. Rielaborazione propria della fonte: <https://www.deco.fr/bricolage-travaux/construction/actualite-725941-pop-up-house-maison-monter-4-jours.html>

Maison 150mq en Gironde, Saint-Jean-d'Ilac (33), Francia, 2017



Fig.237. Progetto "Une maison individuelle en Isère", Blokiwood. Fonte videoclip: https://www.youtube.com/watch?v=2znN5AM61Po&t=6s&ab_channel=Blokiwood

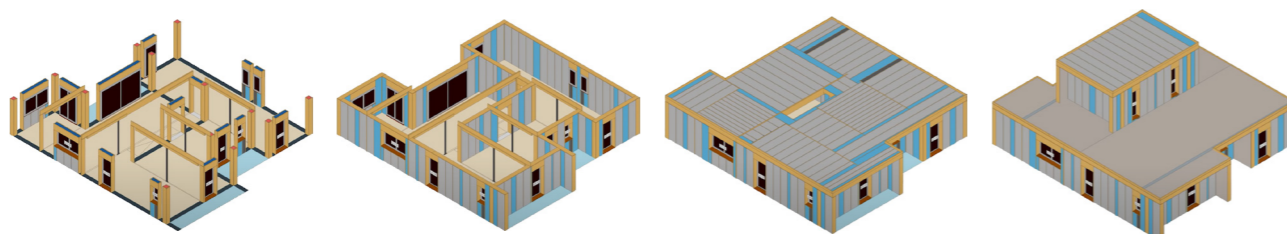


Fig.238. Progetto "Une maison individuelle en Isère", Blokiwood. Fonte videoclip: https://www.youtube.com/watch?v=2znN5AM61Po&t=6s&ab_channel=Blokiwood

Tipologia: Abitazione a 2 piani

Il progetto "Maison en Gironde," situato a Saint-Jean-d'Ilac (33), rappresenta un'elegante residenza con una superficie di 150 m². La gestione del progetto è stata affidata a OMDO, mentre l'Atelier ArtWood ha assunto il ruolo di costruttore. I lavori sono

stati completati nel mese di novembre 2017, consegnando un risultato che unisce estetica e funzionalità in una dimora unica ed accogliente²⁴.

24. PopUp House. (s.d.), Maison 150m2 en Gironde. Recuperato da <https://www.popup-house.com/portfolio/maison-150m2-en-gironde/>



Fig.239. Processo di autoconstruzione della struttura e delle finiture del progetto PopUp House "Maison 150mq en Gironde": 1) Costruzione della platea di fondazione. 2) Assemblaggio struttura travi, pilastri e pannelli per le forature. 3) Assemblaggio dei blocchi parete. 4) Assemblaggio dei blocchi solaio d'interpiano. 5) Assemblaggio del secondo piano. 6) Impermeabilizzazione. 7) Applicazione delle finiture interne. 8) Applicazione del rivestimento esterno. Fonte video Youtube "Montage d'une PopUp House par Atelier Artwood #1": https://www.youtube.com/watch?v=236l8jfy5y8&ab_channel=AtelierArtWood

Fig.240



4.5 U-Build

Anno

2015

Luogo

Londra, Regno Unito

Fondatore

Wilf Meynell e Steph Chadwick

Brevetto

No

Tipologia del sistema costruttivo

Personalizzabile con blocchi strutturali cavi in legno

Materiali/Componenti

- . Pannelli in compensato di abete rosso WISA, betulla WISA o OSB Smartply da 18 mm
- . Blocchi in sughero

Processo produttivo

Digitale con taglio a macchina CNC dei soli componenti in azienda, rete di collaboratori o dagli utenti

Tipologia di connessione

A secco tramite viti e bulloni in acciaio

Realizzazione e diffusione commerciale

Regno Unito



Riferimento immagine pagina a sinistra:

Fig.240. Assemblaggio della struttura portante del sistema U-Build dell'abitazione "Nest House". Fonte: <https://u-build.org/projects/nest-house/>

Mappa:

Fig.241. Mappa diffusione sistema Blokiwood. Rielaborazione propria della fonte: <https://blokiwood.fr/>

Descrizione

U-Build rappresenta un'innovativa soluzione nel campo delle costruzioni, nata nel 2015 dallo Studio Bark¹, un team specializzato nella progettazione sostenibile. Fondata da Wilf Meynell e Steph Chadwick, questa iniziativa si avvale di una rete di collaborazioni di alto livello, come l'ingegneria strutturale fornita da Structure Workshop², i test sul prodotto sviluppati da Cut and Construct³, e da diversi fornitori⁴. Operante non solo nel Regno Unito, ma anche in Nord America e Canada, U-Build offre un sistema versatile concepito per la realizzazione di mobili, pareti divisorie interne, abitazioni ed installazioni temporanee.

Al cuore del lavoro di U-Build c'è un grande impegno sociale⁵, infatti, l'azienda mira a creare edifici migliori per le persone e per il pianeta, mantenendo prezzi accessibili e promuovendo prodotti e servizi etici. Sostiene l'istruzione, le imprese sociali, le organizzazioni benefiche e i gruppi di attivisti, offrendo loro accesso a sistemi di costruzione modulari. U-Build è aperta a

collaborazioni per contribuire a rendere il mondo un posto migliore, reinvestendo almeno il 50% dei profitti nell'attività stessa e pagando stipendi equi al proprio personale e ai fornitori, con un focus particolare sull'acquisto locale nel Regno Unito.

Questo sistema offre una vasta gamma di applicazioni, ma in questa analisi il focus sarà incentrato esclusivamente sulle soluzioni per l'abitare.

Approccio

U-Build punta a trasformare radicalmente il concetto di costruzione, facilitando il processo edilizio e permettendo a chiunque di partecipare attivamente alla creazione della propria abitazione. Grazie al suo approccio coinvolgente e intuitivo, cambia il modo in cui le persone concepiscono gli edifici e il loro metodo di realizzazione. Con la possibilità di personalizzare ogni dettaglio dell'edificio secondo le preferenze individuali, ogni individuo ha l'opportunità di creare una casa unica e su misura. I blocchi sono progettati per un assemblaggio semplice e intuitivo, senza richiedere attrezzi speciali, il che consente anche a persone senza esperienza nel settore edilizio di contribuire alla costruzione della propria casa. Questo sistema è pensato per l'economia circolare, con tutte le parti completamente smontabili, ecologiche e riciclabili. Inoltre, l'approccio di U-Build si basa sulla distribuzione digitale, consentendo la condivisione globale senza la necessità di trasporto fisico dei componenti su lunghe distanze, riducendo così la logistica e le emissioni di carbonio, mirando alla produzione di edifici modulari con un linguaggio universale,

adattabile anche all'ambiente locale e all'utilizzo di materiali disponibili nella zona. U-Build promuove la reversibilità e il riutilizzo dei componenti attraverso connessioni a secco, consentendo il montaggio e lo smontaggio delle strutture per essere riutilizzate o vendute ad altri utilizzatori di U-Build. La compattezza dei blocchi permette il loro trasporto in furgoni standard da 7,5 tonnellate, rendendo il sistema U-Build una soluzione pratica e sostenibile per le esigenze abitative moderne.⁶

Impatti ambientali

Il sistema costruttivo U-Build si distingue per il suo basso consumo energetico e l'impiego di materiali naturali che contribuiscono a garantire una qualità dell'aria interna salutare, mantenendo al minimo il fabbisogno energetico dell'edificio.

Seguendo i principi "dalla culla alla culla"⁷ di William McDonough, ogni elemento dell'edificio è realizzato con materiali naturali compostabili o, se di origine artificiale, è costituito da materiali puri al 100% che possono essere facilmente riciclati.

Nel processo di costruzione, si evita l'uso di nastri adesivi o altri leganti chimici, preferendo fissaggi meccanici che possono essere smontati alla fine del ciclo di vita dell'edificio.

Per quanto possibile, tutti i materiali vengono acquistati localmente nel Regno Unito al fine di ridurre l'impronta di carbonio associata al trasporto.

Si dà particolare importanza all'utilizzo di materiali atossici ed ecologici, come l'iso-

lamento in lana di pecora, specialmente se certificati da enti ambientali come FSC e PEFC per il legno.

Per quanto riguarda le finiture interne, si preferiscono vernici, nastri, rivestimenti e sigillanti a basso o nullo contenuto di COV (Composti Organici Volatili)⁸.

Infine, i materiali per i listelli del rivestimento sono ottenuti da boschi nel Regno Unito e lavorati da segherie locali, riducendo significativamente l'impatto ambientale legato al trasporto rispetto al legname proveniente dall'Europa o dall'America.⁹

Servizi

U-Build non solo fornisce i blocchi strutturali o i progetti digitali per l'autocostruzione o autoproduzione del sistema, ma offre anche servizi di consulenza progettuale, produzione di disegni di pianificazione, controllo edilizio ed assemblaggio dei componenti, progettazione di arredi su misura, nonché assistenza edilizia in loco (in base alla posizione) e/o formazione per garantire un corretto montaggio del kit U-Build.¹⁰

Soluzioni abitative

Oltre alla possibilità di progettare la propria abitazione con forme e dimensioni adattabili al sistema, U-Build offre una gamma diversificata di progetti e soluzioni abitative adattabili a varie dimensioni e piani, tra cui:¹¹

8. Tecnosida. (1 luglio 2016). COV (Composti Organici Volatili). Recuperato da <https://www.tecnosida.it/cov-composti-organici-volatili>
9. U-Build. (n.d.). FAQs. Recuperato da <https://u-build.org/faqs/>
10. U-Build. (n.d.). New Builds. Recuperato da <https://u-build.org/designs/new-builds/>
11. U-Build. (n.d.). Self-build homes. Recuperato da <https://u-build.org/>

1. Studio Bark. (n.d.). Home. Recuperato da <https://studiobark.co.uk/>

2. Società di consulenza di progettazione ingegneristica con sede a Londra fondata nel 2004. Structure Workshop. (n.d.). Profile. Recuperato da <https://structureworkshop.co.uk/profile/>

3. U-Build. (n.d.). About Us. Recuperato da <https://u-build.org/about-us/>

4. Thermafleece: isolamento in lana di pecora proveniente dal Regno Unito e tagliato su misura, il che significa nessuno spreco in loco. Butyl Products: rivestimento per tetto verde riciclabile e di dimensioni personalizzate, prodotto nel Regno Unito. Butyl Products: prodotti per l'isolamento e l'ermeticità in fibra di legno. UPM: Fornitore di pannelli compensati WISA in abete rosso e betulla. Building Bloqs: spazio di lavoro ad accesso aperto con ottimi strumenti e una community di supporto. Hambro Roofing: Sistema di copertura Sarnafil monostrato con isolamento tagliato a caduta. OSMO: i nostri clienti utilizzano spesso i prodotti OSMO per proteggere i loro prodotti in legno con trattamenti a base di oli naturali. Fonte: U-Build. (n.d.). FAQs: Who is behind U-Build? Recuperato da <https://u-build.org/faqs/>

5. U-Build. (n.d.). FAQs. Recuperato da <https://u-build.org/faqs/>

6. U-Build. (n.d.). FAQs. Recuperato da <https://u-build.org/faqs/>

7. Negoziazione.blog. (25 settembre 2023). L'economia circolare. Recuperato da <https://negoziazione.blog/leconomia-circolare/>

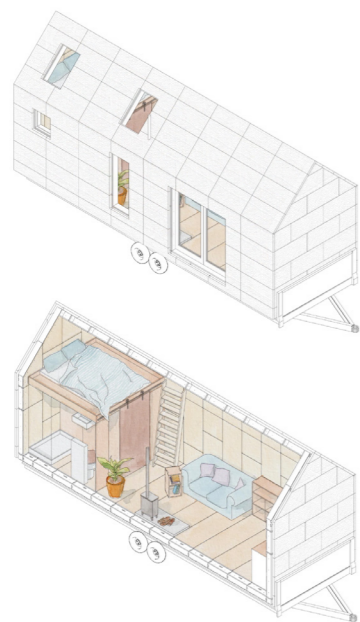


Fig.242. Schema assonometrico e spaccato assonometrico della soluzione progettuale "Tiny House" di U-Build. Fonte: <https://u-build.org/designs/tiny-house/>

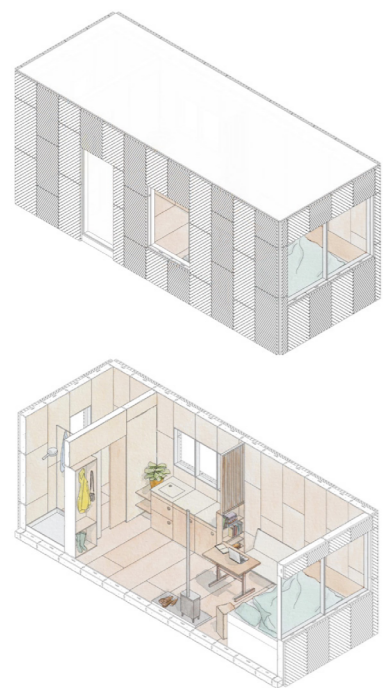


Fig.243. Schema assonometrico e spaccato assonometrico della soluzione progettuale "Cabin" di U-Build. Fonte: <https://u-build.org/designs/cabins/>

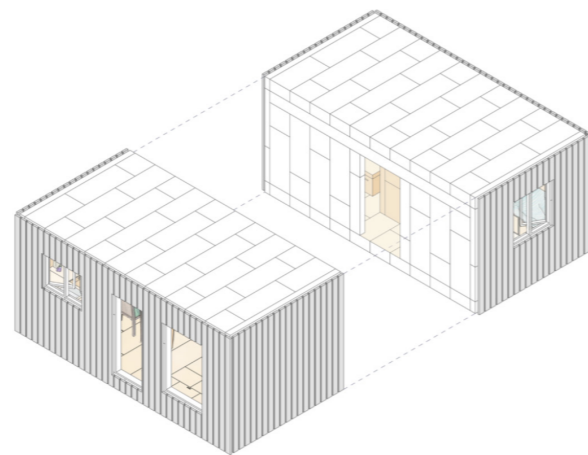


Fig.244. Schema assonometrico e spaccato assonometrico della soluzione progettuale "Temporary Housing" di U-Build. Fonte: <https://u-build.org/designs/temporary-housing-2/>

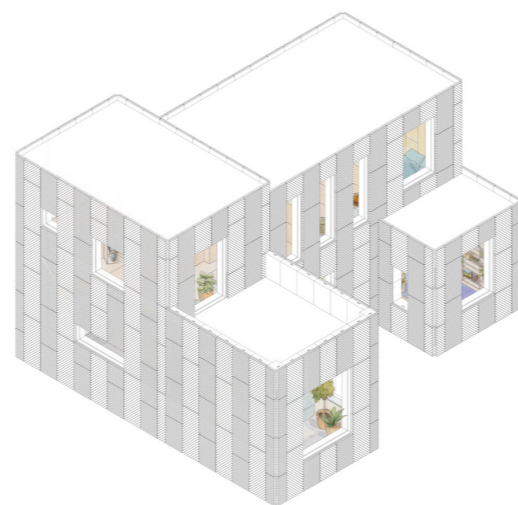


Fig.245. Schema assonometrico e spaccato assonometrico della soluzione progettuale "House" di U-Build. Fonte: <https://u-build.org/designs/new-builds/>

- **Tiny House:** una struttura che fornisce tutte le necessità per una vita con un minore impatto ecologico, essendo mobile, off-grid e con una superficie massima al suolo di 30 m² e un peso massimo di 3500 kg incluso il rimorchio. La soluzione offerta varia da 10 a 30 mq. (vedi fig.242).¹²
- **Cabin:** piccole abitazioni simili alle tiny house ma senza ruote, con dimensioni che vanno dai 10 mq ai 30 mq (vedi fig.243).¹³
- **Temporary Housing:** abitazioni temporanee composte da due moduli abitativi da 3x6m, con un'altezza interna di 2,4m, connessi tra loro. Questi moduli sono progettati per essere assemblati in cantiere o preassemblati e trasportati su un camion, richiedendo solo la connessione dei due moduli in cantiere. Le dimensioni proposte variano da 10 mq a 40 mq. (vedi fig.244).¹⁴
- **House:** abitazioni con dimensioni che vanno dai 40 mq ai 150 mq, distribuite su uno o due piani (vedi fig.245).¹⁵

Costi

Il costo delle soluzioni U-Build varia in base alle dimensioni, al mercato, alla ripetibilità e alla posizione. In linea di massima, si stima un budget di circa £1300-1800 più IVA (equivalenti a circa 1520-2100 euro) per ogni metro quadrato di superficie in-

[org/design-category/self-build-homes/](https://u-build.org/design-category/self-build-homes/)

12. U-Build. (n.d.). Tiny House. Recuperato da <https://u-build.org/designs/tiny-house/>

13. U-Build. (n.d.). Cabins. Recuperato da <https://u-build.org/designs/cabins/>

14. U-Build. (n.d.). Temporary Housing. Recuperato da <https://u-build.org/designs/temporary-housing-2/>

15. U-Build. (n.d.). New Builds. Recuperato da <https://u-build.org/designs/new-builds/>

terna dell'edificio proposto. È possibile ottenere un preventivo direttamente dal sito dell'azienda. Per le **"Tiny House", "Cabin" e "Temporary Houses"**, il prezzo al metro quadrato varia tra 1300 e 1500 sterline (equivalenti a circa **1520-1750 euro**), mentre per le **"House"** il prezzo al metro quadrato è compreso tra 1500 e 1800 sterline (equivalenti a circa **1750-2100 euro**).

Inoltre, se si dispone di un impianto di taglio proprio, è possibile richiedere un preventivo per un'opzione di "solo licenza", che prevede il pagamento di un costo di licenza per ricevere i disegni digitali e auto-produrre i componenti del sistema. I costi di licenza partono da £500 per un piccolo impianto di produzione generalmente composto da una sola macchina CNC.¹⁶

Sistemi impianto

Le abitazioni U-Build possono essere dotate di impianti idraulici, elettrici e di riscaldamento, in modo simile a qualsiasi altra struttura abitativa, sia all'interno della parete che sulla superficie. Il sistema è adatto per una varietà di impianti, compresi quelli off-grid con toilette a compostaggio, pannelli solari e stufe a legna. Tuttavia, U-Build non fornisce né installa direttamente questi impianti, ma offre le informazioni necessarie per assistere i fornitori nell'integrazione dei loro sistemi con il sistema U-Build.¹⁷

Materiali e componenti

I blocchi strutturali delle pareti e dei so-lai sono realizzati in compensato di abete

16. U-Build. (n.d.). FAQs. Recuperato da <https://u-build.org/faqs/>

17. U-Build. (n.d.). FAQs. Recuperato da <https://u-build.org/faqs/>



Fig.246. Trama del comepesanto di abete rosso WISA. Fonte: https://www.wisaplywood.com/siteassets/images/appearance-of-spruce/wisa_spruce_grade_ii-2.jpg?preset=full-width-wide



Fig.247. Progetto U-Build "Name Name Pod" realizzato con blocchi in sughero e pannelli in compensato. Fonte: <https://u-build.org/projects/name-name-pod/>

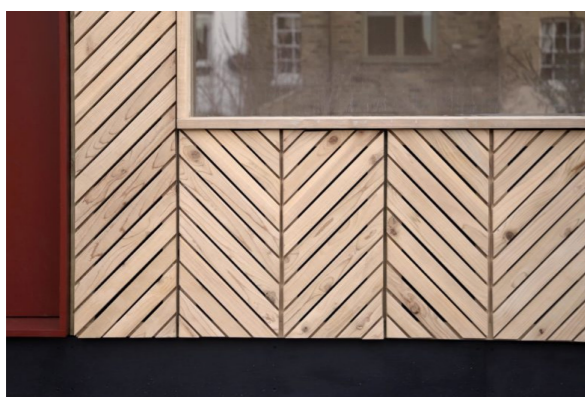


Fig.248. Rivestimento a spina di pesce del sistema U-Build Fonte: <https://u-build.org/projects/garden-studio/>

rosso WISA (vedi fig.246), betulla WISA o OSB Smartply da 18 mm, tutti certificati FSC. Tuttavia, secondo U-Build, questi materiali non sono completamente ignifughi, quindi si consiglia l'uso di un rivestimento antincendio non tossico. Inoltre, si sconsiglia l'impiego di cartongesso per via della sua tossicità ambientale.¹⁸

Per il **fissaggio dei componenti**, vengono utilizzati bulloni, dadi, viti e rondelle zincate, insieme a viti per legno in acciaio inox.¹⁹

Il **materiale isolante all'interno dei blocchi** forniti da U-Build è realizzato su misura con lana di pecora naturale, fornita dall'azienda "Thermafleecce"²⁰, trattata con borace²¹ per renderla ignifuga e senza l'aggiunta di insetticidi. In alternativa, è disponibile anche la fibra di legno fornita dall'azienda "Back to Earth"²². Inoltre, lo studio Bark sta esplorando l'uso del sughero come rivestimento e isolante per le pareti, i solai e le coperture di base come nel progetto "Name Name Pod"²³ (vedi fig.247). Oltre ai materiali isolanti proposti da U-Build, è possibile adattare qualsiasi altro tipo di materiale.

Per il **tetto**, viene comunemente impiegato un **isolante rigido** in poliuretano espanso (PIR)²⁴ ad alta resistenza meccanica, che

18. U-Build. (n.d.). FAQs. Recuperato da <https://u-build.org/faqs/>

19. U-Build. (n.d.). New Builds. Recuperato da <https://u-build.org/designs/new-builds/>

20. Thermafleecce. (n.d.). Home. Recuperato da <https://thermafleecce.com/>

21. Il borace, noto anche come borato di sodio o tetraborato di sodio, è un minerale presente in natura. Può essere incorporato in alcuni prodotti ignifughi, specialmente per materiali a base di legno e cellulosa. Geology Science. (n.d.). Borax. Recuperato da <https://it.geologyscience.com/minerals/borate-minerals/borax/?amp>

22. Back to Earth. (n.d.). Home. Recuperato da <https://www.backtoearth.co.uk/>

23. U-Build. (n.d.). Name Name Pod. Recuperato da <https://u-build.org/projects/name-name-pod/>

24. Il poliuretano espanso rigido è un materiale isolante che, a parità di spessore, garantisce ottime prestazioni. Il suo valore di conducibilità termica λd è stabile nel tempo ed in funzione del tipo di schiuma. Fonte: Piva Group S.p.A. (n.d.). PIR Linea Continua. Recuperato da <https://www.pivagroupspa.com/pannelli-system/pir-li->

viene posizionato sopra i blocchi strutturali, entro i 2,5 metri di altezza dal pavimento. Per altezze superiori, U-Build utilizza pannelli in fibra di legno.

U-Build utilizza **membrane** antiumidità resistenti ai raggi UV e ignifughe fornite dall'azienda "Illbruck"²⁵ per le applicazioni esterne. Per le membrane del tetto, consigliano l'uso di una membrana butilica, ideale anche per tetti verdi.

Per il **rivestimento esterno**, U-Build offre la flessibilità di utilizzare diversi materiali, ma solitamente consiglia il cedro rosso occidentale, l'abete Douglas o il larice in base alla disponibilità provenienti da alberi coltivati nel Regno Unito, con classe di durabilità 3²⁶. U-Build fornisce listelli di dimensioni 40 x 25 mm, da tagliare su misura direttamente in cantiere, applicabili in facciata orizzontalmente, verticalmente o diagonalmente. Inoltre, è possibile optare per un rivestimento a spina di pesce progettato da U-Build in compensato (vedi fig.248).

Per quanto riguarda le finestre e le porte, U-Build fornisce anche modelli realizzati in compensato, tuttavia, non sono certificate secondo alcun standard prestazionale.²⁷

Sistema produttivo

Il processo di produzione è gestito attraverso un flusso di lavoro computazionale

nea-continua#:~:text=Il%20poliuretano%20espanso%20rigido%20%C3%A8%20un%20materiale%20isolante%20che%2C%20a,funzione%20del%20tipo%20di%20schiuma

25. Illbruck. (n.d.). ME220 - Membrana EPDM per esterni. Recuperato da https://www.illbruck.com/it_IT/prodotti/me220-membrana-epdm-per-esterni/

26. Classe 3 = moderatamente durevole; Periodo di vita da 10 a 15 anni. Fonte: BetterWood. (n.d.). Dauerhaftigkeitsklassen. Recuperato da <https://www.betterwood.it/lexikon/dauerhaftigkeitsklassen/>

27. U-Build. (n.d.). New Builds. Recuperato da <https://u-build.org/designs/new-builds/>

parametrico, il quale permette di trasformare i progetti in disegni, costi e visualizzazioni con estrema facilità. Una volta che i disegni sono finalizzati, vengono inviati a uno dei produttori CNC di fiducia, i quali si occupano di realizzare i pannelli tagliati su misura e li consegnano direttamente sul cantiere sotto forma di kit di parti pronte per l'assemblaggio. L'azienda ha sviluppato internamente un software denominato AutoCLAD, il quale calcola il numero, la lunghezza e la forma delle diverse parti e genera una lista di taglio. Questa lista può essere inviata direttamente al cliente o al falegname per l'autoproduzione o per il taglio su misura all'interno del laboratorio di costruzione di U-Build.

Riguardo il numero di pannelli da lavorare per produrre i kit abitativi, U-Build riporta solamente le informazioni riguardo ai pannelli necessari per un modulo "Temporary Housing" (vedi fig.244), riportando che sono necessari 127 pannelli di compensato per un modulo con dimensioni di 3x6m di superficie interna e altezza netta di 2,4m. Per due moduli delle stesse dimensioni, si stimano circa 220 pannelli.²⁸

La produzione dei rivestimenti avviene in diversi modi, a seconda della tipologia di rivestimento. Per il rivestimento a spina di pesce, il legno viene trasformato in singoli pannelli, simili a un traliccio, e quindi attaccato ai listelli applicati sulle facciate delle abitazioni. Questo metodo garantisce che le viti non siano visibili sulla faccia anteriore del rivestimento e che i singoli pannelli siano facili da rimuovere per la manutenzione. Per quanto riguarda i rivestimenti in blocchi

28. U-Build. (n.d.). Temporary Housing. Recuperato da <https://u-build.org/designs/temporary-housing-2/>

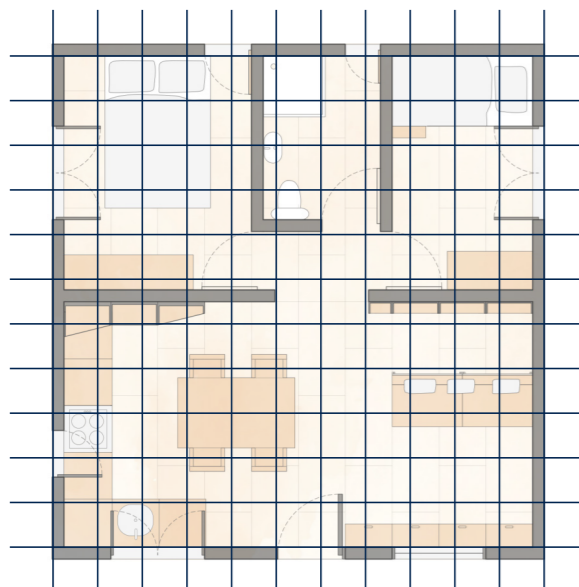


Fig.249. Maglia 300x300mm per la progettazione con il sistema U-Build. Rielaborazione fonte: <https://u-build.org/designs/temporary-housing-2/>

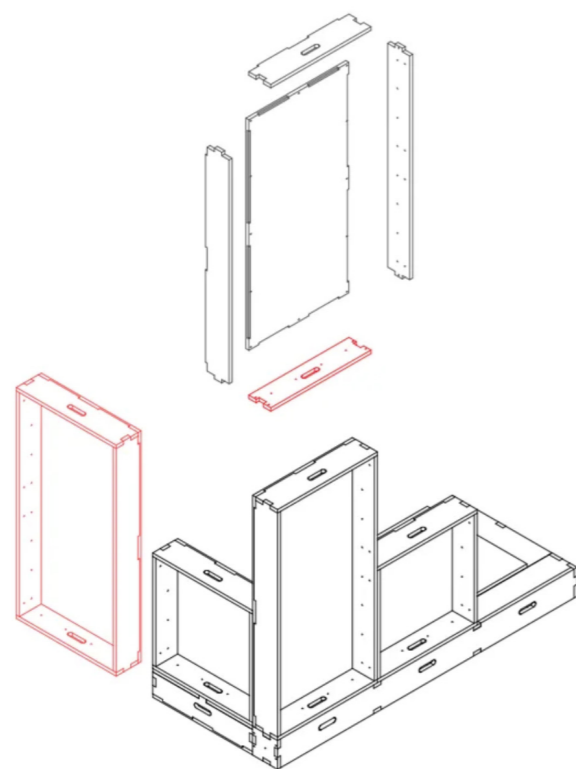


Fig.250. Composizione del blocco tridimensionale strutturale del sistema U-Build tramite l'assemblaggio di pannelli bidimensionali tagliati a macchina CNC. Fonte: <https://www.dezeen.com/2019/05/10/ubuild-studio-bark-modular-architecture/>

di sughero, questi vengono realizzati utilizzando gli scarti del processo di lavorazione dei tappi di sughero. Riscaldando i granuli di sughero, essi si espandono fino a riempire uno stampo, e la resina naturale rilasciata lega i granuli in un blocco solido, senza l'uso di colle o additivi. Le misure più grandi attualmente disponibili sono di 1000 x 500 x 300 e possono essere tagliate o fresate su misura in base alle esigenze.²⁹

Sistema costruttivo

Il sistema costruttivo modulare U-Build si basa sull'utilizzo di pannelli di compensato da 18 mm, che vengono inseriti su una griglia con maglie di 300x300mm (vedi fig.249). I pannelli vengono tagliati tramite una macchina a controllo numerico (CNC), garantendo una precisione di 0,1 millimetri. I blocchi prodotti, insieme ad altri strumenti e componenti (come descritto nella sezione "Kit"), costituiscono il kit abitativo da assemblare direttamente in cantiere. Con strumenti di base, i pannelli bidimensionali vengono assemblati per creare blocchi cavi tridimensionali (vedi fig.250), lasciando spazio interno per l'isolamento termico e il passaggio degli impianti (vedi fig.251). Successivamente, questi blocchi vengono sovrapposti e fissati insieme per formare pareti, pavimenti e la struttura del tetto.

Il sistema costruttivo comprende una varietà di blocchi con diverse dimensioni, tuttavia, U-Build fornisce anche delle dimensioni standard per semplificare il processo di progettazione e costruzione.³⁰

29. U-Build. (n.d.). FAQs. Recuperato da <https://u-build.org/faqs/>
30. U-Build. (n.d.). FAQs. Recuperato da <https://u-build.org/faqs/>

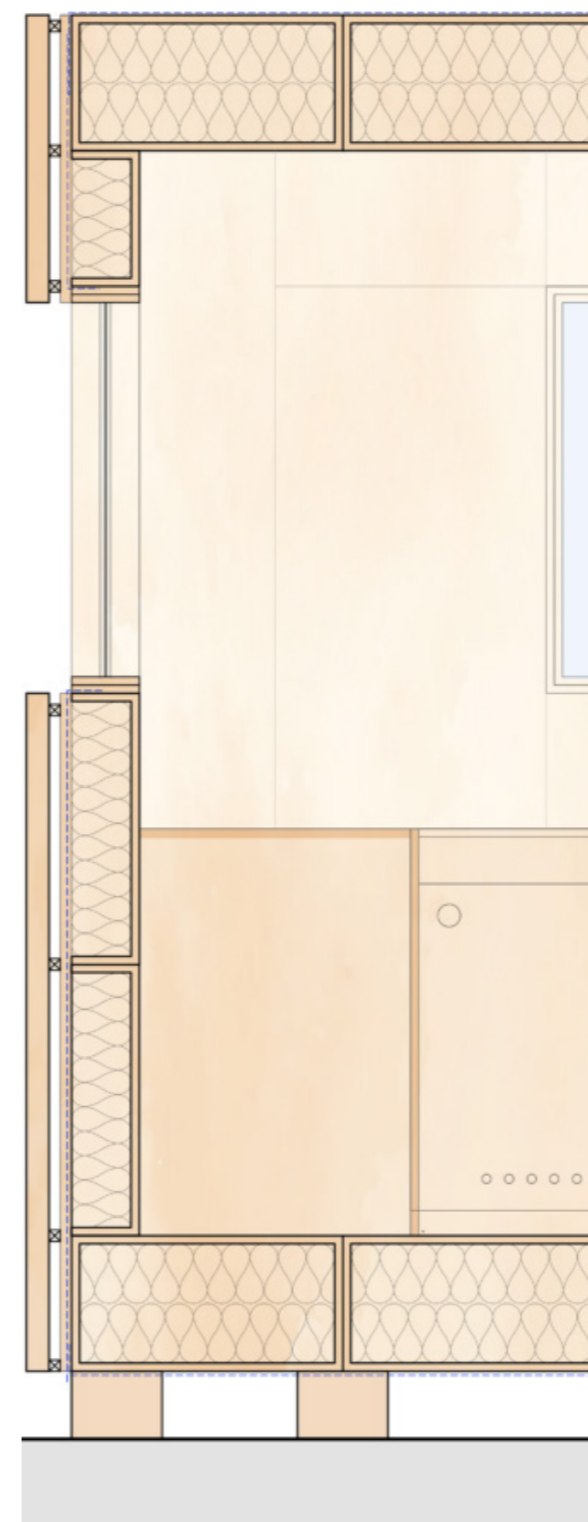


Fig.251. Sezione tipo di un'abitazione U-Build monopiano a tetto piano. Fonte: <https://u-build.org/designs/temporary-housing-2/>

Fondazioni:

Le fondazioni del sistema U-Build variano in seconda del progetto e del tipo di terreno in cui si intende costruire. Esistono diverse opzioni, ma qualsiasi sistema di fondazione scelto deve garantire una pavimentazione livellata su un terreno stabile e capace di sostenere il peso della struttura. Per abitazioni di piccole dimensioni come box da giardino o tiny house, è possibile utilizzare blocchi di cemento leggero, piedi di supporto o fondazioni modulari regolabili senza la necessità di versare cemento o creare fondazioni permanenti. Tra le opzioni disponibili fornite dall'azienda "Shed Base Kits"³¹ si includono:³²

- **Griglie in plastica ProBase:** Questo sistema consiste in griglie da 40mm a 500mm realizzate in plastica riciclata, che possono essere posate direttamente sul terreno previa posa di un manto di separazione. Le abitazioni possono essere collocate direttamente su queste griglie senza ghiaia, supportando un peso massimo di 50 tonnellate, mentre con ghiaia posta tra le griglie, possono sopportare fino a 175 tonnellate. Questo sistema è consigliato, secondo l'azienda, per abitazioni di piccole dimensioni come box da giardino o Tiny house (vedi fig.252).³³
- **Basi in plastica EcoBearer:** Questo sistema può essere applicato direttamente su qualsiasi superficie livellata.

31. Shed Base Kits. (n.d.). Recuperato da <https://shedbasekits.com/>

32. U-Build. (n.d.). FAQs. Recuperato da <https://u-build.org/faqs/>

33. Shed Base Kits. (n.d.). ProBASE Kit 7ft x 6ft Sheds. Recuperato da <https://shedbasekits.com/product/probase-kit-7ft-x-6ft-sheds/>



Fig.252. Sistema di fondazione "ProBase" fornita dall'azienda "Shed Base" consigliata dal U-Build. Fonte: <https://shedbasekits.com/product/design-your-own-probase-kit/>



Fig.253. Sistema di fondazione "EcoBearer" fornita dall'azienda "Shed Base" consigliata dal U-Build. Fonte: <https://shedbasekits.com/product/ecobearer-shed-base-kit/>



Fig.254. Sistema di fondazione "EasyPad" fornita dall'azienda "Shed Base" consigliata dal U-Build. Fonte: <https://shedbasekits.com/product/easypad-kit-for-buildings-5m-x-5m/>



Fig.255. Fondazione a vite. Fonte immagine: <https://www.guidaedilizia.it/product/cusi/pali-avvitati-in-acciaio-paalupiste-pro/>

Consiste nell'applicazione di fasce di supporto ancorate alle travi di fondazione, in grado di sostenere fino a 20 tonnellate. Analogamente alle griglie ProBase, anche questo sistema è adatto per box da giardino o abitazioni di piccole dimensioni come le Tiny house (vedi fig.253).³⁴

- **Basi in cemento EasyPad:** Questo sistema prevede supporti in cls ancorati alle travi del solaio di base tramite staffe in acciaio. Come le altre soluzioni, può essere utilizzato con abitazioni di piccole dimensioni (vedi fig.254).³⁵

Per le abitazioni di grandi dimensioni, come nel caso del progetto "Nest House"³⁶ illustrato nella sezione "Casi studio di realizzazioni" a pagina 198, le fondazioni sono state realizzate mediante un sistema che ha consentito il sollevamento del solaio di base senza l'uso di cemento. Tuttavia, non viene specificato il sistema esatto utilizzato. Si ipotizza che possa trattarsi di un sistema di fondazione a viti in acciaio (vedi fig.255).

Sistema solaio di base:

Nel sistema solaio di base, U-Build adotta principalmente l'uso di solai in blocchi U-Buld in compensato sollevati da terra mediante piedini di supporto, al fine di minimizzare o eliminare completamente l'utilizzo di cemento (sistema che può va-

34. Shed Base Kits. (n.d.). EcoBearer Shed Base Kit for an 8ft x 6ft with 6 Bearers. Recuperato da <https://shedbasekits.com/product/ecobearer-shed-base-kit-for-an-8ft-x-6ft-with-6-bearers/>

35. Shed Base Kits. (n.d.). Easypad Kit for Buildings up to 5m x 3.5m. Recuperato da <https://shedbasekits.com/product/easypad-kit-for-buildings-up-to-5m-x-3-5m/>

36. U-Build. (n.d.). Nest House. Recuperato da <https://u-build.org/projects/nest-house/>

riare a seconda delle caratteristiche delle fondazioni), portando il livello della pavimentazione a circa 300 mm dal suolo (vedi fig.251), il che potrebbe causare problemi a coloro che necessitano di un accesso a livello all'edificio. In tali circostanze, si possono considerare due soluzioni:³⁷

1. Creare un accesso livellato all'ingresso dell'edificio mediante il paesaggio o una rampa. U-build riporta che per una pendenza di 300 mm richiede una rampa di 3,6 m per rispettare una tipica pendenza di del 1,2%.
2. Realizzare una base isolata e livellata scavando nel terreno e utilizzare poi il sistema U-Build solo per le pareti e il tetto. Questo richiede un'attenzione maggiore rispetto all'utilizzo del sistema di pavimentazione U-Build, ma è sicuramente realizzabile.

Sistema Parete:

Le dimensioni degli elementi che costituiscono il sistema costruttivo possono variare in base al progetto, ma solitamente le pareti esterne hanno una larghezza di 225 mm. Queste pareti sono composte da blocchi parete isolati (vedi fig.251) da 150 mm e rivestite esternamente con materiale isolante spesso 75 mm. Per edifici di dimensioni maggiori e per migliorare le prestazioni strutturali e termo-fisiche, gli spessori dei blocchi parete possono variare da 0,15 a 0,3 m, raggiungendo valori di trasmittanza termica pari a U a 0,15 W/m²K.³⁸

37. U-Build. (n.d.). FAQs. Recuperato da <https://u-build.org/faqs/>

38. U-Build. (n.d.). FAQs. Recuperato da <https://u-build.org/faqs/>

Sistema solaio di copertura:

Il solaio di copertura è stato pensato per creare tetti piani (con 50cm di dislivello ogni 3m), tetti a spioventi, come per il caso del progetto "Mill Lane Extension"³⁹ (vedi fig.256). e tetti verdi come nel caso del progetto "Nest House"⁴⁰ (vedi fig.257). U-Build non fornisce il pacchetto per il tetto verde ma, soltanto le membrane isolanti e le informazioni per progettare e contattare fornitori e professionisti.

Lo spessore massimo dei blocchi per il solaio di copertura, come per le pareti, possono essere da 150 mm o 300 mm.⁴¹

Prestazioni

Generalmente per le costruzioni standard di stanze da giardino si possono ottenere valori di trasmittanza ai livelli dei regolamenti edilizi di 0,3 W/m²K e per la costruzione di pareti a doppio spessore è possibile ottenere il valore U a 0,15 W/m²K.

U-Build ha effettuato test di tenuta all'aria su uno degli edifici raggiungendo, senza alcuna membrana, livelli di tenuta all'aria di 2mc/ora/mq a 50Pa, prestazioni 4-5 volte⁴² migliore rispetto alle normative attualmente in vigore(2024) nel Regno Unito. Con l'aggiunta della membrana esterna, si possono soddisfare i livelli di tenuta all'aria della Passivhaus⁴³.

39. U-Build. (n.d.). Mill Lane Extension. Recuperato da <https://u-build.org/projects/ bespoke-projects/>

40. U-Build. (n.d.). Nest House. Recuperato da <https://u-build.org/projects/nest-house/>

41. U-Build. (n.d.). FAQs. Recuperato da <https://u-build.org/faqs/>

42. U-Build. (n.d.). New Builds. Recuperato da <https://u-build.org/designs/new-builds/>

43. L'ermeticità di una casa passiva deve essere dimostrata con un test di pressione in cui il ricambio d'aria consentito non può superare 0,6 volte il volume di una stanza all'ora e il differenziale di pressione è limitato a 50 Pascal. Fonte: Passive House International. (n.d.). What is a Passive House? Recuperato da <https://passivehouse.org/>



Fig.256. Tetto a spiovente del progetto U-Build "Mill Lane Extension". Fonte: <https://u-build.org/projects/bespoke-projects/>



Fig.257. Tetto a spiovente del progetto U-Build "Nest House". Fonte: <https://u-build.org/projects/nest-house/>

U-build inoltre afferma che il sistema supera i requisiti attuali del regolamento edilizio e che una sezione di una parete è in grado di resistere a un carico laterale di 1 tonnellata senza subire danni.⁴⁴

KIT

Il kit abitativo fornito da U-Build, nel caso in cui i componenti non vengano autoprodotti, include i seguenti elementi:⁴⁵

Disegni progettuali: schemi dettagliati che illustrano il progetto personalizzato dell'abitazione.

1. Istruzioni: linee guida passo-passo su come assemblare il kit abitativo (vedi fig.258).
2. Pannelli per i blocchi scatorali: pannelli bidimensionali in compensato da assemblare per comporre i blocchi di parete, solaio e copertura dell'abitazione (vedi fig.259).
3. Elementi di fissaggio: dadi, bulloni, viti e rondelle necessari per il montaggio dei blocchi scatorali.
4. Porte e finestre (se richieste): realizzate in compensato. Richiedono assemblaggio e/o finitura in cantiere.
5. Isolamento: materiale isolante da inserire all'interno dell'intercapedine dei blocchi scatorali di parete, solaio e copertura.
6. Impermeabilizzazione: membrana traspirante per le pareti e solaio di base e una membrana butilica per il solaio di copertura.

[vehouse-international.org/index.php?page_id=80#:~:text=A%20Passive%20House's%20airtightness%20must,ist%20limited%20to%2050%20Pascals](https://www.vehouse-international.org/index.php?page_id=80#:~:text=A%20Passive%20House's%20airtightness%20must,ist%20limited%20to%2050%20Pascals)

44. U-Build. (n.d.). FAQs. Recuperato da <https://u-build.org/faqs/>

45. U-Build. (n.d.). FAQs: What comes in the box. Recuperato da <https://u-build.org/faqs/>



Fig.258. Book tipo di un progetto U-Build. Fonte: <https://studio-bark.co.uk/projects/manbey-pod>



Fig.259. Componenti per l'autostruzione di un blocco in compensato U-build. Fonte: <https://www.dezeen.com/2019/05/10/ubuild-studio-bark-modular-architecture/>

7. Rivestimento: listelli da tagliare in cantiere in diversi materiali in base alla disponibilità o preferenze dell'utente (cedro rosso occidentale, abete Douglas o larice).

Autocostruzione

Il sistema U-Build coinvolge gli utenti nella progettazione e costruzione, riflettendo il concetto di partecipazione implicito nella "U" del suo nome. Le istruzioni dell'azienda dettano gli strumenti necessari (martello di gomma, trapano a batteria, livella a bolla d'aria o livella laser, metro a nastro, pistola o coltello Stanley) e le modalità di assemblaggio, garantendo un processo corretto e guidato per costruire la struttura abitativa. Tutti i materiali necessari per l'assemblaggio dell'edificio sono inclusi nel kit. Per l'assemblaggio delle abitazioni, U-Build raccomanda l'uso di ponteggi fissi con tetto coperto per proteggere i pannelli e gli operatori dalla pioggia, garantendo un ambiente di lavoro sicuro e protetto durante tutto

il processo di costruzione.⁴⁶

Realizzazioni

U-Build ha realizzato diversi progetti, ma il numero di abitazioni è limitato. Tra i progetti di abitazioni di dimensioni superiori a quelle delle "cabin" o delle "Tiny house", ci sono solo due realizzazioni: "Box House: As seen on Grand Designs"⁴⁷ e "Nest House"⁴⁸. Le abitazioni di dimensioni più contenute includono "Tiny House"⁴⁹, "Olive: Unplugged Cabins"⁵⁰ e "Basil and Gruff: Unplugged Cabins"⁵¹. Gli altri progetti si focalizzano principalmente su installazioni temporanee, arredi e un'unica estensione di un'abitazione⁵².

46. U-Build. (n.d.). FAQs. Recuperato da <https://u-build.org/faqs/>

47. U-Build. (n.d.). U-Build Box House: As seen on Grand Designs.

Recuperato da <https://u-build.org/projects/u-build-box-house/>

48. U-Build. (n.d.). Nest House. Recuperato da <https://u-build.org/projects/nest-house/>

49. U-Build. (n.d.). Tiny House. Recuperato da <https://u-build.org/projects/tiny-house/>

50. U-Build. (n.d.). Olive: Unplugged Cabins. Recuperato da <https://u-build.org/projects/olive-unplugged-cabins/>

51. U-Build. (n.d.). Basil and Gruff: Unplugged Cabins. Recuperato da <https://u-build.org/projects/unplugged/>

52. U-Build. (n.d.). Mill Lane Extension. Recuperato da <https://u-build.org/projects/bespoke-projects/>

Casi studio di realizzazioni

Nest House, Regno Unito



Fig.260. Progetto dello Studio Bark "Nest House" autocostruito con il sistema U-Build. Fonte: <https://u-build.org/projects/nest-house/>

Tipologia: "House" monopiano

Nest House è uno dei più grandi progetti collaborativi per una casa eco-accessibile monopiano con 3 camere da letto. U-Build ha fornito l'intera struttura dell'edificio, compresi pavimenti, pareti, tetto, pareti interne e porte, oltre a fornire indicazioni sulla specifica dei materiali e dei dettagli e supporto in loco. Il progetto è stato ideato da Studio Bark, che ha ottenuto il permesso di costruzione per il cliente e lo ha guidato attraverso la fase di dettaglio tecnico. Il progetto è stato gestito da Studio Bark Projects, nell'ambito della loro innovativa iniziativa No Building As Usual, che supporta studenti provenienti da diverse background nell'ambito della costruzione ambientale.

Le fondazioni sono composte da una base

compatta di ghiaia con piedini di supporto modulari regolabili (e rimovibili), il tutto senza utilizzare il cemento.

L'intera struttura non presenta alcuna trave massiccia, ma è costituita esclusivamente da blocchi in compensato progettati appositamente. Questi blocchi, con dimensioni di 300 mm e un'altezza massima di 2,4 m, vengono utilizzati per le pareti, il solaio di base e il tetto, garantendo una trasmissione del calore (valore U) di 0,15 W/m²K. L'intero edificio funziona con corrente elettrica continua, utilizzando pannelli solari, batterie e riscaldamento ad infrarossi intelligente per ridurre drasticamente l'energia operativa dell'edificio.⁵³

53. U-Build. (n.d.). Nest House. Recuperato da <https://u-build.org/projects/nest-house/>



1. Assemblaggio e fissaggio dei pannelli bidimensionali in compensato



4. Assemblaggio dei blocchi solaio speciali che fungono da trave



2. Blocchi tridimensionali per pareti, solaio di base e solaio di copertura



5. Assemblaggio dello strato impermeabilizzanti, della pavimentazione esterna e della veranda



3. Assemblaggio del solaio di base e parte inferiore del sistema parete



6. Pannelli solari usati come copertura della veranda

Fig.261. Fasi costruttive e componenti del progetto Studio Bark "Nest House" autocostruito con il sistema U-Build. Fonte: <https://u-build.org/projects/nest-house/>

Box House, Graven Hill, Bicester, Regno Unito, 2017Fig.262. Progetto dello Studio Bark "Nest House" autocostruito con il sistema U-Build. Fonte: <https://u-build.org/projects/nest-house/>**Tipologia:** "House" a 2 piani

Il progetto Box House È stato sviluppato da Studio Bark con l'aiuto di Structure Workshop e Cut and Construct. È una grande casa con 2 camere da letto con la possibilità di trasformarsi in una casa con 3 camere in futuro. Il layout interno è stato progettato per essere luminoso e aperto, mentre l'esterno è stato dettagliato con cura con rivestimento in legno nero.⁵⁴

La costruzione del guscio e del nucleo in compensato di abete rosso del prototipo di casa da 95 mq con 2 camere da letto ha richiesto solo 4 settimane. Questo è stato realizzato dai clienti Chris e Roxie e da

un piccolo team di studenti di architettura, con l'assistenza dello Studio Bark Projects. Nelle successive 8 settimane l'allestimento interno (cucina, scala e partizioni interne) è stato completato dallo Studio Bark Projects. Mentre ciò accadeva, altri appaltatori commerciali installarono i servizi meccanici ed elettrici e il tetto verde. Questo progetto è stato una delle 10 case pilota costruite una accanto lungo la prima strada a Graven Hill (sviluppo pionieristico di case Custom and Self Build del 1900 (CSH)).⁵⁵

54. U-Build. (n.d.). U-Build Box House. Recuperato da <https://u-build.org/projects/u-build-box-house/>

55. Studio Bark. (n.d.). Box House. Recuperato da <https://studio-bark.co.uk/projects/box-house>



1. Parete interna divisoria con i blocchi parete strutturali non tamponate ed usate come mensole



4. Sistema solaio di copertura non tamponato e con l'isolamento ad estradosso



2. Solaio a sbalzo su sala da pranzo



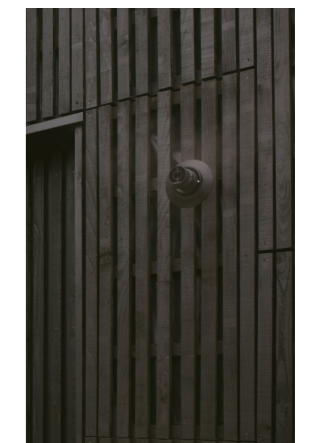
5. Sistema di impianto idrico a vista



3. Sistema scale con ogni componenti tagliato su misura



6. A sx il discendente, mentre a dx la bocchetta di ventilazione. Entrambi si mimetizzano in facciata

Fig.263. Dettagli del progetto "Box House" autocostruito con il sistema U-Build. Fonte: <https://u-build.org/projects/u-build-box-house/>

Basil and Gruff: Unplugged Cabins, Regno Unito

Fig.264. Progetto "Basil and Gruff" autocostruito con il sistema U-Build. Fonte: <https://u-build.org/projects/unplugged/>



Fig.266. Zona giorno del progetto "Basil and Gruff" autocostruito con il sistema U-Build. Fonte: <https://u-build.org/projects/unplugged/>



Fig.265. Zona notte del progetto "Basil and Gruff" autocostruito con il sistema U-Build. Fonte: <https://u-build.org/projects/unplugged/>



Fig.267. Arredi del progetto "Basil and Gruff" autocostruiti con il sistema U-Build. Fonte: <https://u-build.org/projects/unplugged/>

Tipologia: "Cabin"

Le cabine Unplugged sono realizzate per soggiorni digital detox nella natura, dove gli ospiti sono invitati a bloccare i loro telefoni all'ingresso e godere di intrattenimento analogico. Costruite in collaborazione con Unplugged.rest, sono completamente fuori rete e sostenibili, con un design innovativo e reversibile. Sono state realizzate 10 cabine Unplugged situate in diverse località nel Regno Unito. Le cabine seguono il de-

sign del progetto "Cabin" presentato nella sezione "Soluzioni abitative". In questo progetto, il sistema U-Build non solo viene impiegato per la costruzione delle pareti, del solaio di base e del tetto, ma anche per la realizzazione degli arredi.⁵⁶

56. U-Build. (n.d.). Unplugged. Recuperato da <https://u-build.org/projects/unplugged/>

Tiny House, Regno Unito, 2020

Fig.268. Abitazione "Tiny House" autocostruita con il sistema U-Build. Fonte videoclip: <https://u-build.org/project-category/houses-cabins/>



Fig.269. Trasporto su ruote dell'abitazione "Tiny House" autocostruita con il sistema U-Build. Fonte videoclip: https://www.youtube.com/watch?v=jybCXQxball&t=40s&ab_channel=U-Build

Tipologia: Tiny House

La Tiny House su ruote è stata ideata da Connie e Jasper come risposta alla consapevolezza dell'importanza della propria abitazione nel contesto post Covid-19, con l'obiettivo di abbracciare uno stile di vita più semplice e in contatto con la natura, con la flessibilità di poter spostare la propria casa. Questa Tiny House si estende su una pianta di 16m2 e include un bagno, una zona letto, un armadio, una cucina e



Fig.270. Assemblaggio della struttura dell'abitazione "Tiny House", U-Build. Fonte videoclip: https://www.youtube.com/watch?v=jybCXQxball&t=40s&ab_channel=U-Build



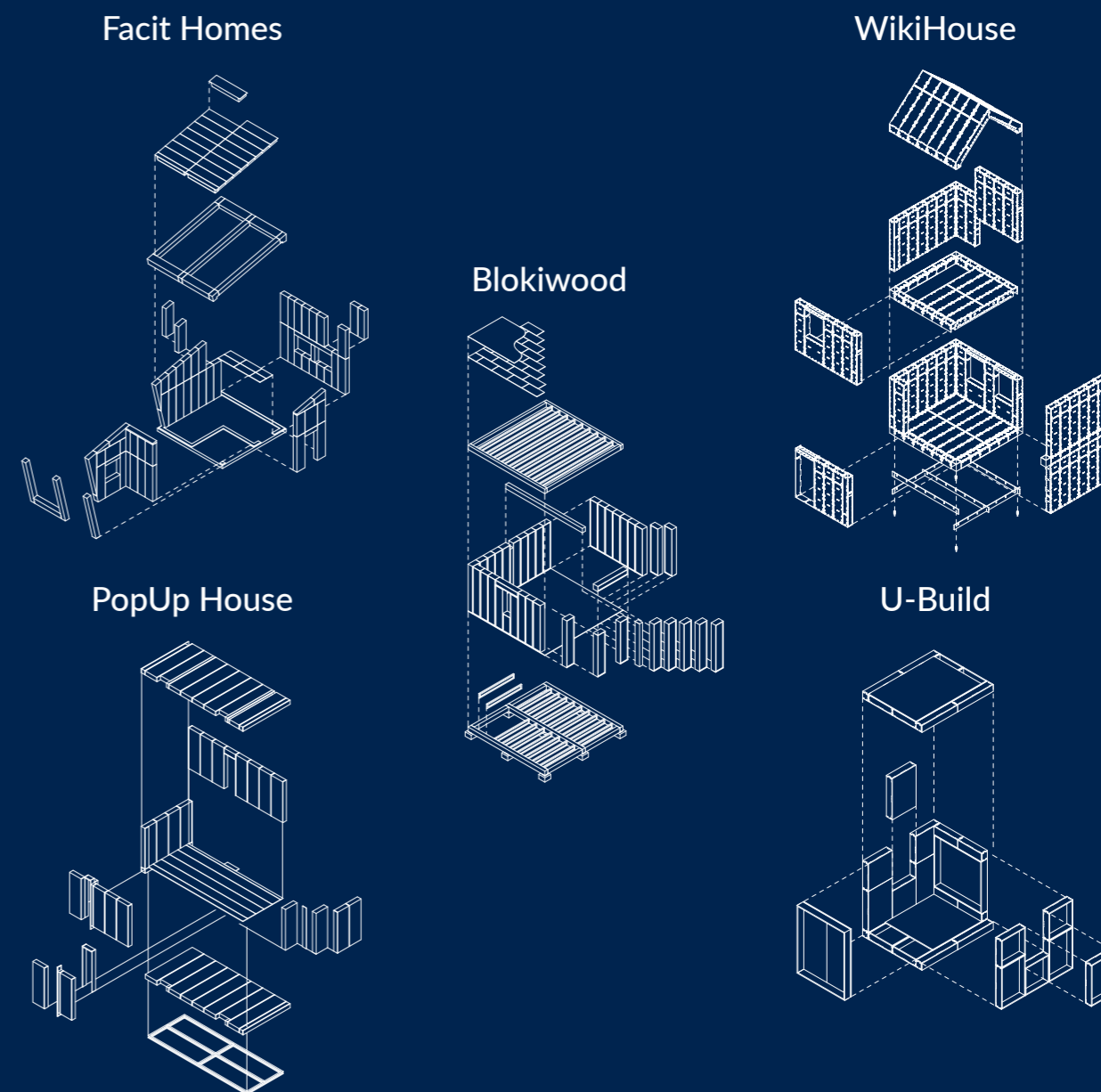
Fig.271. Assemblaggio del rivestimento in sughero dell'abitazione "Tiny House", U-Build. Fonte videoclip: https://www.youtube.com/watch?v=jybCXQxball&t=40s&ab_channel=U-Build

una lavanderia. Costruita su un rimorchio a ruote, utilizza i blocchi U-Build non solo per le pareti, il pavimento e il tetto, ma anche per gli arredi interni. Presenta un tetto a spiovente e un rivestimento esterno in sughero.⁵⁷

57. U-Build. (n.d.). Tiny House. Recuperato da <https://u-build.org/projects/tiny-house/>

4.6

Rappresentazione dei sistemi costruttivi



La rappresentazione dei sistemi costruttivi è stata sviluppata su una base quadrata di dimensioni 5m x 5m, con possibilità di sviluppo su uno o due piani, attraverso l'assemblaggio dei componenti del sistema costruttivo. Tra i sistemi considerati, WikiHouse offre un kit di componenti finiti, mentre Facit Homes, Blokiwood, PopUp House e U-Build adattano il proprio sistema in base alle necessità, modificando le dimensioni dei blocchi. Nel caso di

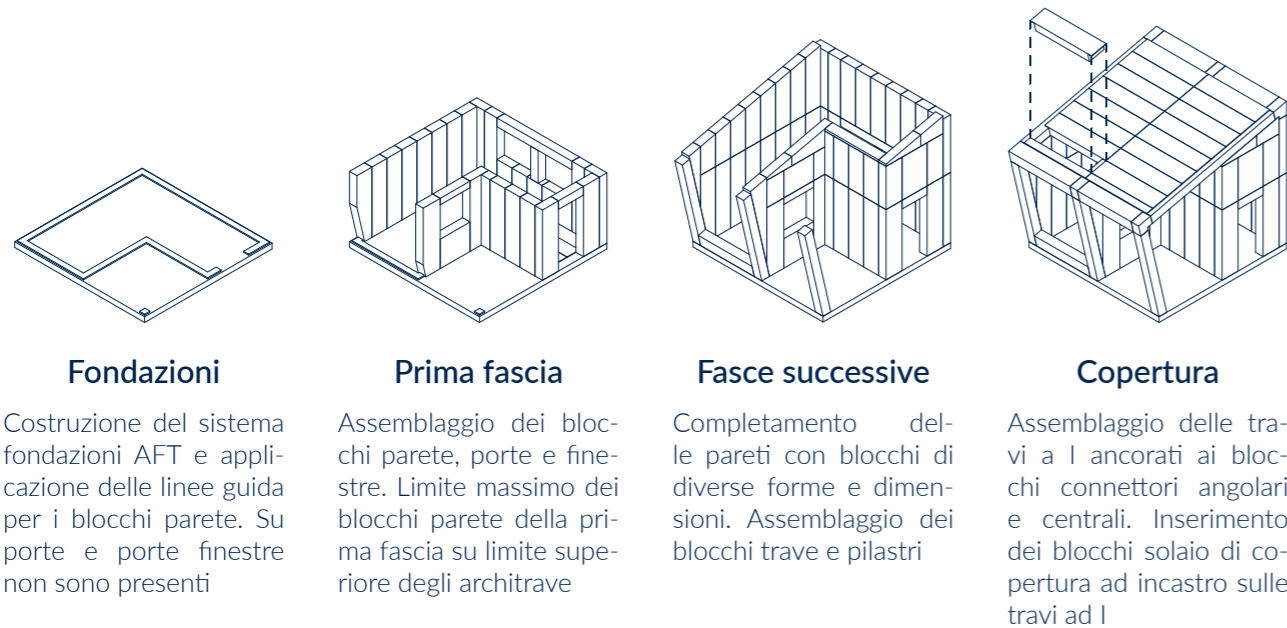
WikiHouse, sono stati utilizzati i blocchi scaricati dal sito web di WikiHouse, mentre per gli altri sistemi si sono ipotizzati dei componenti di un kit, mantenendo comunque le dimensioni standard di larghezza o altezza dei componenti. Attraverso la rappresentazione dei sistemi sono state evidenziate le peculiarità di ciascun sistema, come ad esempio le pareti inclinate nel caso di Facit Homes.

Rappresentazione del sistema Facit Homes

Legenda dei componenti

1. Sistema fondazioni Facit AFT (Advanced Foundation Technology) composta da travi rovesce isolate con EPS da 300mm e soletta in cemento armato da 100mm
2. Pannelli guida per il posizionamento dei blocchi parete
3. Pavimentazione
4. Prima fascia di blocchi parete rettangolari in compensato di abete rosso con isolamento interno insufflato in EPS "Supabeed"
5. Pannelli in compensato di chiusura del blocco porta e finestra
6. Blocco sottofinestra con isolamento insufflato
7. Blocco montante finestra
8. Blocco architrave per porte e finestre
9. Seconda fascia di blocchi parete
10. Seconda fascia di blocchi parete con bordo superiore inclinato
11. Terza fascia di blocchi parete con bordo superiore inclinato
12. Blocco trave in compensato
13. Blocco pilastro in compensato
14. Blocco di connessione dell'angolo parete-copertura
15. Blocco centrale di connessione tra parete e copertura
16. Trave a I in legno lamellare
17. Blocco di copertura in compensato di chiusura del sistema tetto
18. Blocco di copertura con alette laterali per fissaggio sulle travi ad I

Fasi di assemblaggio



Rappresentazione basata sulle fasi costruttive del progetto di "Villa Asserbo" (pg. 118-119) e di villa "London House" (pg. 122-123).

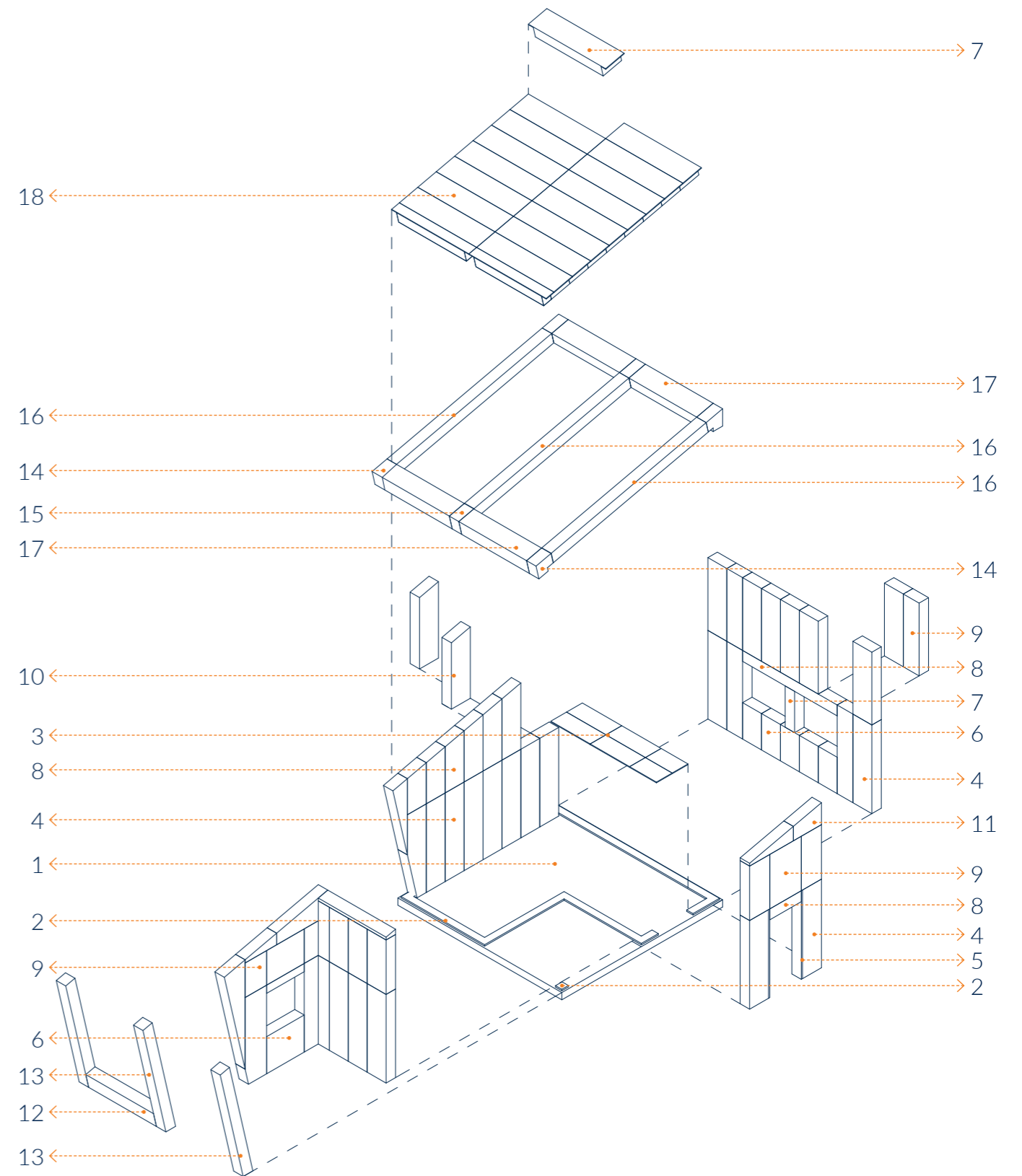


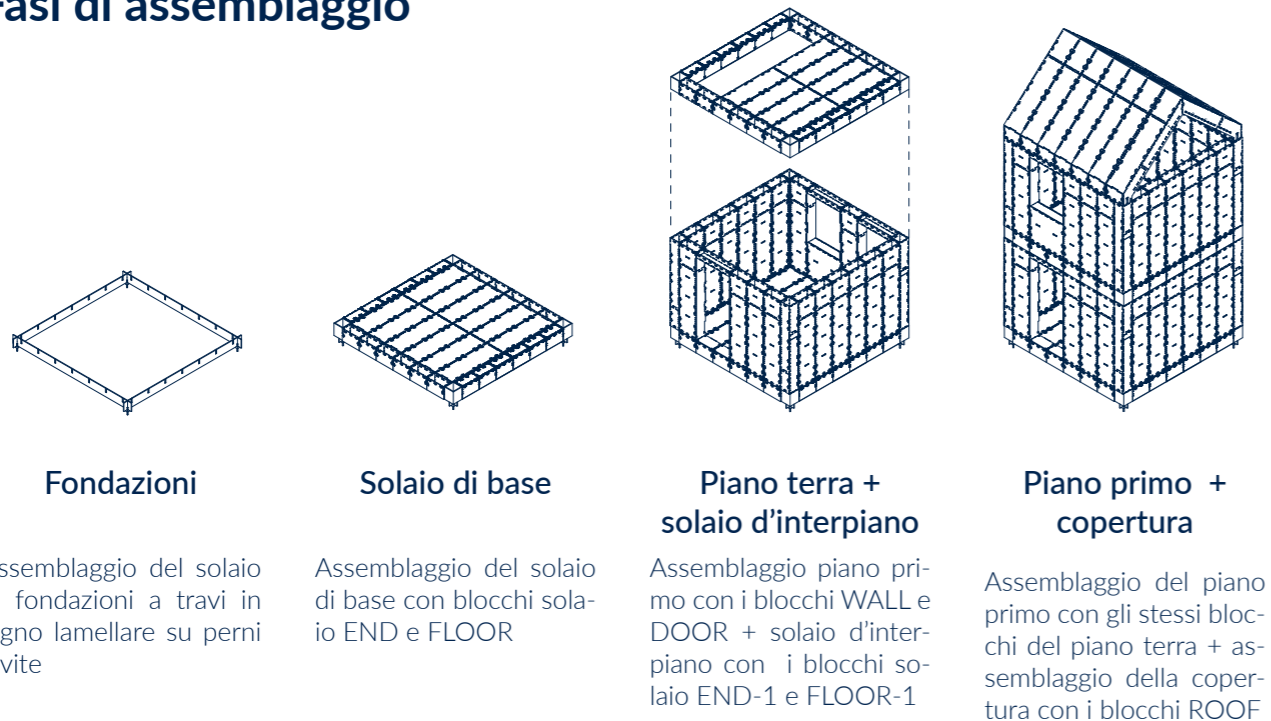
Fig.272. Elaborazione a cura di Jean Carlos Lapo Procel

Rappresentazione del sistema WikiHouse - Skylark250

Legenda dei componenti

- | | |
|--|---|
| 1. Vite di appoggio del sistema fondazione
Peso: 49kg | 8. Blocco porta DOOR-L2
Dimensione: w318 x 1200 x h2700mm
Peso: 70kg |
| 2. Trave del sistema fondazioni (componente non presente sull'abaco. Elaborazione propria) | 9. Blocco solaio d'interpiano perimetrale END-XS-1
Dimensione: w4236 x l318 x h380mm
Peso: 48kg |
| 3. Blocco solaio di base perimetrale END-XS-O
Dimensione: w4236 x l318 x h380mm
Peso: 54kg | 10. Blocco solaio d'interpiano FLOOR-XS-1
Dimensione: w4236 x l600 x h380mm
Peso: 64kg |
| 4. Blocco solaio di base FLOOR-XS-0
Dimensione: w4236 x l318 x h380mm
Peso: 54kg | 11. Blocco di chiusura solaio d'interpiano (ipotizzato) |
| 5. Blocco parete WALL-L
Dimensione: w318 x l600 x h2700mm
Peso: 53kg | 12. Blocco solaio di base ROOF-XS42
Dimensione: w4236 x l600 x h380mm
Peso: 52kg |
| 6. Blocco angolo parete CONER-L
Dimensione: w318 x l318 x h2700mm
Peso: 37kg | |
| 7. Blocco porta DOOR-L1
Dimensione: w318 x 1200 x h2700mm | |

Fasi di assemblaggio



Rappresentazione basata sulla composizione dei blocchi modulari del sistema WikiHouse delle pagine 134 -135

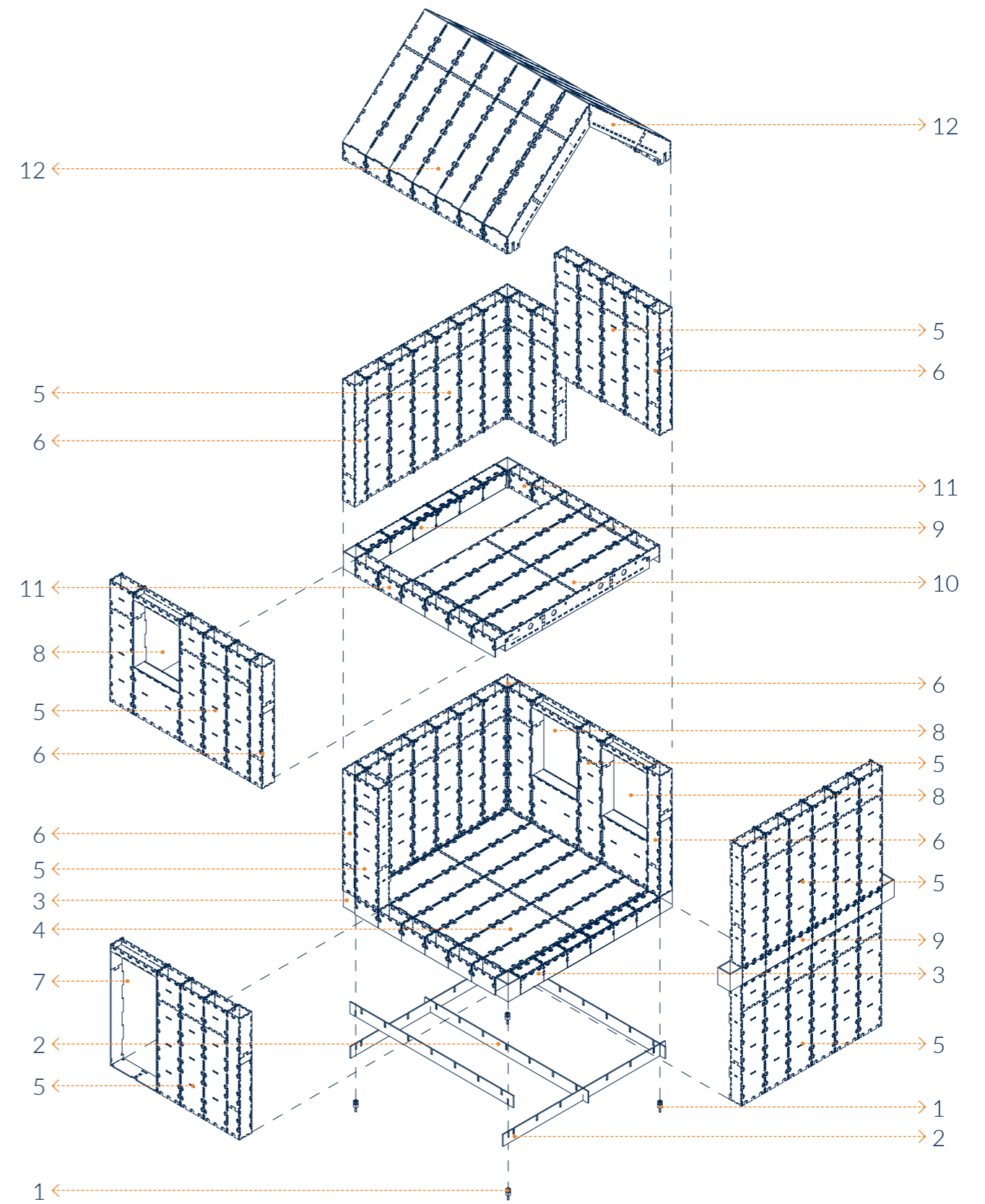


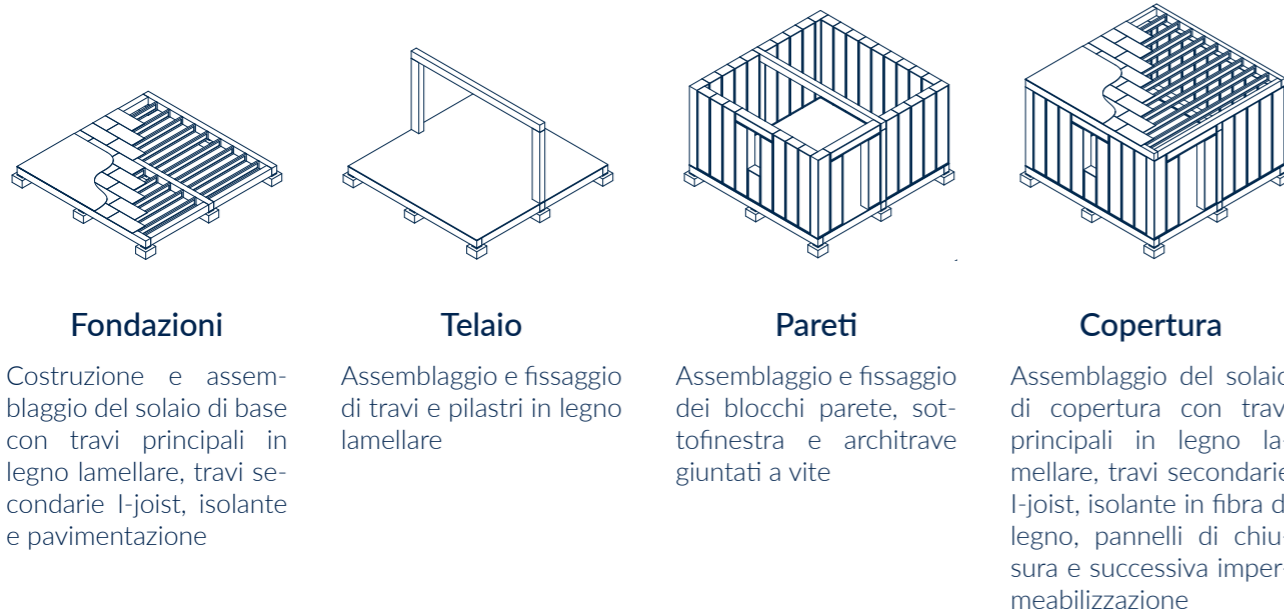
Fig.273. Elaborazione a cura di Jean Carlos Lapo Procel

Rappresentazione del sistema Blokiwood

Legenda dei componenti

- | | |
|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Blocchi in C.A. di appoggio per il sistema solaio di base 2. Trave principale in legno lamellare del solaio di base 3. Trave secondaria I-Joist 4. Isolante (materiale non specificato) 5. Pannelli guida per il posizionamento dei blocchi parete 6. Pavimentazione 7. Blocco parete in OSB e legno ibrido RWH
Dimensione: w300 x l60 x h2800mm
Peso: 60kg max 8. Blocco sottofinestra in OSB e RWH
Peso < 60kg | <ol style="list-style-type: none"> 9. Blocco architrave in OSB e RWH 10. Pilastro in legno lamellare 11. Trave in legno lamellare del solaio d'interpiano 12. Trave principale in legno lamellare del solaio di copertura 13. Isolante in fibra di legno "Steic Zell" da 300mm di spessore 14. Pannello in legno di chiusura del solaio di copertura 15. Telo impermeabilizzante |
|---|---|

Fasi di assemblaggio



Rappresentazione basata sulle fasi costruttive delle pagine 156-157

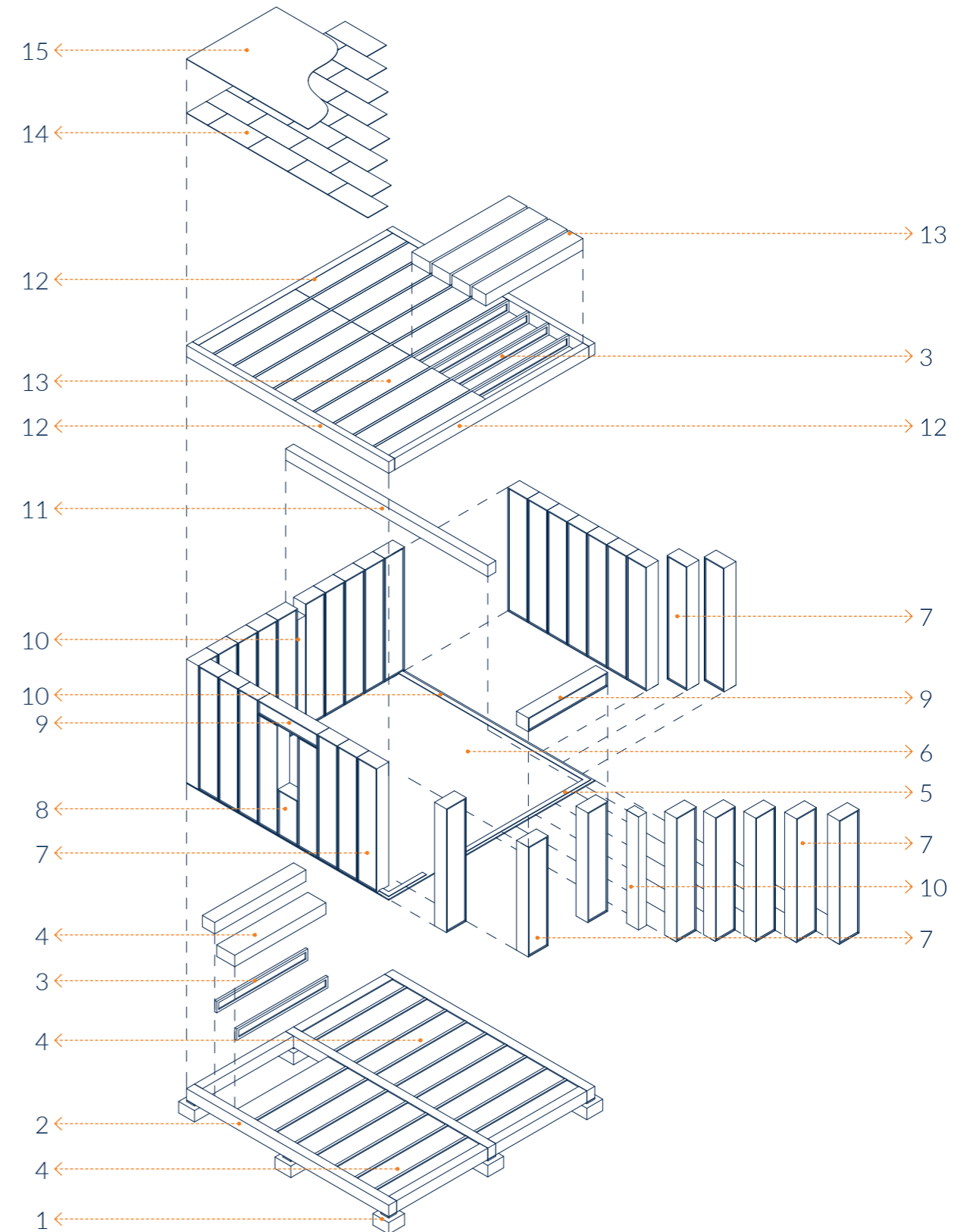


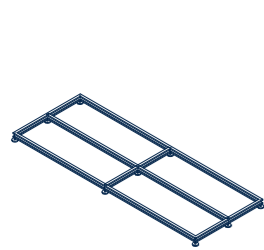
Fig.274. Elaborazione a cura di Jean Carlos Lapo Procel

Rappresentazione del sistema PopUp House

Legenda dei componenti

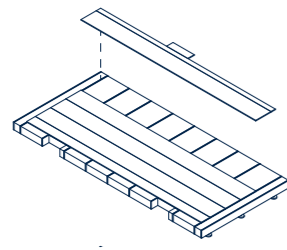
1. Viti per fondazione a vite
2. Travi ad H in LVL. Lunghezza massima 14m
Dimensioni ipotizzate: 70x200mm
3. Pannello in LVL di irrigidimento di solai e pareti in di spessore 27mm, larghezza 300mm e lunghezza massima da 24,50m
4. Blocco isolante in polistirene espanso da 300mm di spessore. Dimensioni variabili in lunghezza e larghezza. Densità di 30 kg/m³
5. Pannelli pavimentazione del solaio di base in LVL di spessore 27 mm, lunghezza massima di 24,50 m, larghezza ipotizzata di 700 mm circa
6. Pannello in LVL di del blocco finestra cielo terra di spessore 27mm, larghezza 300mm e lunghezza massima da 24,50m
7. Blocco finestra cielo terra composto da pannelli LVL
8. Pannello architrave in LVL di 60 mm di spessore ipotizzato, con una larghezza di 300 mm e una lunghezza ipotizzata di 1m

Fasi di assemblaggio



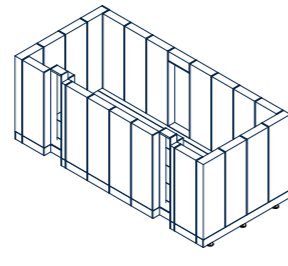
Fondazioni

Costruzione delle fondazioni a viti con successivo fissaggio delle travi ad H



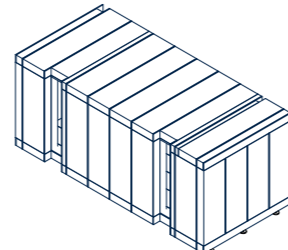
Solaio di base

Assemblaggio e fissaggio dei pannelli di irrigidimento dei solai affiancati ai blocchi isolanti in polistirene espanso con successiva applicazione dei pannelli della pavimentazione



Pareti

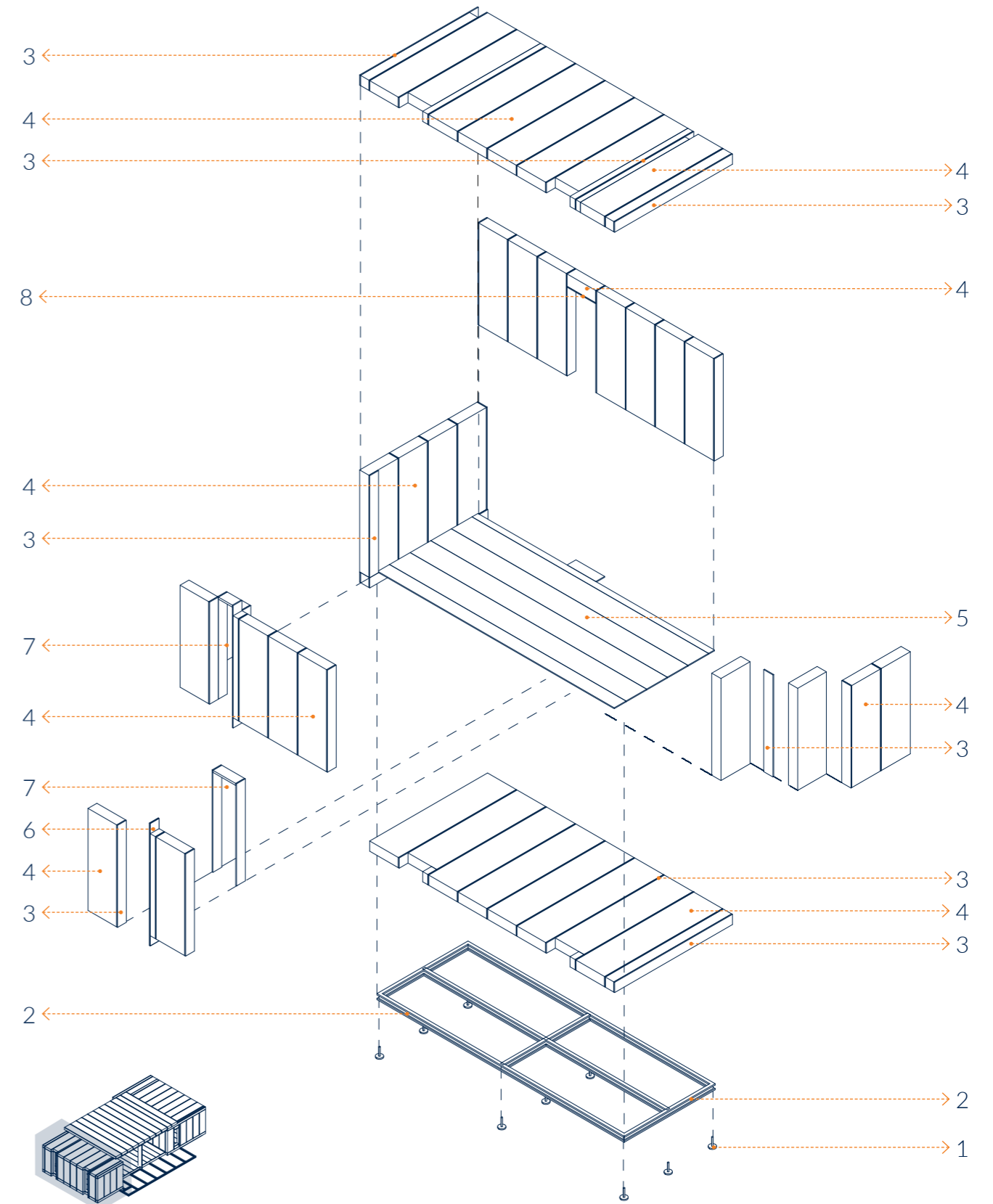
Assemblaggio e fissaggio dei pannelli di irrigidimento delle pareti affiancati ai blocchi isolanti in polistirene espanso



Copertura

Assemblaggio e fissaggio dei pannelli di irrigidimento del solaio di copertura affiancati ai blocchi isolanti in polistirene espanso

Rappresentazione del blocco sinistro del progetto "Maison passive montée en 4 jours" riportato a pagina 177



Blocco sinistro progetto "Maison passive montée en 4 jours" a pagina 174-175

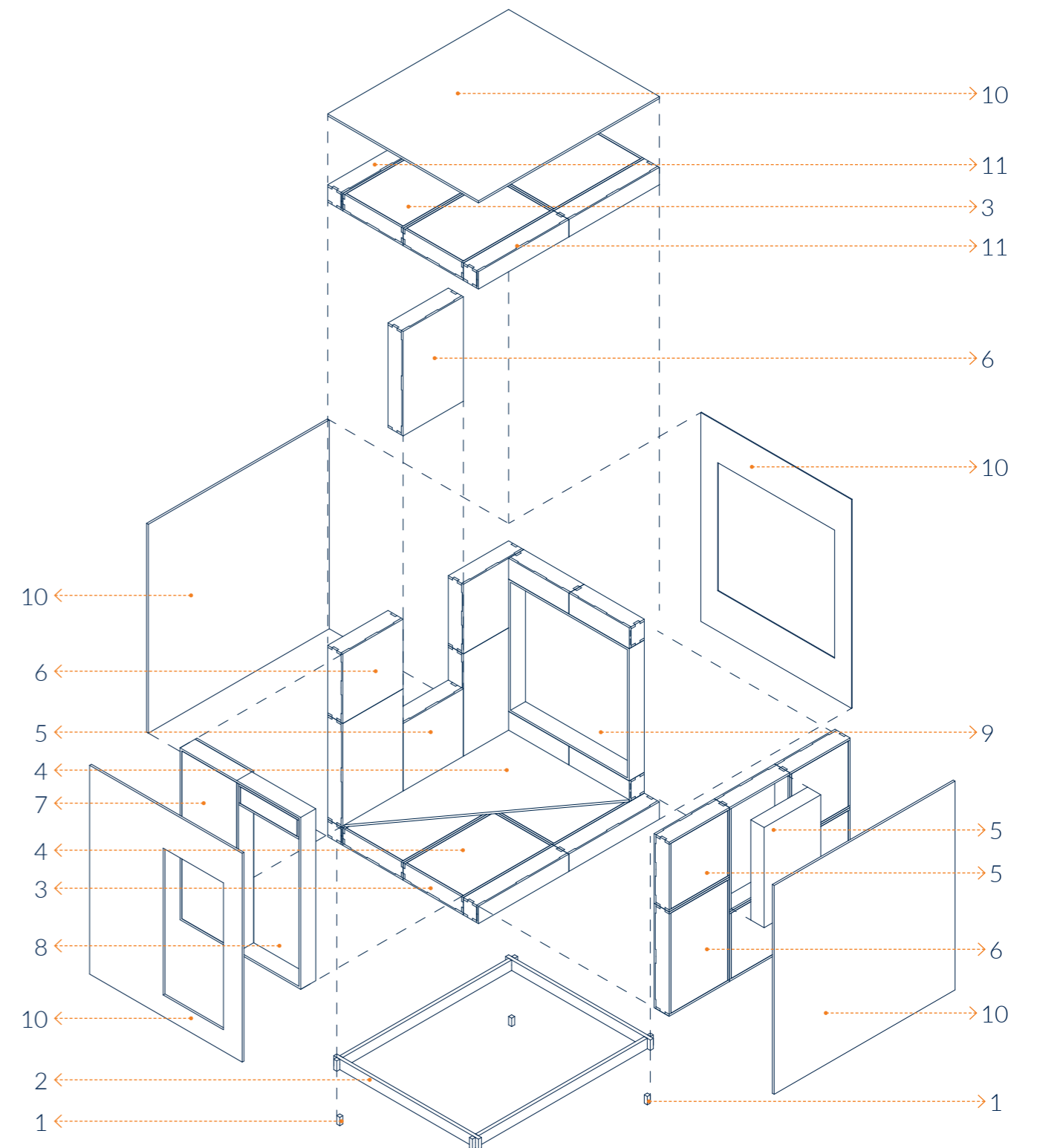
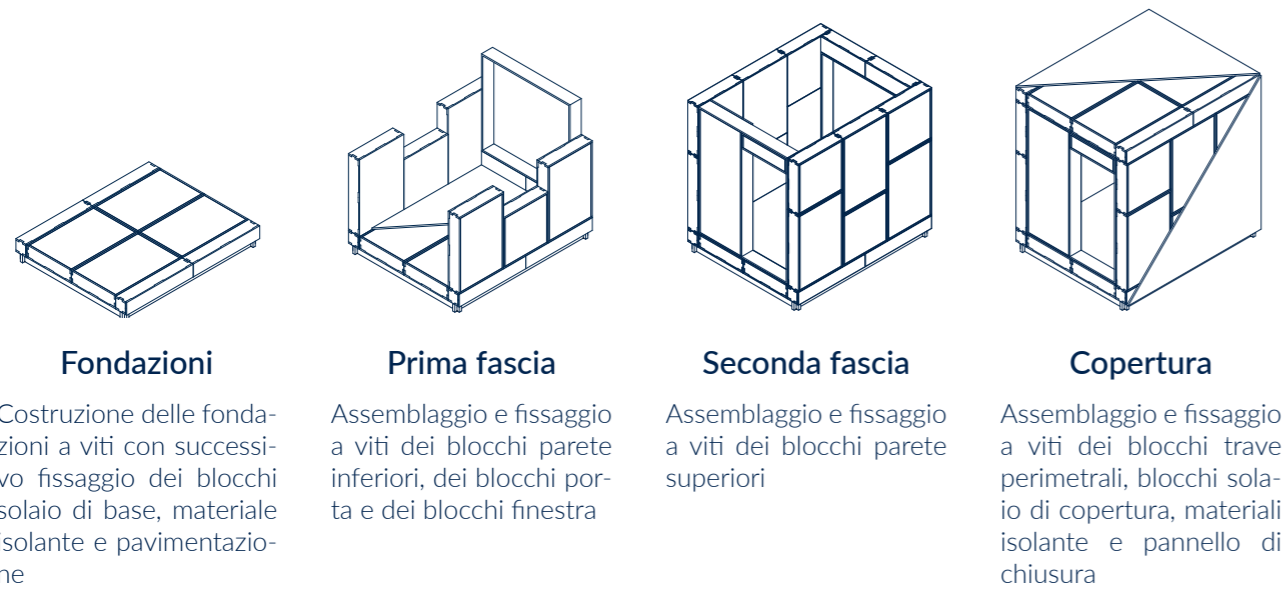
Fig.275. Elaborazione a cura di Jean Carlos Lapo Procel

Rappresentazione del sistema U-Build

Legenda dei componenti

- | | |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Viti per fondazione a vite 2. Travi del sistema di fondazione 3. Blocchi solaio in compensato da 300mm di spessore con lunghezza massima da 2,4m con materiale isolante annesso 4. Pavimentazione 5. Blocco parete (ipotizzato) formato "S" di 300mm di spessore con lunghezza inferiore a 2,4m con materiale isolante annesso 6. Blocco parete formato (ipotizzato) "M" di 300mm di spessore con lunghezza inferiore a 2,4m con materiale isolante annesso 7. Blocco parete formato (ipotizzato) "L" di | <ol style="list-style-type: none"> 8. Blocco parete senza pannello di tamponamento 9. Blocco finestra senza pannello di tamponamento 10. Pannelli in compensato di chiusura dei blocchi e rivestimento 11. Blocchi trave in compensato per solaio di copertura |
|---|--|

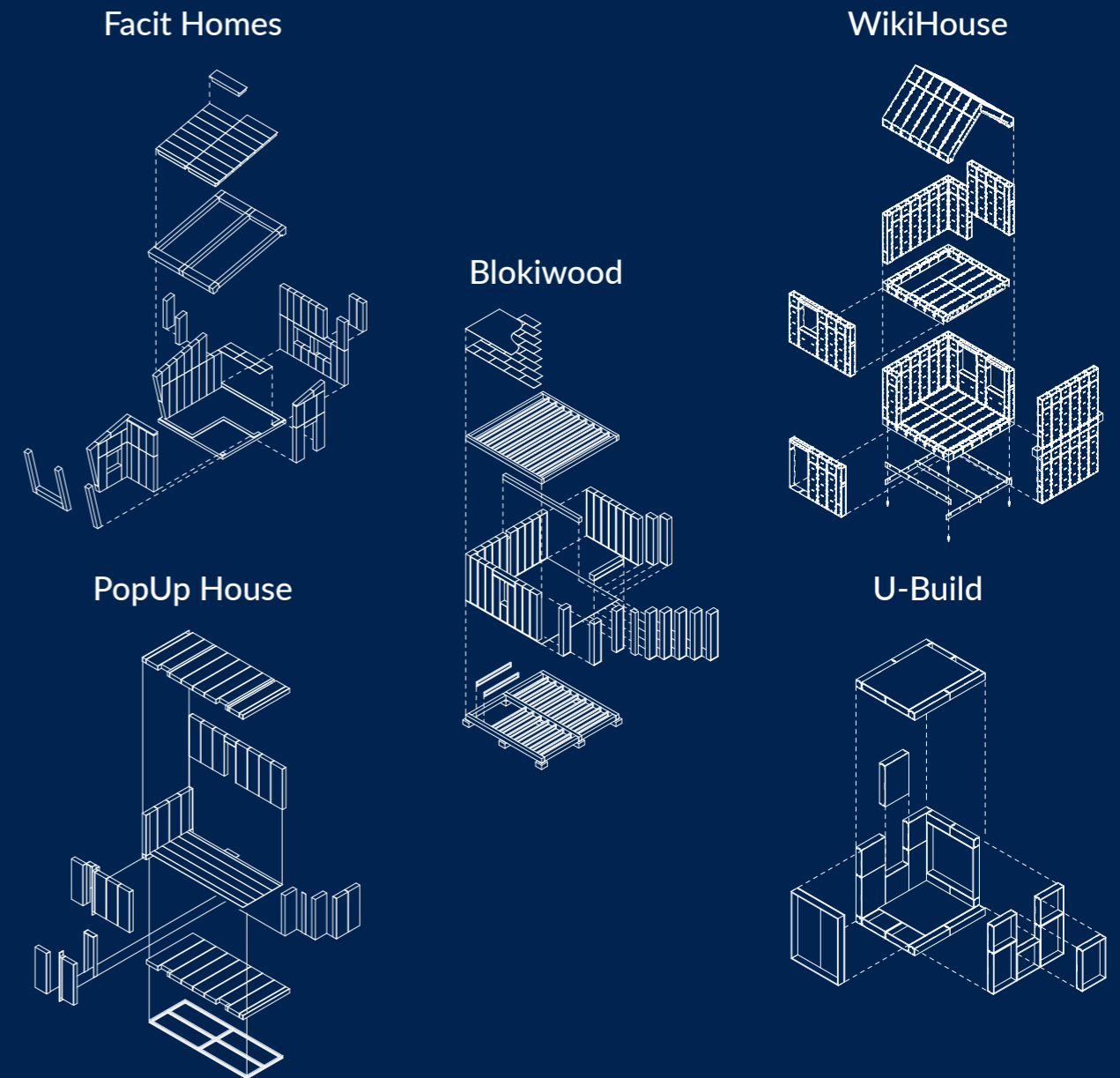
Fasi di assemblaggio



Rappresentazione del sistema costruttivo basato sulle fasi costruttive del progetto "Nest House" a pagina 198-199

Fig.276. Elaborazione a cura di Jean Carlos Lapo Procel

4.7 Confronto dei sistemi















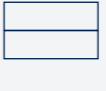







Lo scopo di questo confronto è quello di mettere in evidenza tutte le caratteristiche e peculiarità dei sistemi costruttivi analizzati al fine di valutare i vantaggi nell'utilizzo di sistemi con componenti leggeri di questo tipo da parte di utenti, costruttori e produttori. Nel confronto, verranno riportate informazioni sulla fondazione dei sistemi costruttivi, sulla tipologia dei sistemi, sulla diffusione sul mercato, sull'offer-

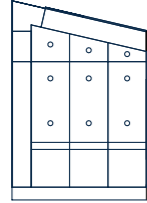

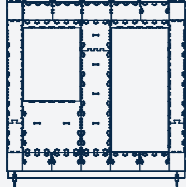

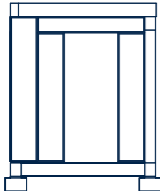

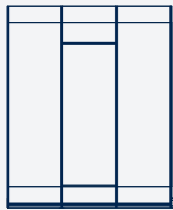

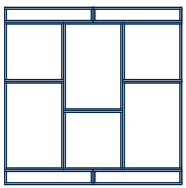

ta abitativa, sui tipi di fondazioni utilizzabili, sull'integrazione dei sistemi impianto, sui costi al metro quadro e sui processi costruttivi che consentono la produzione di tali sistemi. Verranno inoltre esaminati i processi tecnologici applicati e i materiali utilizzati che hanno permesso la realizzazione di numerose abitazioni di qualità ad alte prestazioni.

Caratteristiche dei sistemi

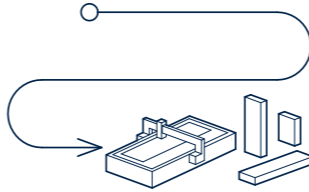
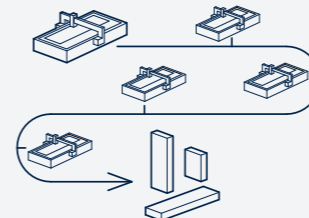
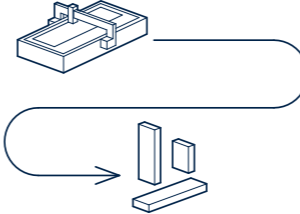
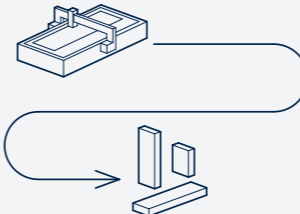
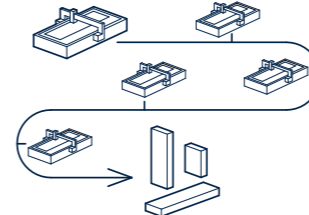
Servizi dei sistemi

	Fondazione del sistema	Diffusione commerciale	Numero piani e sistema di copertura	Sistema fondazione	Integrazione impianti	Costo/mq <i>rispetto a febbraio 2024</i>
1. Facit Homes Londra, UK 2007	 <p>Lo sviluppo del sistema costruttivo personalizzabile e assemblabile composto da blocchi in compensato nominato "Facit Chassis" adattabile ad ogni forma, ha determinato la fondazione dell'azienda Facit Homes da parte di Bruce Bell. https://www.facit-homes.com/</p>	 <ul style="list-style-type: none"> Regno Unito Danimarca 	 <p>Abitazioni da massimo 3 piani con tetti piani o tetti a falde regolari ed irregolare</p>	<ul style="list-style-type: none"> A zattera chiamata "Advanced Foundation Technology (AFT)" 	 <p>Intercapedine blocco parete e solaio</p>	<p>Chiavi in mano: €3.757,54 al mq</p> <p>Grezzo avanzato: € 3.053 al mq</p>
2. WikiHouse Londra, UK 2011	 <p>Il sistema costruttivo OpenSource, nato da una startup di Alastair Parvin e Nick Lerodi-conou si basa su blocchi modulari assemblabili di compensato o OSB, del sistema costruttivo "WikiHouse Skylark", evoluzione dei sistemi Wren e Swift. https://www.wikihouse.cc/</p>	 <ul style="list-style-type: none"> America Europa Asia 	 <p>Abitazioni da massimo 2 piani con tetti piani e tetti a falde regolari ed irregolare</p>	<ul style="list-style-type: none"> A vite A platea A zattera 	 <p>Intercapedine blocco parete e solaio</p>	<p><u>Struttura in compensato</u> Grezzo: € 2.300 al mq circa Grezzo avanzato: € 2.500 al mq circa</p> <p><u>Struttura in OSB</u> Grezzo: € 2.100 al mq circa Grezzo avanzato: € 2.300 al mq circa</p>
3. Blokiwood Francia 2012	 <p>Il brevetto numero 3861268 del sistema costruttivo personalizzabile e assemblabile Blokiwood è stato sviluppato dall'azienda produttrice di prodotti per l'edilizia Dom'Innov, fondata da Joël Menard. https://blokiwood.fr/</p>	 <ul style="list-style-type: none"> Francia Belgio Paesi Bassi 	 <p>Abitazioni da massimo 2 piani con tetti piani e tetti a falde regolari</p>	<ul style="list-style-type: none"> A platea Su plinti in C.A. Su pali elicoidali 	 <p>Su controsoffittatura</p>	<p>Informazione non fornita dall'azienda</p>
4. PopUp House Francia 2014-2023	 <p>Il brevetto numero FR3135288A del sistema costruttivo personalizzabile e assemblabile, composto da pannelli LVL e blocchi EPS, nato da una startup di Corentin Thiercelin, ha determinato la fondazione dell'azienda PopUp House nel 2014 poi chiusa nel 2023. https://www.popup-house.com/</p>	 <ul style="list-style-type: none"> Francia Svezia 	 <p>Abitazioni da massimo 2 piani con tetti piani</p>	<ul style="list-style-type: none"> A platea Con soletta in C.A. con muri di sostegno in mattoni Su plinti in C.A. su pali elicoidali 	 <p>Su controsoffittatura</p>	<p>Chiavi in mano: € 2.200 al mq</p> <p>Grezzo avanzato: € 1.500 al mq</p>
5. U-Build Londra, UK 2015	 <p>Il sistema costruttivo personalizzabile e assemblabile U-Build, composto da blocchi in compensato o OSB, è stato sviluppato dallo studio di architettura "Studio Bark", fondato da Wilf Meynell e Steph Chadwick. https://u-build.org/</p>	 <ul style="list-style-type: none"> Regno Unito Nord America Canada 	 <p>Abitazioni da massimo 2 piani con tetti piani</p>	<ul style="list-style-type: none"> A griglia in plastica riciclata "EcoBear" Basamenti lineari in plastia riciclata "Probase" Su plinti in C.A. "EasyPad" 	 <p>Intercapedine blocco parete, solaio e/o controsoffittatura</p>	<p>Grezzo: tra €1534 e €2124 al mq</p>

Sistemi costruttivi

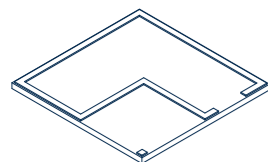
	Sistema	Logistica
1. Facit Homes 	<ul style="list-style-type: none"> Sistema strutturale: <ul style="list-style-type: none"> . Blocchi tridimensionali adattabili in compensato di abete rosso (sp. pannelli non specificato) . Travi in legno lamellare o acciaio e travi I-Joist in legno lamellare e OSb Isolamento termico in EPS isufflato "Supabead" Rivestimento in pannelli di legno lamellare 	 <ul style="list-style-type: none"> Peso contenuto dei blocchi Presenza di travi e pilastri pesanti
2. WikiHouse 	<ul style="list-style-type: none"> Sistema strutturale in blocchi tridimensionali modulari composti da pannelli di abete o pannelli di OSB da 2440 x 1220mm lavorati a macchina di spessore compreso tra 17,4mm e 18mm Isolamento in plastica riciclata "Supasoft" o fibra di legno Rivestimento in pannelli di legno lamellare 	 <ul style="list-style-type: none"> Peso massimo dei blocchi 125kg. Necessarie massimo 4 persone.
3. Blokiwood 	<ul style="list-style-type: none"> Sistema strutturale: <ul style="list-style-type: none"> . Blocchi tridimensionali modulari composti da pannelli in OSB da 12 e 18mm e da panelli di legno ibrido RWH da 16mm . Travi e pilastri in legno lamellare CL3B Isolamento insufflato in fibra di legno Rivestimento in cartongesso, fermacell e pannelli compositi 	 <ul style="list-style-type: none"> Peso massimo dei blocchi 60kg Presenza di travi e pilastri pesanti
4. PopUp House 	<ul style="list-style-type: none"> Sistema strutturale: <ul style="list-style-type: none"> . Pannelli LVL adattabili da 27 e 60 mm di spessore e 24,50m di lunghezza massimo . Travi ad H LVL di lunghezza massima da 14m . Blocchi di EPS da 300mm di spessore e 30kg/mc di densità con lunghezze variabili Rivestimento in listelli portanti in legno lamellare da 360x45mm e in listelli orizzontali con dimensioni variabili 	 <ul style="list-style-type: none"> Peso contenuto dei blocchi.
5. U-Build 	<ul style="list-style-type: none"> Sistema strutturale <ul style="list-style-type: none"> . Blocchi tridimensionali adattabili in compensato di abete rosso WISA, betulla WISA o OSB Smartply da 18 mm di spessore. . Blocchi in sughero con pannelli in legno lamellare Isolamento lana di pecora "Thermafleece" tagliata su misura Pannelli in legno da specie legno in cedro rosso occidentale, abete Douglas o larice 	 <ul style="list-style-type: none"> Peso dei blocchi contenuto

Sistemi produttivi

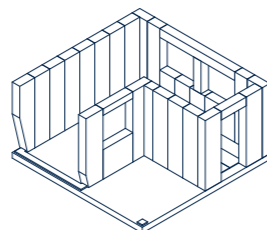
Tipologia del sistema costruttivo	
	<p>Sviluppo dei disegni digitali di taglio dei pannelli tramite il sistema digitale BIM "D-Process" di Facit Homes- Lavorazione dei pannelli nella fabbrica portatile a container MPF "Mobile Production Facility" direttamente in cantiere tramite macchinari CNC.</p> <p>Zona di stoccaggio "Ply Store", spazio coperto adiacente al MDF adibito da Facit Homes.</p>
	<p>Disegni digitali di taglio dei pannelli ad accesso libero (open source) nei formati DXF, DWG, 3DM e SKP.</p> <p>Sistema produttivo DfDMA dei pannelli con taglio a macchina CNC o taglio a lasercut lavorati da una rete di collaboratori di piccoli produttori sparsi in tutto il mondo.</p> <p>Per aumentare la rete di collaboratori, WikiHouse mette a disposizione la "Manufacturing guide" su come creare il proprio impianto.</p>
	<p>La produzione dei blocchi scatoari e della maggior parte dei materiali strutturali del sistema avviene presso la fabbrica aziendale Dom'Innov, situata nelle vicinanze di Grenoble, in Francia.</p> <p>Sistema produttivo e tecnologie produttive non specificate.</p>
	<p>Tutti i componenti del sistema venivano prodotti nello stabilimento da 15.000 m² a Rousset in Francia noto come PopUp Factory con capacità produttiva di circa 50.000 m² di edifici all'anno.</p> <p>Dati CAM per il taglio a macchina tramite elaborazione digitale 3D del progetto.</p> <p>Sistema produttivo e tecnologie non specificate.</p>
	<p>Produzione dei dati tecnici da taglio CAM tramite un processo digitale parametrico con l'utilizzo del software AutoCLAD sviluppato da loro, e forniti alla rete di collaboratori per la lavorazione dei pannelli a macchina CNC</p>

Fasi di assemblaggio

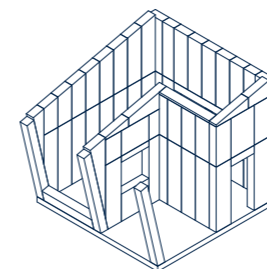
1. Facit Homes



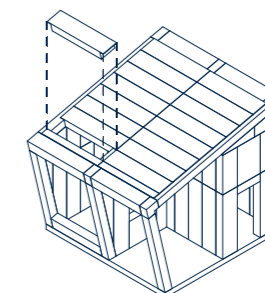
Fondazioni:
Costruzione del sistema fondazioni AFT e applicazione delle linee guida per i blocchi parete. Su porte e porte finestre non sono presenti



Prima fascia:
Assemblaggio dei blocchi parete, porte e finestre. Limite massimo dei blocchi parete della prima fascia su limite superiore degli architrave

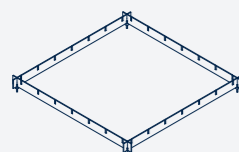


Fasce successive:
Completamento delle pareti con blocchi di diverse forme e dimensioni. Assemblaggio dei blocchi trave e pilastri

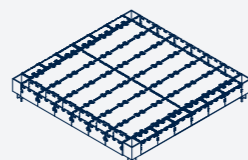


Copertura:
Assemblaggio delle travi a I ancorati ai blocchi connettori angolari e centrali. Inserimento dei blocchi solaio di copertura ad incastro sulle travi ad I

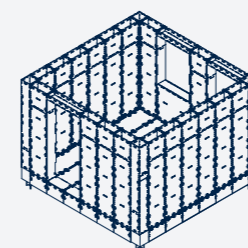
2. WikiHouse



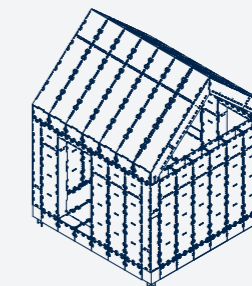
Fondazioni:
Assemblaggio del solaio di fondazioni a travi in legno lamellare su perni a vite



Solaio di base:
Assemblaggio del solaio di base con blocchi solaio END e FLOOR

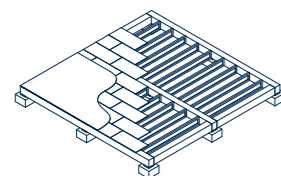


Pareti:
Assemblaggio piano primo con i blocchi WALL e DOOR + solaio d'interpiano con i blocchi solaio END-1 e FLOOR-1

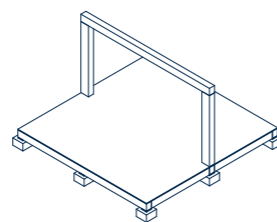


Copertura:
Assemblaggio del piano primo con gli stessi blocchi del piano terra + assemblaggio della copertura con i blocchi ROOF

3. Blokiwood



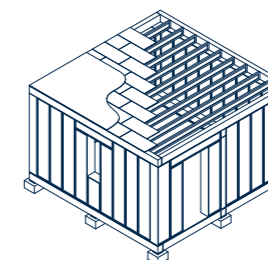
Fondazioni:
Costruzione e assemblaggio del solaio di base con travi principali in legno lamellare, travi secondarie I-joist, isolante e pavimentazione



Telaio:
Assemblaggio e fissaggio di travi e pilastri in legno lamellare

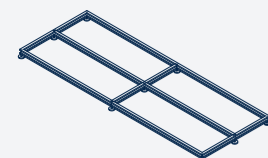


Pareti:
Assemblaggio e fissaggio dei blocchi parete, sottofinestra e architrave giuntati a vite

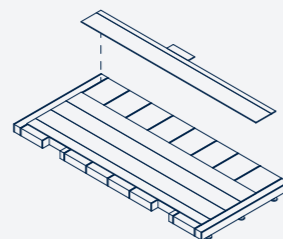


Copertura:
Assemblaggio del solaio di copertura con travi principali in legno lamellare, travi secondarie I-joist, isolante in fibra di legno, pannelli di chiusura e successiva impermeabilizzazione

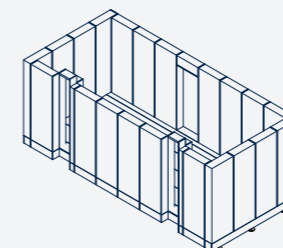
4. PopUp House



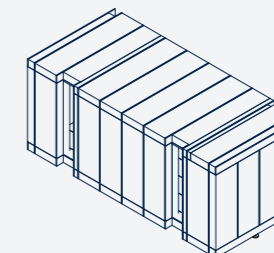
Fondazioni:
Costruzione delle fondazioni a viti con successivo fissaggio delle travi ad H



Solaio di base:
Assemblaggio e fissaggio dei pannelli di irrigidimento dei solai affiancati ai blocchi isolanti in polistirene espanso con successiva applicazione dei pannelli della pavimentazione

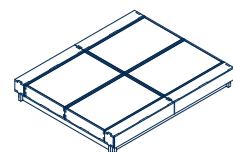


Pareti:
Assemblaggio e fissaggio dei pannelli di irrigidimento delle pareti affiancati ai blocchi isolanti in polistirene espanso

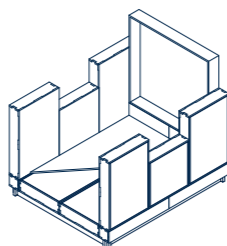


Copertura:
Assemblaggio e fissaggio dei pannelli di irrigidimento del solaio di copertura affiancati ai blocchi isolanti in polistirene espanso

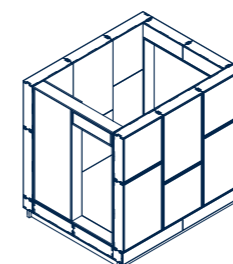
5. U-Build



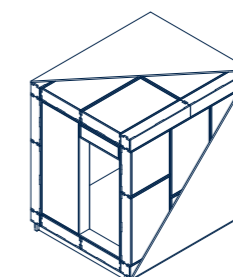
Fondazioni:
Costruzione delle fondazioni a viti con successivo fissaggio dei blocchi solaio di base, materiale isolante e pavimentazione



Prima fascia : Assemblaggio e fissaggio a viti dei blocchi parete inferiori, dei blocchi porta e dei blocchi finestra



Seconda fascia:
Assemblaggio e fissaggio a viti dei blocchi parete superiori



Copertura:
Assemblaggio e fissaggio a viti dei blocchi trave perimetrali, blocchi solaio di copertura, materiali isolante e pannello di chiusura

Conclusioni

Il percorso di analisi condotto ha permesso di esaminare lo stato attuale dei sistemi costruttivi leggeri in Europa, focalizzandosi sui processi tecnologici che hanno dato origine ai sistemi prefabbricati di kit abitativi con componenti leggeri che mirano a semplificare il processo costruttivo, includendo gli utenti nelle fasi di assemblaggio.

Sin dal XIX° secolo, i sistemi leggeri hanno favorito l'aumento delle soluzioni abitative facilmente trasportabili e costruibili, culminando in sistemi costruttivi innovativi e all'avanguardia che integrano processi produttivi digitalizzati come DfMA e DfDMA, insieme ai metodi costruttivi MMC, i quali contribuiscono alla decarbonizzazione del settore edile attraverso la prefabbricazione dei componenti abitativi, progettati per un assemblaggio semplificato in cantiere.

L'utilizzo combinato di questi metodi e processi ha dato vita alla produzione di sistemi costruttivi off-site, che consentono di risparmiare tempo e denaro, proponendo soluzioni eco-compatibili. Questi sistemi sfruttano le caratteristiche positive del legno, in grado di stoccare 0,765 tonnellate di CO₂ per metro cubo, insieme ai vantaggi dei processi produttivi e costruttivi che portano alla riduzione della materia prima, degli scarti di materiale e dei tempi di progettazione e costruzione dal 20% al 50% rispetto ai metodi tradizionali, con una diminuzione dei costi fino al 20%, come per esempio nel caso di Facit Homes, che varia il prezzo da 3000 euro al metro quadrato per la costruzione assistita dell'abitazione a fronte di un costo di 3700 euro al metro quadrato per la solu-

zione chiave in mano.

Inoltre, l'integrazione di tali approcci nel territorio europeo, specialmente nel Regno Unito e in Francia, è resa possibile grazie a leggi come la "Self-Build & Custom Housebuilding Act 2015" nel Regno Unito e alla libertà di autocostruzione in Francia, rispettando le normative tecniche e gli obiettivi della RE2020. Queste leggi hanno portato alla creazione di sistemi costruttivi progettati per risolvere le sfide di tempistiche e costi, come nel caso di Facit Home, Blokiwood e PopUp House, e per risolvere le sfide di accessibilità di sistemi performanti a basso costo come WikiHouse e U-Build, proponendo da parte dei 5 casi studio soluzioni abitative decarbonizzanti ed innovative.

Tuttavia l'analisi dei sistemi costruttivi maggiormente impiegati in Europa ha evidenziato l'ampio utilizzo di sistemi leggeri in legno a telaio, come nel caso della Francia che rappresentano il 67% delle nuove costruzioni in Francia nel 2022, senza però riportare dati specifici riguardanti l'utilizzo dei sistemi costruttivi "frame panel construction" che impiegano prodotti a base legno leggeri come compensato e OSB per i blocchi strutturali, caratterizzati dai casi studio analizzati. Inoltre, la difficoltà nel comprendere l'effettivo utilizzo di sistemi di questo tipo nel territorio europeo è accentuata dalla scarsità di letteratura e informazioni dettagliate sulle costruzioni con sistemi leggeri che favoriscono l'autocostruzione o la costruzione assistita. Sebbene siano riportate significative percentuali di autocostruzione nei paesi europei, che vanno dal 10% all'80%,

i sistemi costruttivi leggeri di kit abitativi, progettati appositamente per l'assemblaggio mediante componenti prefabbricati modulari, dai sistemi costruttivi tradizionali in legno.

Questi dati evidenziano la difficoltà nel posizionare efficacemente tali tipologie di sistemi costruttivi nel mercato delle costruzioni abitative. Nel caso di PopUp House per esempio, questa complessità ha portato alla chiusura dell'azienda, nonostante offrisse abitazioni a basso costo (€ 2.200 al mq per la soluzione chiavi in mano e € 1.500 al mq per la soluzione grezzo avanzato) e prestazioni elevate paragonabili a quelle di una Passivhaus ($U = 0.11 \text{ W/m}^2\text{K}$ per il sistema PopUp House rispetto a $U \leq 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$ dei sistemi Passivhaus).

Tutte queste limitazioni evidenziano la necessità di sostenere e promuovere sistemi di questo tipo poiché contribuiscono alla decarbonizzazione del settore edilizio, alla riduzione dei costi di produzione e al sostegno del riciclo e del riutilizzo dei prodotti da costruzione. Allo stesso tempo, sottolineano l'importanza dell'innovazione nel lavoro di ricerca svolto, il quale si concentra su un tema poco approfondito rispetto alle informazioni disponibili sulle tecnologie produttive e costruttive, mirate a favorire un processo più diretto verso gli obiettivi decarbonizzanti del Green Deal del settore edilizio, con l'obiettivo di raggiungere la neutralità climatica dell'Europa entro il 2050.

Bibliografia

- Abdussalam Shibani, Araz Agha, Dyaa Hassan, Yaseen Al-Hadeethi, Mou Choudhury. (2021). Effectiveness of the Modern Methods of Construction in Terms of Cost and Time: A Case Study of the United Kingdom.
- Alex Wilson. (marzo 2023). Energy Performance of Buildings Directive. EPRS | European Parliamentary Research Service [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2023/739377/EPRS_ATA\(2023\)739377_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2023/739377/EPRS_ATA(2023)739377_EN.pdf)
- Annarita Zarrillo (novembre 2019). Modern Environmental Science and Engineering: The History of Wood in Constructions Between Past and Present. Academic Star Publishing Company. <http://www.academicstar.us/UploadFile/Picture/2020-5/2020512172931750.pdf> 36. Alessia Nociaro (s.d.) Modularità e Prefabbricazione - Cenni storici ed evoluzione dei sistemi. Modom. Estratto da <https://www.modom.it/modularita-e-prefabbricazione/>
- Bostjan Bugaric. (29 settembre 2016). Moduli 255, Helsinki, Finland, by Juhani Pallasmaa e Kristian Gullichsen. Architectuul. <https://architectuul.com/architecture/moduli-255>
- British Pathé. (13 aprile 2014). Mechanical Bricklayer (1967) [Video]. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=4MWald1Goqk&ab_channel=BritishPath%C3%A9
- Connie J. Zeigler. (27 agosto 2015). Foster Gunnison and His Magic Homes. Docomomo US. <https://docomomo-us.org/news/foster-gunnison-and-his-magic-homes>
- David Rudlin. (n.d.). Building your own home is normal in most of Europe - and they don't even need Kevin McCloud. Building Design. Recuperato da <https://www.bdonline.co.uk/opinion/building-your-own-home-is-normal-in-most-of-europe-and-they-dont-even-need-kevin-mcccloud/5113498.article>
- De Angelis Sylvia. (14 agosto 2016). A selection of building analysis studies showing drafting and analytical skills. ISSUlv. https://issuu.com/syldeang/docs/sylvia_de_angelis_analysis
- Dom'inno (2023) Fiche technique, BLOKIWOOD LA MAISON BOIS BASSE CONSOMMATION, pag. 2 di 2, Estratto da <https://blokiwood.fr/fiches-techniques-blokiwood/14>. Blokiwood. (s.d.). Les performances. Blokiwood. Recuperato da <https://blokiwood.fr/les-performances-blokiwood/>
- Dom'inno (2023) Fiche technique, Blokiwood la maison bois basse consommation, pag. 2 di 2, Estratto da <https://blokiwood.fr/fiches-techniques-blokiwood/>
- Dom'inno (2023) RE 2020 Comment être conforme à la nouvelle réglementation [File PDF], Blokiwood la maison bois basse consommation, pag. 6 di 6, Estratto da <https://blokiwood.fr/fiches-techniques-blokiwood/>
- Dr. Richmond Ehwi, Dr. Sabina Maslova, Dr. Gemma Burgess. (gennaio 2022). Self-build and Custom, Housebuilding in the UK: An Evidence Review. Cambridge Centre for Housing & Planning Research. <https://thinkhouse.org.uk/site/assets/files/2593/cam0222.pdf>
- Enrico Frizzera. (marzo 2020). EDILIZIA OFF-SITE IN ACCIAIO, Sistemi costruttivi innovativi. Manni Green Tech. https://manni-group-uploads.s3.eu-west-1.amazonaws.com/wp-content/uploads/2021/06/inlook-Marzo2020_singole.pdf
- Federico Borello. (31 agosto 2022). Costruzione Virtuale e Progettazione DfMA Integrata - La metodologia DfMA: significato e vantaggi. Ingenioweb. <https://www.ingenio-web.it/articoli/costruzione-virtuale-e-progettazione-dfma-integrata/>
- Gianmarco Montalbano. Giovanni Santi. (24 ottobre 2023). Creative Frugality as a Sustainable Circular Pattern in Architecture and Building Construction. <https://www.mdpi.com/2673-4591/53/1/9>
- Giulia Vignati, Gianluca Pozzi, Elisabetta Ginelli. (4 luglio 2023) LIFE CYCLE THINKING PER L'ORGANISMO EDILIZIO: IL VALORE DEL PROCESSO PROGETTUALE NELLA CIRCOLARITÀ. Ingegneria dell'Ambiente Vol. 10 n. 2/2023. Politecnico di Milano. [dx.doi.org/10.32024/ida.v10i2.461](https://doi.org/10.32024/ida.v10i2.461)
- Giuseppe Guttà. (a.a. 2021/2022). Ottimizzazione del processo di prefabbricazione di pareti intelaiate in legno attraverso un modulo dimensionale (Tesi di laurea magistrale). Politecnico di Torino. Torino
- James Parker et al., (LBU) Leeds Beckett University - Leeds Sustainability Institute, Thermal Performance Modelling & Life Cycle Assessment, «Wikihouse», Innovate UK Project number: 77084, 21 Luglio 2021, <[https://assets-global.website-files.com/6118e2d27c92cc41c39747a0/61ed1aaa333bc06f027c2f2b_77084_Wikihouse%20Thermal%20Performance%20and%20LCA%20report_July%202021%20\(1\).pdf](https://assets-global.website-files.com/6118e2d27c92cc41c39747a0/61ed1aaa333bc06f027c2f2b_77084_Wikihouse%20Thermal%20Performance%20and%20LCA%20report_July%202021%20(1).pdf)>
- Jarrett Fuller. (27 luglio 2023) The Shearing Layers of Graphic Design Education. Jarrett Fuller.blog. <https://www.jarrettfuller.blog/2023/07/shearing-layers/>
- Leonardo Berlen (19 aprile 2019). Intervista con Thomas Miorin, presidente di Rebuild Italia: Uno dei filoni dei metodi moderni di costruzione è quello dell'edilizia off-site. Cos'è, quali opportunità offre al settore e come il nostro paese potrebbe svilupparla al meglio. QualEnergia. <https://www.qualenergia.it/articoli/edilizia-industrializzata-e-digitale-riqualificare-tagliando-tempi-e-costi/?print=print>
- Lola Abraham, Shannon Kennelly, Charles Kim, Fiona Lu. (10 dicembre 2012). The Manning Portable Colonial Cottage (1833). Quonset-hut.blogspot. <http://quonset-hut.blogspot.com/2012/12/the-manning-portable-colonial-cottage.html>
- Marina Economidou (ottobre 2011) EUROPE'S BUILDINGS UNDER THE MICROSCOPE A country-by-country review of the energy performance of buildings. Buildings Performance Institute Europe (BPIE), ISBN: 9789491143014, pag. 8 di 132, Estratto da https://bpie.eu/wp-content/uploads/2015/10/HR_EU_B_under_microscope_study.pdf
- Marisa Gomez Nordyke (2018) Restyling the Postwar Prefab: The National Homes Corporation's Revolution in Home Merchandising, Buildings & Landscapes: Journal of the Vernacular Architecture Forum, University of Minnesota Press, Vol. 25, No. 2, 66-94.
- Massimo L. Salvadori. (2006). Rivoluzione industriale. Enciclopedia dei ragazzi. Treccani. [https://www.treccani.it/enciclopedia/rivoluzione-industriale_\(Enciclopedia-dei-ragazzi\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/rivoluzione-industriale_(Enciclopedia-dei-ragazzi)/)
- McKinsey & Company. (18 giugno 2019). Modular construction: From projects to products. Recuperato da <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/modular-construction-from-projects-to-products>
- Michaela Benson and Iqbal Hamiduddin. (2017). Self-Build Homes: Self-build homes: social values and the lived experience of housing in practice. UCL Press
- Milan Zeleny (2007) La gestione a tecnologia superiore e la gestione della tecnologia superiore", pubblicato in Italia su Bocchi, G. Ceruti, M. (a cura di) La sfida della complessità Mondadori, Milano, 2007 - seconda ristampa (prima stampa nel 1985)
- Monica Lavagna, Catia Baldassarri, Andrea Campioli, Serena Giorgi, Anna Dalla Valle, Valentina Castellani, Serenella Sala, (5 settembre 2018) Benchmarks for environmental impact of housing in Europe: Definition of archetypes and LCA of the residential building stock. Pubblicato da Elsevier Ltd, Estratto da <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.008>
- Nabil Suleiman (29 agosto 2022). Breve Storia delle "Rivoluzioni Industriali" dall'industria 1.0 alla 4.0, La Qualità nei diversi Orientamenti industriali. LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/breve-storia-delle-rivoluzioni-industriali-10-alla-40-nabil-suleiman/?originalSubdomain=it>
- Nardi G.M. (1976). Progettazione architettonica per Sistemi e Componenti, Franco Angeli, Milano
- Neil Gershenfeld. (2012). How to Make Almost Anything The Digital Fabrication Revolution. Vol.91, n°6. Foreign Affairs. <https://cba>

Sitografia

- mit.edu/docs/papers/12.09.FA.pdf
- Nick Bertram, Steffen Fuchs, Jan Mischke, Robert Palter, Gernot Strube, and Jonathan Woezel. (luglio 2019). Modular construction: From projects to products. McKinsey & Company.
 - Paolucci, Signorini. (2010). GLI ANNI DELLA TERZA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE. p.376. Zanichelli editore S.p.A. Bologna. Edizione rossa. https://online.scuola.zanichelli.it/paolucci/volume3/archiviocontemporanea/paolucci_terza-rivoluzione-industriale.pdf
 - Paul Bairoch. (1994). Industrializzazione. Enciclopedia delle scienze sociali. Treccani. [https://www.treccani.it/enciclopedia/industrializzazione_\(Enciclopedia-delle-scienze-sociali\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/industrializzazione_(Enciclopedia-delle-scienze-sociali)/) 11.
 - L. Guaragna. (2018). La seconda rivoluzione industriale (18701950). leoneg.it. <http://www.leoneg.it/archivio/Industrializzazione%20e%20societa%20di%20massa.pdf>
 - R. Maskuriy, A. Selamat, K. N. Ali, P. Maresova, O. Krejcar (2019). Industry 4.0 for the Construction Industry—How Ready Is the Industry? MDPI. doi:10.3390/app9142819
 - Rebecca Roberts-Hughes. (settembre 2011). The Case for Space: the size of England's new homes. Royal Institute of British Architects. Cantate.
 - S. S. Duncan, A. Rowe. (1993). Self-provided Housing: The First World's Hidden Housing Arm. Urban Studies, Vol. 30, No. 8, p. 1331-1354 (24 pages). <https://www.jstor.org/stable/43201336>
 - Sears, Roebuck and Co. (1936). Modern Homes, Sears, Roebuck and Co. Chicago - New York" 1936. Fonte: https://dahp.wa.gov/sites/default/files/ModernHomessears1936.small_.pdf/
 - Sikkema, D. Styles, R. Jonsson, B. Tobin, K.A. Byrne. (22 dicembre 2022). A market inventory of construction wood for residential building in Europe – in the light of the Green Deal and new circular economy ambitions. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104370>
 - Stefania Alessandrini, IgenioWeb. (8 marzo 2014). Pop-up House: la casa passiva pronta in 4 giorni. Recuperato da <https://www.ingenio-web.it/articoli/pop-up-house-la-casa-passiva-pronta-in-4-giorni/>
 - Urban Francesco. (2020). Dalla fabbricazione digitale ai processi di prefabbricazione del progetto di architettura: Analisi degli scenari di innovazione e dei casi studio sperimentali [tesi di laurea magistrale].Torino: Politecnico di Torino
 - Veia. (luglio 2023). L'enquête nationale de la construction bois 2022, Juillet 2023. Imprimerie du Rimon. https://franceboisforet.fr/wp-content/uploads/2023/07/ENQUETE_CONSTRUCTIONBOIS_8PAGES_ACTIVITE2022.pdf
 - Victoria Purcell. (20 ottobre 2022). Do Modern Methods of Construction Reduce Carbon Emissions? Grand Designs Magazine. <https://www.granddesignsmagazine.com/self-build/construction/do-modern-methods-of-construction-reduce-carbon-emissions/>
 - Virginia Cucchi. (01 settembre 2021). Prefabbricazione. Floornature. <https://www.floornature.it/design-trends/strongprefabbricazione-strongbr-16492/>
 - Weisheng Lu, Tan Tan, Jinying Xu, Jing Wang, Ke Chen, Shang Gao & Fan Xue (2021) Design for manufacture and assembly (DfMA) in construction: the old and the new, Architectural Engineering and Design Management, 17:1-2, 77-91, DOI: 10.1080/17452007.2020.1768505
 - William Coad. Tom Lawrence. (2006) ASHRAE GreenGuide Design, Construction, and Operation of Sustainable Buildings Fifth Edition. W. Stephen Comstock.
 - Agenzia per la Coesione Territoriale. (2020). Agenda 2030: 17 Goals to Transform Our World [PDF]. Recuperato da <https://www.agenziacoesione.gov.it/wp-content/uploads/2020/04/agenda2030-card-17-goals.pdf>
 - Agenzia per la Coesione Territoriale. (n.d.). Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile. Recuperato da <https://www.agenziacoesione.gov.it/comunicazione/agenda-2030-per-lo-sviluppo-sostenibile/>
 - AIMCH. (2022). TRANSFORMING HOW WE BUILD HOMES. year three - final project report april 2022. AIMCH. https://www.aimch.co.uk/images/AIMCH_Annual_report_2022_-_updated.pdf
 - APA - The Engineered Wood Association. (n.d.). Oriented Strand Board (OSB). <https://www.apawood.org/osb>
 - Autodesk. (17 marzo 2021). What is CAM (Computer-Aided Manufacturing)? Autodesk. [https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/computer-aided-manufacturing-beginners/#:~:text=Computer%20Aided%20Manufacturing%20\(CAM\)%20is%20the%20use%20of%20software%20and,to%20automate%20a%20manufacturing%20process](https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/computer-aided-manufacturing-beginners/#:~:text=Computer%20Aided%20Manufacturing%20(CAM)%20is%20the%20use%20of%20software%20and,to%20automate%20a%20manufacturing%20process)
 - Back to Earth. (n.d.). Home. Recuperato da <https://www.backtoearth.co.uk/>
 - Baum Studio. (s.d). Prefabbricazione: tra storia e nuovi bisogni. Baum Studio. <https://www.baumstudio.ch/wp-content/uploads/2016/06/Prefabbricazione-tra-storia-e-nuovi-bisogni.pdf>
 - Baumstudio.ch. (2016). Prefabbricazione: tra storia e nuovi bisogni . <https://www.baumstudio.ch/wp-content/uploads/2016/06/Prefabbricazione-tra-storia-e-nuovi-bisogni.pdf>
 - Blokiwood (2023). RE 2020 Comment être conforme à la nouvelle réglementation [File PDF], Blokiwood la maison bois basse consommation, pag. 6 di 6. Estratto da <https://blokiwood.fr/fiches-techniques-blokiwood/>
 - Blokiwood. (2023). Blokiwood. <https://blokiwood.fr/blokiwood/> (accesso il 13 dicembre 2023)
 - Blokiwood. (2023). Fabricant Ossature Bois. <https://blokiwood.fr/fabricant-ossature>
 - Blokiwood. (2023). Fabricant Ossature Bois. <https://blokiwood.fr/fabricant-ossature-bois>
 - Blokiwood. (2023). Gagnez du temps sur vos chantiers. <https://blokiwood.fr/gagnez-du-temps-sur-vos-chantiers/>
 - Blokiwood. (2023). FAQ. <https://blokiwood.fr/faq/>
 - Blokiwood. (2023). Maison Bois Kit. <https://blokiwood.fr/maison-bois-kit/> (accesso il 13 dicembre 2023)
 - Blokiwood. (2023). Particuliers. <https://blokiwood.fr/particuliers/>
 - Blokiwood. (2023). Toitures. <https://blokiwood.fr/nos-produits/toitures/> (accesso il 13 dicembre 2023)
 - Blokiwood. (n.d.). Architecture et conception sans contrainte. Recuperato da <https://blokiwood.fr/architecture-et-conception-sans-contrainte-2/>
 - Blokiwood. (n.d.). Blokiwood. Recuperato da <https://blokiwood.fr/blokiwood/>
 - Blokiwood. (n.d.). Fabricant ossature bois. Recuperato da <https://blokiwood.fr/fabricant-ossature-bois>
 - Blokiwood. (n.d.). Gagnez du temps sur vos chantiers. Recuperato da <https://blokiwood.fr/gagnez-du-temps-sur-vos-chantiers/>
 - Blokiwood. (n.d.). Les Solutions de Parement. Blokiwood. <https://blokiwood.fr/les-solutions-de-parement/>
 - Blokiwood. (n.d.). Maison Bois Kit. Blokiwood. <https://blokiwood.fr/maison-bois-kit/>
 - Blokiwood. (n.d.). Nos Produits - Dalles. Blokiwood. <https://blokiwood.fr/nos-produits/dalles/>
 - Blokiwood. (n.d.). Réalisations. Recuperato da <https://blokiwood.fr/realisations/>

- Blokiwood. (s.d.). Maison bois à St Martin d'Uriage. Recuperato da <https://blokiwood.fr/departements/votre-maison-bois-en-isere/maison-bois-a-st-martin-duriage/>
- Blokiwood. (s.d.). Maison bois Savoie - Novalaise - Blokiwood. YouTube. Recuperato da https://www.youtube.com/watch?v=FQHAszeSUNk&ab_channel=Blokiwood
- Brix System. (28 luglio 2020). Presentazione Brix System [file pdf]. Recuperato da https://www.brixsystem.com/wp-content/uploads/2020/09/2020-07-28_BrixSystem_presentazione_ITA.pdf
- Brix System. (n.d.). Perché Brix? Recuperato da <https://www.brixsystem.com/perche-brix/>
- Building and Construction Authority (BCA). (s.d.). Mass Engineered Timber. BCA. <https://www1.bca.gov.sg/buildsg/productivity/design-for-manufacturing-and-assembly-dfma/mass-engineer-red-timber>
- Buildoffsite. (2019). MODERN METHODS OF CONSTRUCTION - INTRODUCING THE MMC DEFINITION FRAMEWORK. MMC I-Pad Base. Gov.uk. https://www.buildoffsite.com/content/uploads/2019/04/MMC-I-Pad-base_GOVUK-FINAL_SECURE-1.pdf
- CasaNoi (1 Marzo 2018). Popup House casa passiva bioclimatica modulare. Recuperato da <https://blog.casanoi.it/popup-house-casa-passiva-bioclimatica/>
- Cegibat (GRDF). (28 settembre 2023). RE2020 : Grands Principes. Recuperato da <https://cegibat.grdf.fr/reglementation-energetique/re-2020-grands-principes>
- CELEX. (25 maggio 2023). Parere del Comitato economico e sociale europeo sul tema «Edilizia in legno per la riduzione di CO2 nel settore edile». Gazzetta ufficiale dell'Unione europea. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022AE6006>
- Classe 3 = moderatamente durevole; Periodo di vita da 10 a 15 anni. Fonte: BetterWood. (n.d.). Dauerhaftigkeitsklassen. Recuperato da <https://www.betterwood.it/lexikon/dauerhaftigkeitsklassen/>
- Commissione europea. (n.d.). Energy Performance of Buildings Directive. Energy. Recuperato da [energy-performance-buildings-directive_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en)
- Considi. (s.d.). Lean Thinking. Considi. <https://www.considi.it/lean-thinking/#:~:text=Il%20Lean%20Thinking%20o%20pensiero,a%20tutte%20le%20aree%20aziendali.>
- Consiglio dell'Unione Europea. (n.d.). COP26. Recuperato da <https://www.consilium.europa.eu/it/policies/climate-change/paris-agreement/cop26/>
- Consiglio dell'Unione Europea. (n.d.). Green Deal. Recuperato da <https://www.consilium.europa.eu/it/policies/green-deal/>
- Dacorum Borough Council. (gennaio 2020). Custom and Self-build Demand Assessment Framework Final Report [PDF]. Recuperato da https://www.dacorum.gov.uk/docs/default-source/strategic-planning/custom-and-self-build-demand-assessment-framework-final-report.pdf?sfvrsn=b0d60c9e_4
- David Rudlin. (n.d.). Building your own home is normal in most of Europe - and they don't even need Kevin McCloud. Building Design. Recuperato da <https://www.bdonline.co.uk/opinion/building-your-own-home-is-normal-in-most-of-europe-and-they-dont-even-need-kevin-mccloud/5113498.article>
- Department for Communities and Local Government. (marzo 2014). Housing Standards Review. ISBN: 978-1-4098-41784. https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a7c7e5fe5274a559005a400/140225_final_hsr_summary_of_responses.pdf
- Dom'inno (2023) Fiche technique [File PDF], BLOKIWOOD LA MAISON BOIS BASSE CONSOMMATION, pag. 2 di 2, Estrato da <https://blokiwood.fr/fiches-techniques-blokiwood/> 14. Blokiwood. (s.d.). Les performances. Blokiwood. Recuperato da <https://blokiwood.fr/les-performances-blokiwood/>
- Dom'inno (2023) Fiche technique [File PDF], Blokiwood la maison bois basse consommation, pag. 2 di 2, Estratto da <https://blokiwood.fr/fiches-techniques-blokiwood/>
- Dom'inno (2023) RE 2020 Comment être conforme à la nouvelle réglementation [File PDF], Blokiwood la maison bois basse consommation, pag. 6 di 6, Estrato da <https://blokiwood.fr/fiches-techniques-blokiwood/>
- Ducker Portable House Co. (1888) Illustrated catalogue: Ducker Portable houses. New York. London, England.
- Eentileen. (n.d.). Kolonihavehus Kastrup. Recuperato da <http://www.eentileen.dk/projekt/kolonihavehus-kastrup/16/bagom>
- Energy Store Ltd. (s.d.). Superbead. Recuperato da <https://www.energystoreltd.com/superbead>
- Epopup-house. (s.d.). FAQ. Recuperato da <http://www..com/faq/#1508166068701-2fca9b28-3497>
- ESG360. (n.d.). Protocollo di Kyoto: cos'è, come nasce e cosa prevede. Recuperato da <https://www.esg360.it/environmental/protocollo-di-kyoto-cose-come-nasce-e-cosa-prevede/> 7. Consilium. (ultima modifica 3 gennaio 2024). Accordo di Parigi sui cambiamenti climatici. Consilium. <https://www.consilium.europa.eu/it/policies/climate-change/paris-agreement/>
- EUR-Lex. (2010). Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). Recuperato da https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/AL-L;/ELX_SESSIONID=FZMjThLLzfxmMMc-QGp2Y1s2d3Tjwtd8QS3pqdkhXZbwqGwl-gY9KN!2064651424?uri=CELEX:32010L0031
- EUR-Lex. (2012). Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC Text with EEA relevance. Recuperato da <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1399375464230&uri=CELEX:32012L0027>
- Eurban. (s.d.). Design for Manufacture and Assembly (DFMA) - Part 1: The Origins. <https://www.eurban.co.uk/industry-insights/design-for-manufacture-and-assembly-dfma-part-1-the-origins/>
- Euronews. (13 aprile 2023). Des Européens font le choix de l'autoconstruction pour réaliser leur rêve de devenir propriétaire. Recuperato da <https://fr.euronews.com/2023/04/13/witness-construire-sa-maison-autrement>
- European Parliament. (26 settembre 2019). What is carbon neutrality and how can it be achieved by 2050? <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20190926STO62270/what-is-carbon-neutrality-and-howcan-it-be-achieved-by-2050>
- Eurostat. (3 ottobre 2023). House prices and rents increased in Q2 2023. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20231003-1>
- Facit Homes. (13 gennaio 2022). Starting on site. <https://www.facit-homes.com/post/starting-on-site>
- Facit Homes. (13 gennaio 2022). Starting on Site. Recuperato da <https://www.facit-homes.com/post/starting-on-site>
- Facit Homes. (22 marzo 2022). The Facit Chassis in Construction. Recuperato da <https://www.facit-homes.com/post/the-facit-chassis-in-construction>
- Facit Homes. (28 Settembre 2021). North London. Facit Homes. <https://www.facit-homes.com/north-london>
- Facit Homes. (n.d.). About. Recuperato da <https://www.facit-homes.com/about>
- Facit Homes. (n.d.). Blog. Recuperato da <https://www.facit-homes.com/blog>
- Facit Homes. (n.d.). Homepage. Recuperato da <https://www.facit-homes.com/>
- Facit Homes. (n.d.). Low Carbon Homes. <https://www.facit-homes.com/low-carbon-homes>
- Facit Homes. (n.d.). Price. Recuperato da <https://www.facit-homes.com/price>
- Facit Homes. (n.d.). Starting on Site. Recuperato da <https://www.facit-homes.com/post/starting-on-site>
- Facit Homes. (n.d.). The Facit Chassis in Construction. Recuperato da <https://www.facit-homes.com/post/the-facit-chassis-in-construction>
- Facit Homes. (n.d.). The Facit Home. <https://www.facit-homes.com/the-facit-home>
- Facit Homes. (n.d.). What is a Fabric First Approach to Creating Eco-Homes. Recuperato da <https://www.facit-homes.com/post/what-is-a-fabric-first-approach-to-creating-eco-homes>
- Facit Technologies. (n.d.). The Facit Chassis.

- Recuperato da <https://www.facit-technologies.com/the-facit-chassis>
- Facit Homes. (n.d.). Oaklands. Recuperato da <https://www.facit-homes.com/oaklands>
 - Facit Technologies. (n.d.). About Us. Recuperato da <https://www.facit-technologies.com/about>
 - Facit Technologies. (n.d.). Mobile Production. <https://www.facit-technologies.com/mobile-production>
 - Facit Technologies. (n.d.). Mobile Production. Recuperato da <https://www.facit-technologies.com/mobile-production>
 - Facit Technologies. (n.d.). The Facit Chassis. <https://www.facit-technologies.com/the-facit-chassis>
 - Gablok. (n.d.). Elements. Recuperato da <https://gablok.be/en/elements>
 - Gablok. (n.d.). FAQ. Recuperato da <https://gablok.be/en/faq>
 - Geology Science. (n.d.). Borax. Recuperato da <https://it.geologyscience.com/minerals/borate-minerals/borax/?amp>
 - Global ABC. (n.d.). Fostering Collaboration. Recuperato da <https://globalabc.org/our-work/fostering-collaboration>
 - Graven Hill. (s.d.). About Graven Hill. Graven Hill. <https://www.gravenhill.co.uk/about-graven-hill/>
 - Graven Hill. (s.d.). Graven Hill Win at the Build It Awards 2022. Graven Hill. <https://www.gravenhill.co.uk/blog/graven-hill-win-at-the-build-it-awards-2022/>
 - Housing 4.0 Energy. (n.d.). The Building of WikiHouse De Stripmaker (NL) Has Begun. Retrieved November 30, 2023, from <https://vb.nweurope.eu/projects/project-search/h40e-housing-40-energy/news/the-building-of-wikihouse-de-stripmaker-nlhas-begun/>
 - Illbruck. (n.d.). ME220 - Membrana EPDM per esterni. Recuperato da https://www.illbruck.com/it_IT/prodott/me220-membrana-e-pdm-per-esterni/
 - International Energy Agency. (2022). Breakthrough Agenda Report 2022. Recuperato da <https://www.iea.org/reports/breakthrough-agenda-report-2022>
 - JEAN PROUVE ATEL. (16 maggio 1941) Baraque démontable. (Brevetto francese. n° FR865235A). Ministère de la production industrielle et du travail. <https://www.epo.org/en>
 - L'open source come modello di sviluppo dell'abitare contemporaneo. DAD - Politecnico di Torino. <https://core.ac.uk/download/pdf/11432475.pdf>
 - Lean Construction Institute. (n.d.). Just-in-Time. Recuperato da <https://leanconstruction.org/lean-topics/just-in-time/#:~:text=Just%2Din%2Dtime%20is%20a,reducing%20waste%20in%20the%20proces>
 - Legifrance. (2020, 17 aprile). JORF n°0092 du 17 avril 2020. Recuperato da <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000043808633>
 - Legifrance. (n.d.). Article R*111-18-1. Recuperato da https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000039041453/
 - Les Castors. (n.d.). Notre Histoire. Recuperato da <https://les-castors.fr/notre-histoire/>
 - Lignebois. (2021, gennaio). Gablok - Manuale di installazione. Recuperato da https://www.lignebois.be/wp-content/uploads/2021/01/2020-06_gablok.pdf
 - Manufacturing.gov. (s.d.). Glossary: Advanced Manufacturing. <https://www.manufacturing.gov/glossary/advanced-manufacturing>
 - Ministère de la Transition écologique. (n.d.). Règlementation environnementale (RE2020). Recuperato da <https://www.ecologie.gouv.fr/reglementation-environnementale-re2020>
 - Ministère de la Transition écologique. (n.d.). Règlementation thermique (RT2012). Recuperato da <https://www.ecologie.gouv.fr/reglementation-thermique-rt2012>
 - Ministry of Housing, Communities and Local Government. (s.d.). Gov.uk. <https://www.gov.uk/government/organisations/ministry-of-housing-communities-and-local-government>
 - NaSBA. (ottobre 2008). NSelf Build as a volume housebuilding solution. Recuperato da https://brightgreenfutures.co.uk/wp-content/uploads/2016/10/NaSBA-Self_Build_report.pdf
 - Paul Chandler-King. (7 marzo 2023). Making the Grand Designs Dream More Accessible for All. Ice Nine Projects Recuperato da <https://www.iceniprojects.com/making-the-grand-designs-dream-more-accessible-for-all/>
 - Negoziazione.blog. (25 settembre 2023). L'economia circolare. Recuperato da <https://negoziazione.blog/leconomia-circolare/>
 - Ngenio-web. (8 aprile 2014). Pop-up House: la casa passiva pronta in 4 giorni. Recuperato da <https://www.ingenio-web.it/articoli/pop-up-house-la-casa-passiva-pronta-in-4-giorni/>
 - Open Systems Lab. (s.d.). Projects. Accessibile da <https://www.opensystemslab.io/projects>
 - Orientatrium. (s.d.). Building Information Modeling (BIM). Definizione. <https://www.orientatrium.net/bim/definizione/#pa-ge-content>
 - Pagina web: IBM. (s.d.) What is machine learning? IBM. <https://www.ibm.com/topics/machine-learning>
 - Passive House International. (n.d.). What is a Passive House? Recuperato da https://passivehouse-international.org/index.php?page_id=80#:~:text=A%20Passive%20House's%20airtightness%20must,limited%20to%2050%20Pascals
 - Piva Group S.p.A. (n.d.). PIR Linea Continua. Recuperato da <https://www.pivagroupspa.com/pannelli-system/pir-linea-continua#:~:text=Il%20poliuretano%20espanso%20origido%20C3%A8%20un%20materiale%20isolante%20che%20a,funzione%20del%20tipo%20di%20schiuma>
 - Placo. (n.d.). Qu'est-ce qu'un DTU ? Recuperato da <https://www.placo.fr/questce-quun-dtu>
 - PMI (s.d.). Information Technology Advancements in Project Management. PMI. <https://www.pmi.it/tag/information-technology>
 - PopUp House (n.d.). Éléments TOITURE [File PDF], Estratto da https://www.popup-house.com/wp-content/uploads/2014/03/plaquette_toiture_part.pdf
 - PopUp House (n.d.). Finitions EXTÉRIEUR-ES [File PDF], Estratto da https://www.popup-house.com/wp-content/uploads/2014/03/plaquette_finitions_exterieures_part.pdf
 - PopUp House. (n.d.). Collection. Recuperato da <https://www.popup-house.com/collection/>
 - PopUp House. (n.d.). Construire votre maison avec Popup House. Recuperato da <https://www.popup-house.com/construire/>
 - PopUp House. (n.d.). FAQ - Section 5. Recuperato da <http://www.epopup-house.com/faq/#section5>
 - PopUp House. (n.d.). FAQ. Recuperato da <http://www.epopup-house.com/faq/#1508165660808-bd8cca65-ba4f>
 - PopUp House. (n.d.). Où sont fabriquées les PopUp Houses? Recuperato da <https://www.popup-house.com/ou-sont-fabriquees-les-popup-houses/>
 - PopUp House. (n.d.). Popup Clap de fin. Recuperato da <https://www.popup-house.com/popup-clap-de-fin/>
 - PopUp House. (n.d.). Quel est le prix d'une PopUp House? Recuperato da <https://www.popup-house.com/quel-est-le-prix-dune-popup-house/>
 - PopUp House. (n.d.). Quelles sont les performances thermiques d'une PopUp House ? Recuperato da <https://www.popup-house.com/quelles-sont-les-performances-thermiques-dune-popup-house-2/>
 - PopUp House. (n.d.). Qui sommes-nous? Recuperato da <https://popup-house.com/qui-sommes-nous/>
 - PopUp House. (s.d.). Le Concept Popup House. Recuperato da <https://www.popup-house.com/le-concept-popup-house-2/>
 - PopUp House. (s.d.). Maison 150m2 en Gironde. Recuperato da <https://www.popup-house.com/portfolio/maison-150m2-en-gi-ronde/>
 - PopUp House. (s.d.). Quel type de fondations? Recuperato da <https://www.popup-house.com/quel-type-de-fondations/>
 - Progetto Energia Zero. (n.d.). La Tecnologia. Recuperato da <http://www.progettoenergiazerro.com/la-tecnologia/>
 - Progetto Legno. (s.d.). Telaio. Progetto Legno. <https://www.promolegno.com/costruire-con-il-legno/tecnologia/sistemi-costruttivi/telaio>
 - Royal Institute of British Architects (RIBA). (n.d.). About. Recuperato da <https://www.architecture.com/about>

- Seelow, A. (2018) The Construction Kit and the Assembly Line – Walter Gropius' Concepts for Rationalizing Architecture Arts, 7(4): 1-29 <http://dx.doi.org/10.3390/arts7040095>
- Service-public.fr. (n.d.). Construction d'une maison. Recuperato da <https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/N319>
- Shed Base Kits. (n.d.). Easypad Kit for Buildings up to 5m x 3.5m. Recuperato da <https://shedbasekits.com/product/easypadkit-for-buildings-up-to-5m-x-3-5m/>
- Shed Base Kits. (n.d.). EcoBearer Shed Base Kit for an 8ft x 6ft with 6 Bearers. Recuperato da <https://shedbasekits.com/product/ecobearer-shed-base-kit-for-an-8ft-x-6ft-with-6-bearers/>
- Shed Base Kits. (n.d.). ProBASE Kit 7ft x 6ft Sheds. Recuperato da <https://shedbasekits.com/product/probase-kit-7ft-x-6ft-sheds/>
- Stora Enso. (n.d.). Cross Laminated Timber (CLT). <https://www.storaenso.com/en/products/mass-timber-construction/building-pro-U-Build>
- Stora Enso. (n.d.). Laminated Veneer Lumber (LVL). <https://www.storaenso.com/en/products/mass-timber-construction/building-products/lvl>
- Structure Workshop. (n.d.). Profile. Recuperato da <https://structureworkshop.co.uk/profile/>
- Studio Bark. (n.d.). Home. Recuperato da <https://studiobark.co.uk/>
- TCPA. (2020). Guide 12: Modern Methods of Construction, Practical Guides for Creating Successful New Communities. TCPA https://tcpa.org.uk/wp-content/uploads/2021/11/gc_practicalguide_12-mmm_rgb.pdf
- Tecnosida. (1 luglio 2016). COV (Composti Organici Volatili). Recuperato da <https://www.tecnosida.it/cov-composti-organici-volatili>
- Thermafleece. (n.d.). Home. Recuperato da <https://thermafleece.com/>
- Tilbury Douglas. (2022). MMC Brochure. <https://tilburydouglas.co.uk/wp-content/uploads/2022/09/MMC-brochure.pdf>
- U-Build. (n.d.). About Us. Recuperato da <https://u-build.org/about-us/>
- U-Build. (n.d.). Basil and Gruff: Unplugged Cabins. Recuperato da <https://u-build.org/projects/unplugged/>
- U-Build. (n.d.). Cabins. Recuperato da <https://u-build.org/designs/cabins/>
- U-Build. (n.d.). FAQs. Recuperato da <https://u-build.org/faqs/>
- U-Build. (n.d.). Mill Lane Extension. Recuperato da <https://u-build.org/projects/bespoke-projects/>
- U-Build. (n.d.). Name Name Pod. Recuperato da <https://u-build.org/projects/name-name-pod/>
- U-Build. (n.d.). Nest House. Recuperato da <https://u-build.org/projects/nest-house/>
- U-Build. (n.d.). New Builds. Recuperato da <https://u-build.org/designs/new-builds/>
- U-Build. (n.d.). Olive: Unplugged Cabins. Recuperato da <https://u-build.org/projects/olive-unplugged-cabins/>
- U-Build. (n.d.). Self-build homes. Recuperato da <https://u-build.org/design-category/self-build-homes/>
- U-Build. (n.d.). Temporary Housing. Recuperato da <https://u-build.org/designs/temporary-housing-2/>
- U-Build. (n.d.). Tiny House. Recuperato da <https://u-build.org/projects/tiny-house/>
- U-Build. (n.d.). U-Build Box House. Recuperato da <https://u-build.org/projects/u-build-box-house/>
- U-Build. (n.d.). Unplugged. Recuperato da <https://u-build.org/projects/unplugged/>
- UK Government. (2021). Bacon Review: House How putting customers in charge can change everything. [PDF]. Recuperato da https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1013928/Bacon_Review.pdf
- UK Government. (2023). Homes England strategic plan 2023 to 2028. The Housing and Regeneration Agency. Recuperato da <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/646f58f6ab40bf000c196a74/Homes-England-strategic-plan-2023-to-2028.pdf>
- UK Government. (n.d.). Self-build and custom housebuilding. Recuperato da <https://www.gov.uk/guidance/self-build-and-custom-housebuilding>
- UK Government. (n.d.). Timber in Construction Roadmap. Recuperato da <https://www.gov.uk/government/publications/timber-in-construction-roadmap/timber-in-construction-roadmap>
- UK Government. (n.d.). 25 Year Environment Plan. Retrieved from <https://www.gov.uk/government/publication-s/25-year-environment-plan>
- UK Government. (n.d.). Environmental Improvement Plan. Recuperato da <https://www.gov.uk/government/publications/environmental-improvement-plan>
- UK Parliament. (n.d.). Housing and Planning Act 2016. Recuperato da <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/2012/3/contents>
- UNFCCC. (1995). CONFERENCE OF THE PARTIES First session, PROVISIONAL AGENDA AND ANNOTATIONS, INCLUDING SUGGESTIONS FOR THE ORGANIZATION OF WORK. Recuperato da <https://unfccc.int/cop3/resource/docs/cop1/01.htm>
- Urban Fabric. (n.d.). Homepage. Recuperato da <https://urbanfabric.co.uk/>
- WikiFarmHouse. (2015, agosto 5). Building a Plywood Farmhouse. Recuperato da <https://awikifarmhouse.wordpress.com/2015/08/05/building-a-plywood-farmhouse>
- WikiHouse Netherlands. (n.d.). Destripmaker. Recuperato da <https://wikihousenl.cc/portfolio-item/destripmaker/>
- Wikihouse. (2016, luglio 12). TechEconomy2030. Accessibile da <https://www.techeconomy2030.it/2016/07/12/wikihouse-dallurbanizzazione-democratica-alla-rigenerazione-sociale/>
- Wikihouse. (2016, luglio 12). Wikihouse: dall'urbanizzazione democratica alla rigenerazione sociale. TechEconomy2030. Accessibile da <https://www.techeconomy2030.it/2016/07/12/wikihouse-dallurbanizzazione-democratica-alla-rigenerazione-sociale/>
- WikiHouse. (n.d.). Mission. Recuperato da <https://www.wikihouse.cc/mission>
- WikiHouse. (n.d.). Product. Recuperato da <https://www.wikihouse.cc/product/>
- WikiHouse. (n.d.). Progetti in evidenza: The Shelter. Recuperato da <https://www.wikihouse.cc/featured-projects/the-shelter>
- WikiHouse. (n.d.). Progetti in evidenza: Wikipavilion. Recuperato da <https://www.wikihouse.cc/featured-projects/wikipavilion>
- WikiHouse. (n.d.). Skylark 250. Recuperato da <https://www.wikihouse.cc/blocks/skylark-250>
- WikiHouse. (n.d.). WikiHouse Assembly Guide. Recuperato da <https://www.wikihouse.cc/guides/assembly>
- WikiHouse Nederland. (s.d.). De Stripmaker. Recuperato il 30 novembre 2023, da <https://wikihousenl.cc/portfolio-item/destrip-maker/>
- WikiHouse. (s.d.). FAQ. Accessibile da <https://www.wikihouse.cc/faq>
- WikiHouse. (s.d.). What is WikiHouse. Recuperato da <https://www.wikihouse.cc/design/what-is-wikihouse>
- WikiHouse. (s.d.). Product. Recuperato da <https://www.wikihouse.cc/product>
- Wood Panel Industries Federation, TRADA Technology Ltd, the National Panel Products Division. (2014). Panel Guide Version 4. BM TRADA. https://wpif.org.uk/uploads/PanelGuide/PanelGuide_2014_Annex2D.pdf
- Wooddesign.fr (n.d.). Classes d'emploi [file PDF] pag 2 di 2. Recuperato da https://www.woodesign.fr/edit/classes_d_emploi.pdf
- World Creators Federation. (30 novembre 2020). Top 100 Global Creator – P81. George Devol: Creator of the first industrial robot. <https://wcsa.world/news/world-creators-federation/top-100-global-creator-p81-george-devol-creator-of-first-industrial-robot>

Ringraziamenti:

A conclusione di questo elaborato, desidero ringraziare il mio relatore Guido Callegari ed il mio correlatore Paolo Simeone che in questi mesi di lavoro hanno saputo guidarmi con suggerimenti pratici e fondamentali per la stesura dell'elaborato.

Ringrazio i miei cari, i colleghi di università e tutti gli amici che mi hanno sostenuto in questo percorso universitario.



**Politecnico
di Torino**

Tesi di laurea magistrale

Candidato: Jean Carlos Lapo Procel
Relatore: Guido Callegari
Correlatore: Paolo Simeone