I processi di industrializzazione dell'edilizia prefabbricata

I contesti della sperimentazione

Politecnico di Torino - Tesi di Laurea Magistrale in Architettura Costruzione Città - A.A. 2021/2022
Sessione di Laurea Luglio 2022

Candidata: Flavia Muratore

Relatore: Prof. Guido Callegari
Correlatore: Prof. Paolo Simeone

I processi di industrializzazione dell‘edilizia prefabbricata

I contesti della sperimentazione

Politecnico di Torino

Corso di Laurea in Architettura Costruzione Città

A.A. 2021/2022

Sessione di Laurea Luglio 2022

I processi di industrializzazione dell‘edilizia prefabbricata

I contesti della sperimentazione

Relatore:
Prof. Arch. Guido Callegari
Correlatore:
Prof. Arch. Paolo Simeone

Candidata:
Flavia Muratore

Indice

1 Prefabbricazione modulare: sperimentazioni, verifiche, industrializzazione 10

1.1 Transizioni: dalla prefabbricazione all'industrializzazione 12
- 1.1.1 Radici della prefabbricazione 12
- 1.1.2 Implicazioni 13
- 1.1.3 Componenti tecnologiche 14
- 1.1.4 Classificazione dei sistemi di industrializzazione 15

1.2 Sperimentazioni di pionieri della prefabbricazione a moduli 18
- 1.2.1 Sperimentazioni di Buckminster Fuller 18
- 1.2.2 Sperimentazioni di Jean Prouvé 23

1.3 Interventi iconici dimostrativi di prefabbricazione modulare 26
- 1.3.1 Habitat 67 26
- 1.3.2 Nakagin Capsule Tower 36

1.4 Insegnamenti derivanti da tentativi, prototipi ed esperimenti di architetture modulari 46

1.5 Prefabbricazione modulare oggi 50
- 1.5.1 Tecniche e materiali 50
- 1.5.2 Moduli in X-Lam 51
- 1.5.3 Moduli in legno 52
- 1.5.4 Moduli in acciaio 54
- 1.5.5 Moduli in calcestruzzo 56
- 1.5.6 Moduli stampati in sito 57

2 Sviluppo delle prefabbricazioni modulari in ambito internazionale 60

2.1 Implicazioni derivanti dai contesti geografici 62

2.2 Ambito europeo 64
- 2.2.1 Costruzioni modulari in Italia 74
- 2.2.2 Costruzioni modulari in Svezia 82
- 2.2.3 Costruzioni modulari in Polonia 92

2.3 Ambito giapponese 100

2.4 Ambito statunitense 116

3 Contesti tecnologici 130

3.1 Processi produttivi 132

3.2 Strumenti digitali 138

3.2.1 Integrazione e scambio dei dati elaborati con BIM, GIS, Digital Twin, DfMA e Realtà aumentata 138

3.2.2 Progettazione parametrica e algoritmica integrata BIM e DfMA 140

3.2.3 Coordinamento della catena di approvvigionamenti con Digital Twin integrato con dati BIM, sensori IoT e GIS 146

3.2.4 Collegamento della blockchain alla piattaforma Internet of Things (IoT)-BIM per la gestione della produzione off-site modulare 150

4 Casi studio di architetture off-site modulari 154

4.1 Localizzazione dei casi studio di architetture off-site modulari 156

4.2 Caso 1 - NoMad AC Modular Hotel 158

4.2.1 Scheda produttore moduli off-site: DMD Modular 176

4.2.2 Flow chart processo costruttivo 178

4.3 Caso 2 - Moxy Hotel 180

4.3.1 Scheda produttore moduli off-site: WB Factory - Woodbeton 188

4.3.2 Flow chart processo costruttivo 192

4.4 Caso 3 - The Union 194

4.4.1 Scheda produttore moduli off-site: Factory_OS 206

4.4.2 Flow chart processo costruttivo 210

5 Prospettive future 212

5.1 Conclusioni e prospettive future 214

6 Bibliografia 218

7 Risorse online 220

8 Sitografia 222

9 Altri riferimenti 226

Prefabbricazione modulare: sperimentazioni, verifiche, industrializzazione

01

1.1

Transizioni: dalla prefabbricazione all'industrializzazione

Prefabbricazione modulare: sistema votato alla industrializzazione

Indicazioni derivanti dagli studi accademici portano alla considerazione che il sistema di prefabbricazione maggiormente votato all'industrializzazione sia quello che utilizza moduli tridimensionali ultimati in stabilimento e collegati all'infrastruttura in cantiere.

Tale sistema modulare è stato classificato dal Prof. Roger-Bruno Richard dell'Università di Montreal, con i sottosistemi:
- "*E - modulo componibile, piccolo e facile da trasportare ma incompleto, in quanto necessita di un processo complementare una volta sul sito*";
- "*F - unità autonoma interamente ultimata in stabilimento*";
e costituisce oggetto di indagine della tesi.

1.1.1 Radici della prefabbricazione

Le radici dell'architettura prefabbricata affondano nella necessità di costruire in siti non attrezzati, difficilmente accessibili e privi di predisposizione alla costruzione, mediante l'utilizzo di elementi pronti, realizzati precedentemente in luoghi diversi dalla sede definitiva. La prefabbricazione comporta quindi la scomposizione delle parti componenti l'edificio già durante la fase di progettazione; esse vengono poi realizzate separatamente, ognuna nella sede più idonea ed assemblate successivamente in cantiere.

Questa particolare esigenza di costruire edifici a partire da componenti pre-finite fu spesso la conseguenza di eventi emergenziali, colonizzazioni o insediamenti in nuovi territori, tutti casi in cui il luogo della costruzione non era dotato di facilitazioni indispensabili per la realizzazione di una costruzione in modo tradizionale.

Lo sviluppo della prefabbricazione fu spesso anche legato a scenari socio-politici che hanno influito pesantemente su piani di costruzione massiva e decretato contesti nei quali la prefabbricazione è stata adottata come soluzione a specifici problemi. L'avanzamento della stessa è stato poi differente nei due grandi continenti che ne hanno scritto la storia, l'America del Nord e l'Europa, anche e soprattutto a causa dei fattori socio-economici prima citati.

La storia della prefabbricazione in Occidente inizia dallo sforzo di colonizzazione globale perpetrato dalla Gran Bretagna.
Il primo caso di cui si ha notizia è stato realizzato nel 1624, quando alcune case furono realizzate in Inghilterra e inviate al villaggio di pescatori chiamato Cape Anne, che è ora una cittadina del Massachussetts[1].

Da allora le sperimentazioni di industrializzazione che si sono susseguite nel tempo hanno cercato di rispondere, con l'impiego di materiali diversi come il legno, l'acciaio, la ghisa e le relative ed innovative metodologie, a quesiti circa:
- la possibilità della prefabbricazione di porsi come strumento con cui l'architettura riesca ad avere un impatto su tutte le aree dell'ambiente costruito, specialmente in ambito residenziale;
- la possibilità di incrementare contemporaneamente la qualità della progettazione e della produzione.

Spostandoci idealmente in tempi più recenti, le ragioni che stanno alla base dello sviluppo di un'edilizia prefabbricata sono più o meno le stesse: la possibilità di costruire in località remote, quella di completare le costruzioni in meno tempo o costruire in grandi quantità.
La società si è servita della prefabbricazione, portando le attività di costruzione che tradizionalmente avvengono in cantiere, nelle fabbriche, dove telai, moduli o pannelli vengono prefabbricati.
Gli edifici sono molto diversi dalla maggior parte degli altri prodotti industrializzati: raramente sono completamente ultimati in fabbrica, poiché per definizione sono legati ad un sito. Per questo motivo e al fine di soddisfare programmi diversificati con lo stesso approccio, i prodotti non sono edifici finiti ma sistemi di componenti, che unite generano edifici.
Un sistema edilizio è un insieme di parti coordinate e di regole in cui i dettagli sono risolti prima che gli edifici siano pianificati.

In un sistema industrializzato le stesse parti standardizzate e i loro dettagli vengono progettati per essere riutilizzati in più modi per un gran numero di edifici e per essere aggregati in grande quantità pur consentendo la diversità e anche l'individualizzazione.

All'interno di un sistema edilizio industrializzato, i dettagli costruttivi sono sperimentati e non reinventati ogni volta che si pianifica un edificio, così come invece accade con l'approccio costruttivo tradizionale del "servizio professionale" ancora oggi applicato.

1.1.2 Implicazioni

L'architetto Colin Davies pone l'accento sul rapporto esistente tra architettura e prefabbricazione focalizzandosi su questi punti[2]:
- La prefabbricazione mette in discussione il concetto di paternità di un edificio. Sposterebbe infatti la visione dell'architettura come forma d'arte, mettendone in discussione l'appartenenza ad uno specifico autore. La paternità dell'opera, nel caso di edifici prefabbricati, va condivisa tra architetto e produttore, che devono instaurare una collaborazione. L'oggetto finale sarà il risultato della fusione di idee progettuali e necessità produttive.
- La prefabbricazione comporta la necessità di conoscere e rapportarsi con le metodologie di produzione, della commercializzazione e della distribuzione, nonché della costruzione.
- La prefabbricazione non contempla come normalità

1 Smith, Ryan E., *Prefab architecture. A guide to modular design and construction.* Wiley & Sons, 2010, Hoboken, New Jersey, USA.
2 Davies C. (2005), *The Prefabricated Home.* 88-106 *(The question of authorship).* Londra: Reaktion Books Ltd.

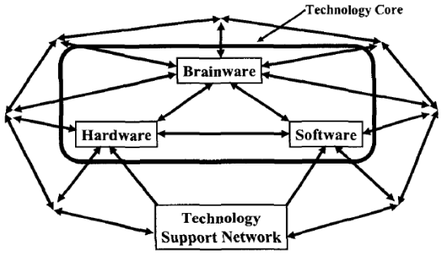
ed ipotesi di base la presa in considerazione dei desideri (a volte ossessivi) dei singoli clienti e delle caratteristiche particolari del sito.

1.1.3 Componenti tecnologiche

Nella transizione verso l'industrializzazione si tratta quindi di tenere conto di una pluralità di aspetti coinvolti nella definizione stessa di tecnologia[3].
Per una corretta analisi è opportuno considerare inoltre le varie componenti della tecnologia[4].

Milan Zeleny, economista, afferma che qualsiasi tecnologia può essere suddivisa in diverse componenti chiaramente identificabili:

1. Hardware. È l'apparato materico di una determinata tecnologia (attrezzi, macchine), la struttura fisica, l'impianto o l'attrezzatura della macchina. È il mezzo per svolgere i compiti di trasformazione richiesti per raggiungere uno scopo o obiettivo.
2. Software. È l'insieme di regole, linee guida e algoritmi necessari per l'utilizzo dell'hardware (programma, standard, regole di utilizzo) per svolgere le attività.
3. Brainware. Rappresenta gli scopi, le applicazioni e le giustificazioni dell'uso dell'hardware e del software.

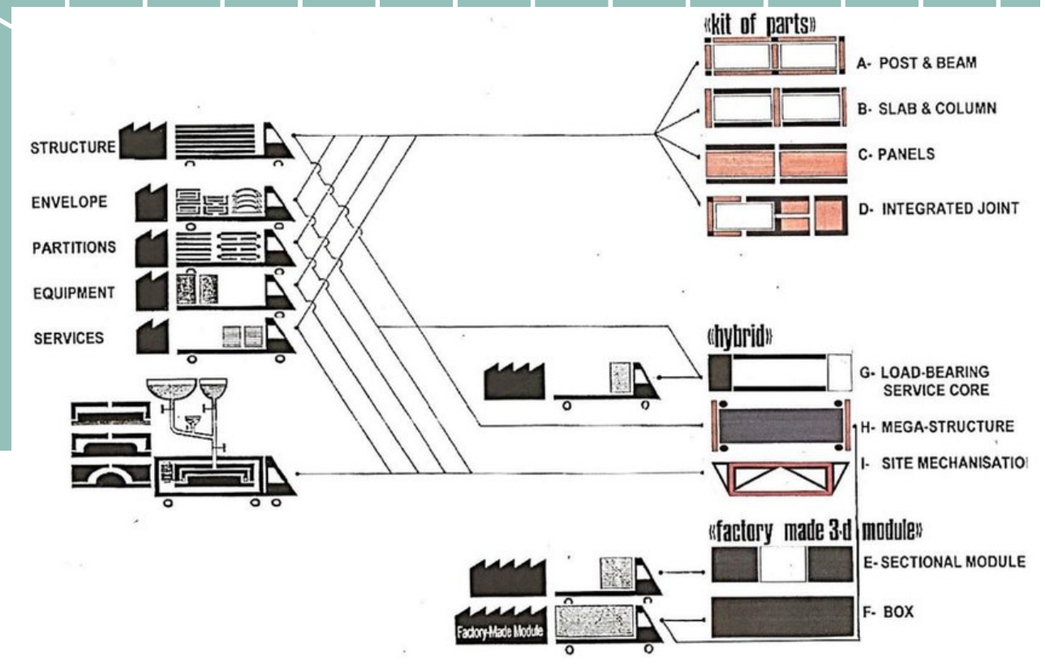


Struttura della tecnologia – da Zeleny M., Human Systems Management. Integrating Knowledge, Management and Systems. 182-183

Queste tre componenti, che formano il nucleo tecnologico, sono interdipendenti e ugualmente importanti. Le relazioni che sussistono tra loro sono circolari (non lineari e non gerarchiche) e sono suscettibili di miglioramenti reciproci.
Ognuna di queste tre componenti fa parte di una complessa rete di relazioni fisiche, socio-economiche e di informazioni: la rete di sostegno. Questa è data dalle strutture organizzative, amministrative e culturali che risultano necessarie (regole di lavoro, selezione obiettivi, culture di gestione, sistemi di norme e misure). Zeleny parla di un vero e proprio incastonamento della tecnologia nelle relazioni della sua rete di sostegno (ed è da questa parzialmente definita).

1.1.4 Classificazione dei sistemi di industrializzazione

L'architetto Roger-Bruno Richard, professore ordinario presso la Scuola di Architettura dell'Università di Montreal, ha ideato una classificazione generica dei sistemi edilizi industriali, pubblicata a livello internazionale.



Schema relativo alla distribuzione del lavoro tra l'industria e il cantiere – da Richard, Roger-Bruno (2004). Industrialized building systems for housing the "palette" of options. 28. 1-7.

Il Prof. Richard confronta il processo costruttivo convenzionale, orientato ai servizi, con quello più industrializzato, orientato invece al prodotto. Infatti, la costruzione tradizionale viene ogni volta sviluppata, come se si trattasse di un prototipo, intorno ad un differente team di architetti, ingegneri e costruttori. Ben diversa è la costruzione orientata al prodotto, realizzata in maniera completamente industrializzata. La fabbrica non produrrà un edificio completo ma un sistema edilizio industrializzato: un insieme di parti e regole in cui gli stessi dettagli sono applicabili a molti edifici diversi dislocati su vari siti.

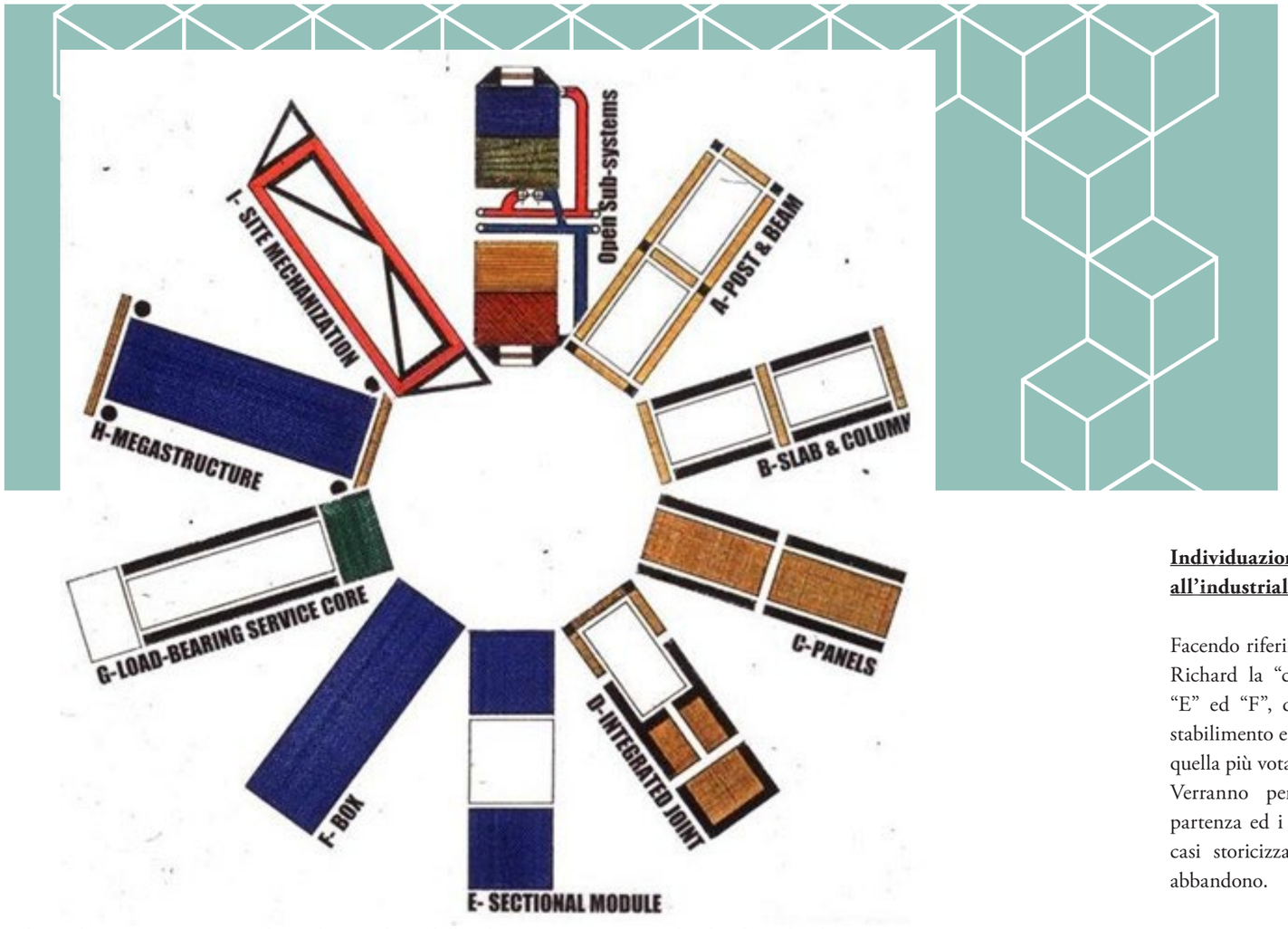
Tuttavia non esiste un unico sistema di costruzione industrializzato universale nel mondo, ma categorie e tipologie diverse per incontrare molteplici specificità. Alcune strategie e tecnologie saranno più appropriate di altre in uno specifico contesto per motivi di risorse, programma, condizioni locali. Considerato che gli edifici sono strettamente legati ad un sito mentre le tecnologie sofisticate sono solitamente centralizzate in una fabbrica, si possono estrapolare tre categorie di

3 Ciribini, G., *Tecnologia e progetto. Argomenti di cultura tecnologica della progettazione*. Torino: Celid, 1984.
4 Zeleny M., *Human Systems Management. Integrating Knowledge, Management and Systems.* 3.2.1 Components and technology. 182-183.

sistema edilizio di base.
Le prime due categorie rappresentano i due estremi:

- La prima è legata al fatto che ogni edificio è profondamente connesso con le sue fondazioni e col sito su cui nasce; raggruppa infatti quei sistemi edilizi che utilizzano componenti provenienti da diversi produttori ed assemblate in cantiere per ottenere la costruzione finale. Si possono quindi elencare, in ordine crescente a seconda della complessità del lavoro richiesto in cantiere, quattro gruppi di sottosistemi:
  A. Travi e pilastri: scheletro suscettibile di completamento orizzontale e verticale in cantiere.
  B. Lastre solaio ed elementi orizzontali continui suscettibili di completamento verticale.
  C. Pannelli: componenti orizzontali e verticali piani, portanti, che forniscono una distribuzione lineare dei carichi.
  D. Giunto integrato: componente monolitico che semplifica le connessioni posizionando i giunti al di fuori del punto d'incontro geometrico.

Questo sistema coinvolge pochi semplici componenti, prodotti in grandi quantità presso impianti specializzati e consegnati al luogo d'impiego, implicando una serie di operazioni di giunzione da svolgere in cantiere per il montaggio.



Schema dei sistemi costruttivi industrializzati ideata dall'architetto Roger-Bruno Richard – da Richard, Roger-Bruno (2004). Industrialized building systems for housing the "palette" of options. 28. 1-7.

- La seconda categoria, agli antipodi, raggruppa i sistemi più votati all'industrializzazione, ovvero quelli che utilizzano moduli tridimensionali ultimati in stabilimento e collegati all'infrastruttura in cantiere.
  E. Modulo componibile: modulo piccolo e facile da trasportare ma incompleto, in quanto necessita di un processo complementare una volta sul sito.
  F. Box: unità autonoma interamente ultimata in stabilimento.

- La terza categoria, definita ibrida, racchiude il meglio di entrambi i mondi: include la realizzazione di parti complesse in stabilimento mentre le lavorazioni più pesanti o da effettuare in larga scala vengono svolte in cantiere.
  G. Nucleo di servizio portante realizzato in stabilimento con moduli 3D con capacità strutturale.
  H. Megastruttura: struttura per impilare moduli leggeri fino a raggiungere lo status di grattacielo senza sovrapporli.
  I. Meccanizzazione in sito: trasformare il sito in una fabbrica per la produzione di strutture monolitiche in calcestruzzo.

<u>Individuazione del sistema maggiormente votato all'industrializzazione</u>

Facendo riferimento alla classificazione dell'architetto Richard la "categoria" rappresentata dalle tipologie "E" ed "F", dei moduli tridimensionali ultimati in stabilimento e collegati all'infrastruttura in cantiere, è quella più votata all'industrializzazione.
Verranno pertanto esaminate le motivazioni di partenza ed i primi tentativi attraverso lo studio dei casi storicizzati ed analizzate la loro diffusione o abbandono.

1.2

Sperimentazioni di pionieri della prefabbricazione a moduli

La storia della prefabbricazione ha visto un lungo periodo in cui si sono susseguite proposte utopiche ma anche prototipi e realizzazioni che hanno tentato di evolvere il mercato.

Il passaggio dalla prefabbricazione di singole componenti per l'edilizia alla prefabbricazione modulare è transitato attraverso un periodo di sperimentazioni, a partire dagli anni '20 del Novecento, in cui vennero realizzate intere unità abitative completamente prodotte e assemblate in fabbrica.

Tra i primi sperimentatori in questo senso si possono annoverare Buckminster Fuller e Jean Prouvé, i cui contributi ebbero da subito più successo di quelli dei noti maestri del tempo, ovvero Gropius, Mies e Le Corbusier, e furono ampiamente accettati e riconosciuti anche da un pubblico non specializzato. Questo successo può essere attribuito all'eccellenza tecnica dei progettisti e dal prodotto finito.

Inizi sperimentali di prefabbricazione a moduli

Si ripercorrono le tappe delle sperimentazioni di coloro che hanno provato ad innovare l'edilizia con l'ideazione e realizzazione di prototipi modulari prefabbricati.

1.2.1
Sperimentazioni di Buckminster Fuller

Nel 1928 l'ingegnere americano Richard Buckminster Fuller brevettò la Dymaxion, una casa con struttura metallica a pianta esagonale sospesa con cavi ad un supporto centrale. Fu concepita come la "casa del futuro" e si proponeva come l'abitazione più resistente, leggera ed economica mai costruita. Conteneva un sistema impiantistico di derivazione aeronautica ed era stata

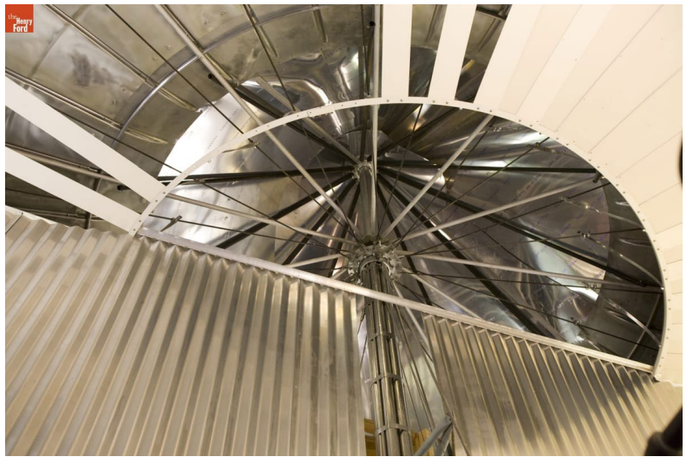
La Dymaxion House esposta presso l'Henry Ford Museum di Dearborn, Michigan – dal sito ufficiale del museo Henry Ford (https://www.thehenryford.org/visit/henry-ford-museum/exhibits/dymaxion-house/)

progettata guardando ai moderni metodi sviluppati nell'industria automobilistica e in particolare quelli sostenuti da Henry Ford, per il quale Fuller nutriva un'immensa ammirazione. Il nome "Dymaxion" era una vera e propria filosofia di pensiero e derivava dall'unione dei termini ***dy****namic*, ***max****imum* e *tens****ion***, ovvero "massima tensione dinamica".

Nel 1936 progettò il "Dymaxion Bathroom", precursore dei moduli bagno prefabbricati, con una doccia che necessitava solo di una tazza di acqua calda e un water che non consumava affatto acqua.
Nel 1940 sviluppò una casa portatile a basso costo chiamata Dymaxion Deployment Unit (ddu), basata su contenitori di stoccaggio agricoli circolari standard realizzati dalla Butler Manufacturing Company del Kansas. L'esercito americano comprò migliaia di "ddu" da usare come capanne operative radar.

Dymaxion House - particolari del sistema di ventilazione (a sinistra) e del modulo cucina (foto a destra) – dal sito ufficiale del museo Henry Ford (https://www.thehenryford.org/visit/henry-ford-museum/exhibits/dymaxion-house/)

La convinzione dello stesso Ing. Fuller[1] che i suoi progetti fossero 25 anni avanti rispetto ai loro tempi influenzò probabilmente gli sviluppi.
Infatti quando nel 1945 l'industria aeronautica Beech Aircraft di Wichita, Kansas gli propose di mettere in produzione il progetto l'Ing. Fuller rispose che non sarebbe stato pronto per un'impresa commercialmente sfruttabile fino al 1952. Fu comunque fondata la Fuller Houses Inc., con Fuller come capo progettista per lo sviluppo e produzione della Wichita House che avrebbe combinato i tre progetti Dymaxion per creare la casa familiare individuale tecnicamente più avanzata al tempo.



Particolare del sistema di ventilazione – dal sito ufficiale del museo Henry Ford (https://www.thehenryford.org/visit/henry-ford-museum/exhibits/dymaxion-house/)

La casa venne ideata con particolare attenzione alla sua efficienza dal punto di vista ambientale con innovazioni lungimiranti e influenti nella prefabbricazione e nella sostenibilità. Nel contempo avrebbe potuto essere prodotta in serie, imballata piatta e spedita in tutto il mondo.
La forma esteriore della casa era determinata dagli studi dei flussi d'aria che miravano a ridurre la resistenza al vento per la stabilità laterale della struttura ed aumentavano anche l'efficienza energetica riducendo la dispersione di calore attraverso l'involucro esterno.
La forza del vento è stata sfruttata per aumentare la ventilazione aspirando l'aria attraverso una grande presa d'aria rotante posta sulla parte superiore del tetto. Il riscaldamento avveniva per mezzo di un flusso di aria calda proveniente da un condotto centrale; invertendo il flusso si otteneva il raffrescamento.

Tutte le componenti impiantistiche, elettriche, idrauliche e di climatizzazione, compresi due bagni Dymaxion ed un sistema di cisterne per raccogliere e riciclare l'acqua, sono stati raggruppati al centro della casa. Il resto dello spazio era diviso come una torta in cinque fette – soggiorno, due camere da letto, cucina e ingresso – da partizioni radiali leggere liberamente spostabili per consentire la personalizzazione aumentando le dimensioni di una stanza a spese di un'altra; funzione resa possibile anche dal sistema di finestre a nastro orizzontale, in plexiglass senza aperture, che avvolgevano tutta la casa. Non erano previste finestre apribili perché un sistema controllato di circolazione dell'aria garantiva il ricambio realizzando al contempo una riduzione dei costi di riscaldamento in inverno e raffrescamento in estate. Il progettista dichiarò che il ricambio completo dell'aria avveniva ogni 6 minuti. Il sistema poteva resistere a venti fino a 290 chilometri orari[2].

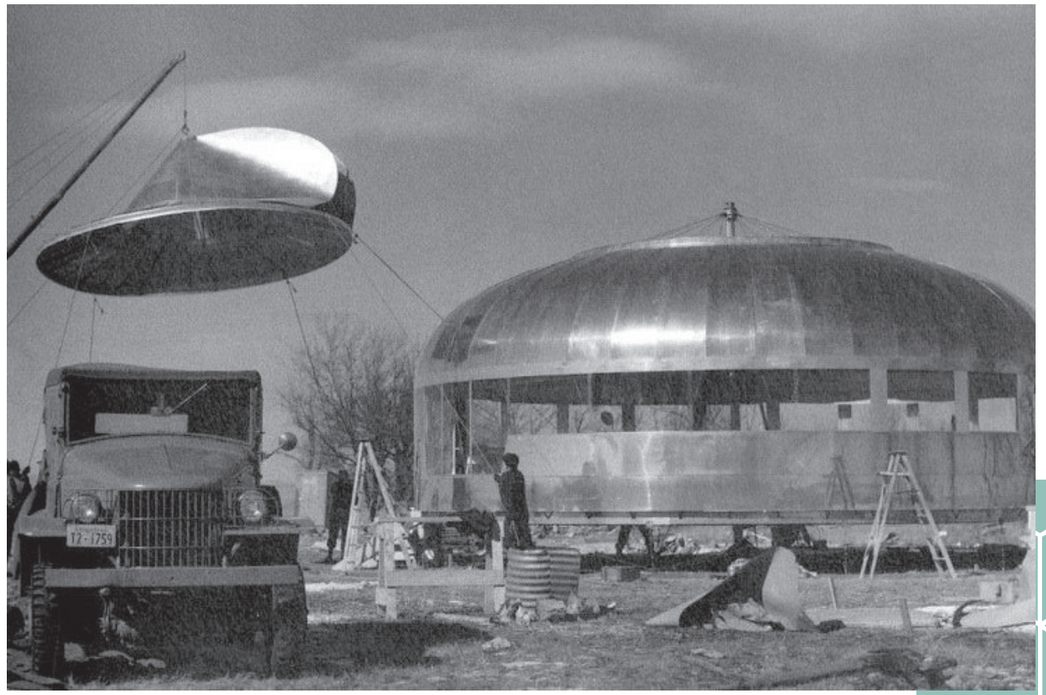
Anche la struttura portante era innovativa, l'intera casa era sospesa con cavi incrociati ad un albero centrale in acciaio realizzando una tensostruttura simile ad una ruota di bicicletta. Le pareti ed il tetto erano realizzate con lamiere in duralluminio stampate ed assemblate con rivetti. Il peso totale della casa era pertanto contenuto in circa 2700 Kg e tutti i componenti potevano essere trasportati da un singolo camion.
Il tempo di montaggio era stimato in un giorno di lavoro con una squadra di sei persone.
Il prezzo della casa, 6.500 dollari, formulato sulla base di una produzione limitata, era molto competitivo ed era valutata la sua riduzione a 3.700 dollari al raggiungimento di una produzione in larga scala.

Vista della cucina – dal sito ufficiale del museo Henry Ford di Dearborn, in Michigan

Ricostruzione del soggiorno della Dymaxion house. Rispetto ad una classicca struttura quadrata, la forma rotonda consente di racchiudere un maggiore spazio a parità di materiale usato, avvalendosi del principio "more with less" (ovvero "più con meno") – dal sito ufficiale del museo Henry Ford (https://www.thehenryford.org/visit/henry-ford-museum/exhibits/dymaxion-house/)

La presentazione del prodotto ed i due prototipi realizzati, furono accolti con molto interesse registrando in poco tempo 3.700 domande di acquisto. Per l'implementazione delle linee di produzione fu stimata la necessità di un investimento di 10 milioni di dollari e questo frenò soprattutto Fuller, che insistette

1 Colin Davies, *The Prefabricated Home.* London: Reaktion Books, 2005
2 "*The ventilator is able to withstand winds up to hurricane force - up to 180 miles!*" - sito web dell'Henry Ford Museum di Dearborn, in Michigan (USA) *https://www.thehenryford.org/visit/henry-ford-museum/exhibits/dymaxion-house/*



Fase di montaggio della copertura del sistema di ventilazione – dal sito web Archdaily https://www.archdaily.com/401528/ad-classics-the-dymaxion-house-buckminster-fuller

sulla necessità di un ulteriore lavoro di sviluppo prima che la casa potesse entrare in piena produzione.
La dilatazione dei tempi imposta da Fuller si tradusse in ritardi che portarono ad una diminuzione della fiducia e alla liquidazione della società dopo la costruzione di una sola casa. Uno dei prototipi, meticolosamente restaurato, è esposto presso l'Henry Ford Museum di Dearborn, in Michigan (USA).

Le grandi potenzialità offerte dai concetti della Dymaxion, sfociati nel progetto Wichita House, che forniva soluzioni innovative grazie all'utilizzo di nuovi materiali, dell'implementazione di tecnologie sostenibili e della sua facilità di montaggio, costituiscono un positivo contributo alla prefabbricazione modulare in disaccordo con i risultati commerciali.

Nel 1954 a Milano, nel giardino Sforza, Fuller espose un'innovativa cupola in cartone colorato di arancione, dal diametro di 10 metri, per un peso di 600 kg, involucro esterno di un'abitazione unifamiliare di circa 95 metri quadrati.

Montata sul posto con l'ausilio di pochi utensili, si aggiudicò il Gran Premio alla Triennale milanese.

1.2.2
Sperimentazioni di Jean Prouvé

Sebbene né Fuller né Prouvé avessero una formazione completa da architetti, ebbero un forte impatto sulla prefabbricazione in architettura, tanto da avere realizzato lavori poi riconosciuti anche al di fuori delle cerchie di esperti.

Il francese Jean Prouvé iniziò la propria carriera occupandosi di progettazione di mobili ed arredi; basandosi sulle conoscenze acquisite nel campo, nel 1935 progettò un piccolo rifugio prodotto in serie ed un prototipo di casa vacanza.
Quest'ultimo era pensato per la produzione di massa, ma per alcune vicissitudini venne realizzato solo un prototipo.

Allo scoppio della guerra lo studio di Prouvé concentrò le proprie forze nella produzione di alloggi di emergenza di 3 metri per 3 che potessero ospitare i soldati.

Jean Prouvé, Case Meudon (1950) - Parigi, Francia – dal sito web "Casa abierta" (https://casa-abierta.com/post.php?t=5a8409236b01c)

Quest'ultimo seguiva con interesse gli sviluppi del suo tempo riguardanti gli innovativi metodi di produzione e fabbricazione ed era fermamente convinto dell'importanza della pratica e della sperimentazione negli studi riguardanti design e fabbricazione.
I suoi progetti si basavano su uno schema a secco formato da una struttura in acciaio, tetto in legno e tamponamenti e pavimento a pannelli.

Ogni rifugio poteva essere eretto da tre uomini in una sola ora[3].

3 Colin Davies, *The Prefabricated Home*. London: Reaktion Books, 2005

Nel dopoguerra il Ministero per la Ricostruzione ordinò la realizzazione di residenze temporanee, basate sui principi costruttivi dei rifugi per soldati, che fossero leggere e facilmente montabili. Nel 1949 realizzò in prefabbricazione le “Case Meudon”, 25 abitazioni erette in un sobborgo vicino a Parigi; sorgevano in un ambiente urbano già consolidato ed erano alloggi modesti destinati a famiglie a basso reddito.
Le fondazioni, realizzate in opera, separavano l’abitazione vera e propria dal terreno sottostante; i rivestimenti in alluminio derivavano dagli studi precedentemente portati avanti nelle sue *Maisons à portiques* e la *Maison Tropicale*.

Ogni elemento giungeva in cantiere già completo e l’assemblaggio poteva avvenire in poco tempo. Furono considerate dallo stesso Prouvé *'case del futuro'* per la possibilità di sostituire i pannelli e modificare facilmente gli ambienti.

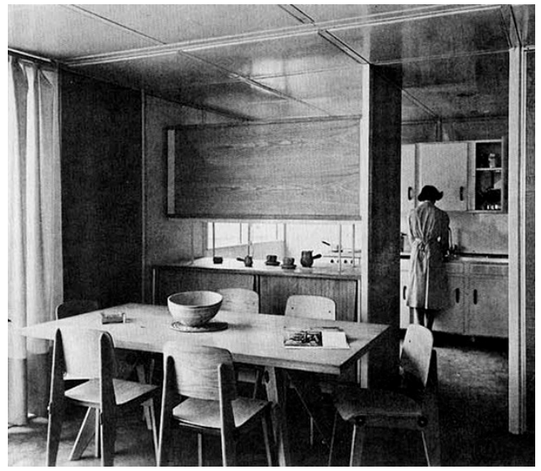
Per la produzione dei propri moduli prefabbricati Jean Prouvé prediligeva tecniche di stampaggio, formatura, piegatura, bullonatura e saldatura; queste caratteristiche contraddistinguevano l’aspetto estetico delle sue architetture[4].

Jean Prouvé, Case Meudon, esterno e cucina. Parigi, Francia (1950) – dal sito web "Casa abierta" (https://casa-abierta.com/post.php?t=5a8409236b01c)

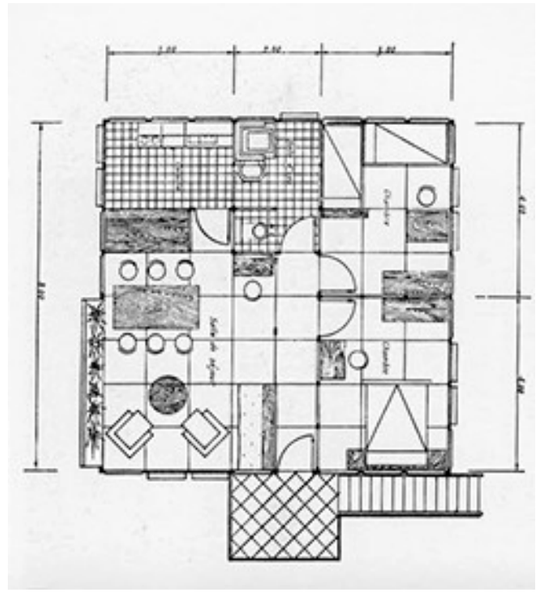
Una particolarità delle Case Meudon era la loro adattabilità alle esigenze dei propri occupanti: ben nove tipologie diverse di pannelli, elementi porta o finestre potevano essere combinate per creare diverse varianti dello spazio abitativo.

4 Ryan Smith, *Prefab Architecture. A guide to modular design and construction.* Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2010

Principi guida dei suoi progetti erano soprattutto la massimizzazione degli spazi utili e la leggerezza degli elementi. Molti dei criteri di progettazione e produzione utilizzati in architettura sono riconducibili agli studi di Prouvé all'inizio del XX secolo.



Case Meudon, immagine della cucina. Parigi, Francia (1950) – dal sito web "Casa abierta" (https://casa-abierta.com/post.php?t=5a8409236b01c)



Case Meudon, pianta. Parigi, Francia (1950) – dal sito web "Casa abierta" (https://casa-abierta.com/post.php?t=5a8409236b01c)

1.3

Interventi iconici dimostrativi di prefabbricazione modulare

La realizzazione di un sistema di prefabbricazione aperto, con componenti volumetrici, è una delle maggiori ambizioni dell'off-site legata all'ambito residenziale.
Alla fine degli anni '60 Moshe Safdie a Montréal e Kisho Kurokawa a Tokyo, hanno dimostrato che la prefabbricazione a moduli era ormai diventata una realtà dando prova della realizzabilità di questa idea fornendo esempi costruiti.

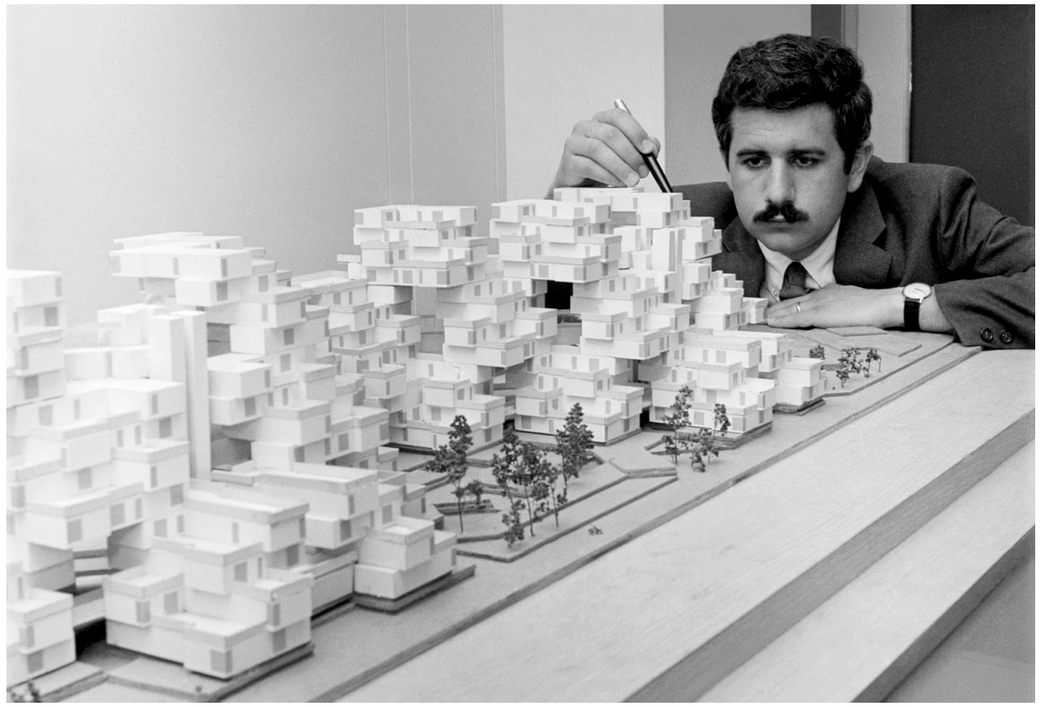
Casi studio di maggior rilievo di prefabbricazione a moduli sono infatti "Habitat 67", un prototipo di edificio residenziale composto da unità prefabbricate e messe in opera secondo una configurazione innovativa, progettato dall'Architetto Safdie, e la capsula simbolo del movimento metabolista, proposta dall'Architetto Kurokawa all'inizio degli anni '70 e utilizzata come modulo abitativo nella torre Nakagin.

Le esperienze di casi studio storicizzati

Casi dimostrativi di fattibilità di prefabbricazione residenziale a moduli. Indagine sulle realizzazioni e sulle problematiche riscontrate.

1.3.1 Habitat 67

Per l'Esposizione universale di Montreal del 1967, l'architetto ventiquattrenne Moshe Safdie vide la realizzazione del suo primo progetto. Il complesso contava ben centocinquantotto abitazioni, realizzate con 354 unità modulari, di 18 tipologie diverse in cemento armato rinforzato prodotto off-site. I moduli furono impilati l'uno sull'altro e i vuoti che si venivano a creare tra di loro furono usati come passaggi o giardini.



L'architetto Moshe Safdie con il modello per Habitat 67 – dal sito web "Vintage Everyday" (https://www.vintag.es/2019/05/habitat-67-construction.html)

Habitat '67 nacque in concomitanza con l'Esposizione Universale di Montréal del 1967 (era parte della fiera stessa in quanto quartiere sperimentale e collocato su un'isola artificiale costruita appositamente per l'Expo) e si poneva come provocazione nei confronti dei padiglioni dell'Expo che, a differenza del grande edificio d'avanguardia, hanno vita effimera e sono smantellati subito dopo l'evento.
Safdie lo pensò come un'esposizione permanente, contro tutte quelle provocazioni architettoniche mai costruite o sviluppate nella realtà; anche l'impegno profuso dal giovane architetto nel trasformare il suo primo progetto in realtà è da intendersi come azione contro le mere provocazioni.

- **Inventore**: Architetto Moshe Safdie
- **Epoca**: 1967
- **Luogo**: Montréal, Canada
- **Descrizione**: Habitat '67 è da intendere come un vero e proprio sistema costruttivo tridimensionale, in grado di adattarsi ad una varietà di applicazioni e siti diversi. Come scrive lo stesso Safdie nel 1967[1], il suo intento è di indicare le carenze del modello attuale della costruzione industrializzata e suggerire le nuove direzioni da intraprendere per uno sviluppo positivo.
Il sistema costruttivo di Habitat '67 si propone di far fronte all'espansione dell'edilizia esistente e ai nuovi sviluppi urbani. È un'alternativa sia alla periferia che al sorgere di nuove torri di edilizia popolare e progetti di rinnovamento urbano che germogliavano nelle nostre città in quegli anni. Mira a fornire alle famiglie tutte le comodità di cui necessitano: un giardino, privacy e spazi aperti,

1 Safdie M. (1967), *Habitat '67 - Towards the development of a Building System* da PCI Journal, edizione Febbraio 1967.

tutto nello spazio di un edificio multipiano e ad alta densità abitativa. Consente di avere allo stesso tempo la privacy della casa singola e il senso di comunità degli spazi collettivi che la periferia non offre. Tra le unità abitative trova spazio anche una rete di servizi commerciali e uffici, rendendo così possibile un incremento della densità ma anche di servizi nell'area.
In Habitat '67 i giardini furono ricavati dagli spazi che si venivano a creare tra i moduli dopo la loro installazione in cantiere e sorgevano sui tetti dei moduli sottostanti. Ogni abitazione è dotata di almeno un giardino, alcuni di essi raggiungono grandi dimensioni, fino a 50 metri quadri circa.

maggior ventilazione naturale e donava ad ogni appartamento l'affaccio verso tre diverse direzioni. La sapienza di Safdie fu infatti quella di giocare con gli assemblaggi e le infinite possibilità permesse dalla geometria scelta per i moduli; nonostante i volumi siano gli stessi, nessuna casa risulta uguale all'altra per orientamento, viste sul paesaggio, punti di accesso e organizzazione interna.

- **Scelta dei materiali:** Per la scelta del materiale strutturale di Habitat '67 furono intrapresi vari studi, dallo Steel Institute of Canada e dalle aziende del comparto del cemento, per determinare pregi e difetti di ciascun materiale.

Moshe Safdie in cantiere durante la costruzione dell'Habitat 67. Montréal, 1966 – dal sito web "Vintage Everyday" (https://www.vintag.es/2019/05/habitat-67-construction.html)

Questa configurazione con i moduli impilati in maniera "disordinata" permetteva una

La scelta è ricaduta sul calcestruzzo siccome aveva la triplice funzione di racchiudere lo spazio, avere proprietà estetiche tali da non richiedere rivestimenti esterni e soprattutto essere ignifugo; una struttura in acciaio sarebbe risultata infatti più costosa proprio per la necessità di aggiungere un sistema di resistenza al fuoco.
Il materiale più adatto (e più economico) era quindi il calcestruzzo; scriveva Safdie in quegli anni "*Il materiale ideale, che sia relativamente leggero, con un'elevata capacità strutturale sia in trazione che in compressione e ha superfici che non sono porose all'umidità, deve ancora essere sviluppato. Penso che sia importante tenere presente che queste proprietà nei materiali da costruzione sono essenziali e debbano dettare le necessità della ricerca nel settore edile*"[2].

2 Safdie M. (1967), *Habitat '67 - Towards the development of a Building System* da PCI Journal, edizione Febbraio 1967.

Sollevamento di uno dei moduli che compongono Habitat 67, 1966 – dal sito web "Vintage Everyday" (https://www.vintag.es/2019/05/habitat-67-construction.html)

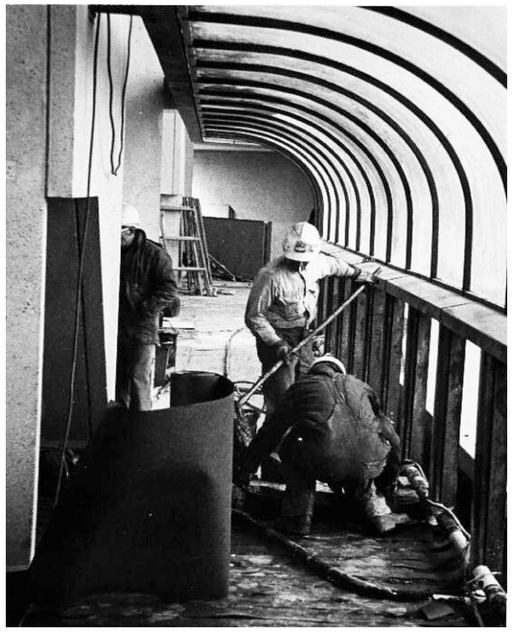
Vista aerea di Habitat '67 in cui si notano le relazioni tra i vari moduli – dal sito web "Vintage Everyday" (https://www.vintag.es/2019/05/habitat-67-construction.html)

- **Modalità**: La cellula modulare è lei stessa elemento strutturale; si regge da sola ed è in grado di reggere il peso delle unità sovrastanti. L'unità prefabbricata racchiude lo spazio dell'abitazione e costituisce la superficie esterna della casa.
  Gli elementi possono essere raggruppati a formare dei cluster di varia grandezza e si possono avere altezze da 2 a 25 piani, a seconda del sito, della disponibilità economica e della densità abitativa richiesta dal singolo programma. L'unità modulare è completata con altri componenti, anch'essi standardizzati e prodotti in serie in stabilimento. I vari componenti, come bagni, cucine, ripostigli, centraline, sistemi di distribuzione meccanica e sistemi di riscaldamento e raffrescamento arrivano in cantiere e lì sono installati in sequenza, proprio come i vari elementi di una macchina, che sono fabbricati in diversi luoghi per poi essere finalmente assemblati nello stabilimento automobilistico.

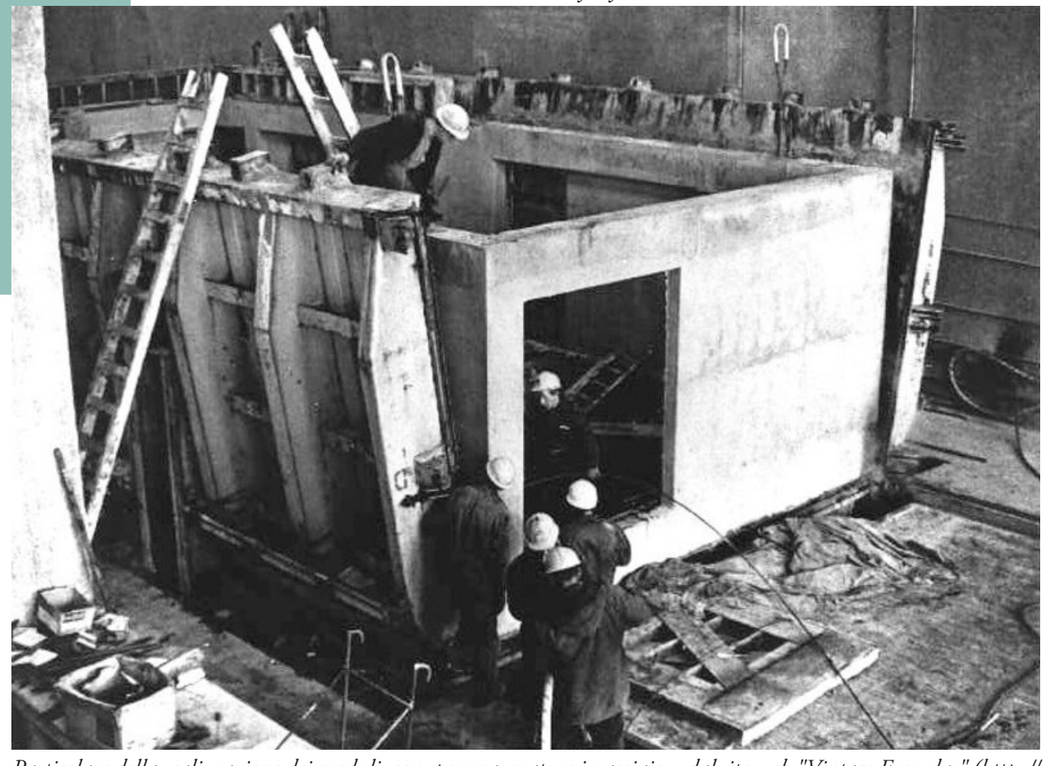
Dal punto di vista urbanistico, Safdie decise di integrare nello stesso edificio tutte le destinazioni d'uso - residenziale, commerciale, istituzionale, spazio aperto - piuttosto che seguire il modello di sviluppo urbano tipico di quegli anni, che prevedeva gli stessi servizi ma sviluppati in adiacenza l'uno all'altro. L'architetto auspicava un cambiamento nel modello di città, che raggruppasse verticalmente in un modello tridimensionale tutti i servizi utili e permettesse un miglior uso del suolo[3]. Aveva infatti pensato le abitazioni come una membrana continua, ben esposta alla luce solare, corredata di spazi verdi e con gli spazi messi in comunicazione da una rete di servizi commerciali e non.

- **Sistema costruttivo**: Il sistema costruttivo si basa su unità modulari tridimensionali prefabbricate in calcestruzzo, ognuna delle quali misura circa 5 metri per 12 e alte 3 metri. Il calcestruzzo veniva gettato in stampi di acciaio per ottenere la forma scatolare; successivamente le unità erano spostate in un'area apposita, dove tutte le componenti, infissi e finiture venivano installati secondo il metodo della catena di montaggio. Cucine, bagni, finestre, telai, isolamento, ecc. venivano aggiunti al modulo ed installati prima del posizionamento del soffitto, in modo da ottenere un ambiente completo e già pronto per essere eretto in cantiere, grazie ad una gru che lo sollevava e spostava fino alla posizione definitiva. Il peso di ogni modulo andava dalle 70 alle 90 tonnellate.

  Le unità modulari sono state pensate come autoportanti. Sono state erette le une sulle altre, distribuendo il carico attraverso



Costruzione dei corridoi coperti di collegamento tra le abitazioni di Habitat '67 – dal sito web "Vintage Everyday"



Particolare della realizzazione dei moduli, con spesse casserature in acciaio – dal sito web "Vintage Everyday" (https://www.vintag.es/2019/05/habitat-67-construction.html)

3 Safdie M. (1967), *Habitat '67 - Towards the development of a Building System* da PCI Journal, edizione Febbraio 1967.

le pareti e i pilastri. Ulteriore supporto strutturale è dato da speciali "strade" orizzontali, che contenevano sistemi meccanici e permettevano la circolazione pedonale.

Alcuni di questi corridoi sono chiusi grazie ad un involucro trasparente che partendo dal parapetto curva fino a congiungersi con la struttura sovrastante e crea uno spazio di circa 3 metri di altezza. Dal punto di vista strutturale servivano anche a distribuire orizzontalmente parte dei carichi provenienti dai moduli e scaricarli a terra tramite i nuclei che ospitano scale ed ascensori. L'interazione tra moduli abitativi e "strade" contribuisce ad un irrigidimento strutturale dell'intero complesso nei confronti di forze sismiche e del vento.
Per consentire inoltre buoni livelli di isolamento acustico ed evitare la trasmissione delle vibrazioni attraverso la struttura, le unità modulari sono posizionate in modo da avere muri, pavimenti e soffitti di abitazioni adiacenti come entità vicine ma separate.

Immagine dal cantiere di Habitat 67, fase di messa in posa di un modulo tramite l'uso di speciali gru, 1966 – dal sito web "Vintage Everyday" (https://www.vintag.es/2019/05/habitat-67-construction.html)

- **Considerazioni attuali sul progetto**: Nonostante le grandi idee che questo ambizioso progetto aveva alla base, è innegabile che Habitat '67 non sia riuscito a raggiungere il suo scopo originale in alcuni aspetti. Ad esempio, a causa dello sforamento del budget, l'originale proposta progettuale che prevedeva più di mille abitazioni contenute in parallelepipedi di cemento armato impilati da gru semoventi è stata ridotta a 158.
Questa significativa diminuzione del numero si tradusse in minore efficienza della prefabbricazione, che portò ad un costo per unità significativamente più alto rispetto alle previsioni iniziali. Inoltre, una cattiva gestione socio-economica da parte del governo portò a dei canoni di locazione molto alti (si stima 140.000 dollari canadesi ad alloggio[4]), che trasformarono Habitat '67 in abitazioni per la classe media.
Un'altra critica che venne mossa al tempo della costruzione fu che i moduli prefabbricati erano troppo pesanti per essere facilmente installati o spostati, l'edificio aveva troppe "variazioni" e per creare i getti servivano strumenti e forme specifici. Oltre alle difficoltà nella produzione in stabilimento, il lavoro in cantiere richiedeva enormi gru e manodopera intensiva per collegare tra loro i moduli. Il concetto iniziale di produzione e installazione veloce non si è tradotto in un effettivo risparmio di denaro, anzi, la realizzazione del progetto fu di molto sopra il budget. Safdie abbandonò il suo sogno di prefabbricazione applicata alle abitazioni di massa, definendo il suo esperimento un fallimento, e sostenendo che la prefabbricazione in architettura era impossibile. L'architetto Paul Rudolph ha affermato che le scelte dei materiali attuate da Safdie erano il problema principale, perché hanno portato ad una grande difficoltà di fabbricazione e montaggio dei moduli[5].
L'obiettivo di Safdie di realizzare alloggi a prezzi accessibili è in gran parte fallito, ma Habitat '67 rimane ad ogni modo un grande esempio di architettura d'avanguardia che ha mostrato fisicamente la piena integrazione di struttura, spazi e sistemi meccanici che insieme creano un ambiente altamente dinamico, che risponde al desiderio umano di interazioni.

4 dal sito web "Vintage Everyday" (*https://www.vintag.es/2019/05/habitat-67-construction.html*)

5 Smith, R. E. (2010). *Prefab architecture. A guide to modular design and construction.* Hoboken, New Jersey, USA: Wiley & Sons.

Viste delle terrazze ricavate tra i moduli dell'edificio (foto sopra) e delle residenze osservate dalle passerelle di collegamento (immagine sotto) – da Abitare (https://www.abitare.it/it/eventi/2017/08/02/habitat-67-moshe-safdie-mostra/)

Habitat '67 poco dopo la sua inaugurazione in occasione dell'Esposizione Universale. Montréal, 1967.

Dal sito web "Vintage Everyday" (https://www.vintag.es/2019/05/habitat-67-construction.html)

1.3.2
Nakagin Capsule Tower

Dalla metà degli anni ‘60 del Novecento in Giappone emerse una nuova tipologia di architettura moderna, che si basava su un’esplicita espressione della struttura e su un uso quasi esasperante della tecnologia moderna. I modelli architettonici tipici del periodo miravano ad una celebrazione della tecnica industriale e rendevano omaggio al boom economico che stava vivendo anche il Giappone.

Kisho Kurokawa, l'architetto della Nakagin Capsule Tower durante l'inaugurazione nel 1972 – da https://www.michaelblackwoodproductions.com/project/nakagin-capsule-tower

In quel clima nacque un gruppo di giovani architetti, che si autodefinivano i "Metabolisti", i quali auspicavano un forte cambiamento delle città giapponesi, impegnandosi in progetti urbani visionari che univano l’ossessione per il meccanismo con un immaginario da navicella spaziale.

La posizione metabolista richiamava il suggerimento dei Futuristi che la città moderna fosse fatta di una macchina dinamica costituita da parti mobili e variabili. Secondo la loro visione l'architettura contemporanea, al contrario di quella del passato, doveva essere mutevole, mobile, capace di venire incontro alle mutevoli esigenze dell'età contemporanea[1].
Lo spazio doveva essere pensato come capace di seguire i cambiamenti e non più progettato con una funzione statica che ne fissasse una forma. Similmente al gruppo a loro complementare Archigram, anche gli architetti Metabolisti giapponesi fecero largo uso di capsule e cellule, che nei loro progetti si innestavano ad incastro in strutture reticolari.

La Nakagin Capsule Tower è una delle più lampanti trasposizioni architettoniche dei concetti promossi dai Metabolisti. Fu costruita nel 1972 dall’architetto giapponese Kisho Kurokawa, che condensò in questa sua realizzazione le proprie sperimentazioni sull’abitazione iniziate due anni prima con il padiglione Takara del 1970.

- **Inventore** : Architetto Kishō Kurokawa
- **Epoca** :
  Progettazione: Ottobre 1969 – Dicembre 1970
  Costruzione: Gennaio 1971 – Marzo 1972
- **Luogo** : Ginza, Tokyo, Giappone
- **Descrizione** : Il Nakagin Capsule Tower (中銀カプセルタワー Nakagin Kapuseru Tawā) fu sin dall’inizio un edificio decisamente atipico, progettato dall’architetto giapponese Kishō Kurokawa a Tokyo, tra i quartieri di Ginza e Shinbashi.
  Il fabbricato è stato pensato con l’obiettivo di ripristinare le unità abitative nella parte centrale della città e fornire un appoggio a coloro che si spostano verso il centro dalla zona periferica, che stava diventando in quegli anni la vera zona residenziale della capitale giapponese.

Tutt’oggi è una delle poche realizzazioni esistenti che seguono le idee dell’architettura metabolista, un movimento architettonico emblematico della rinascita culturale del dopoguerra in Giappone.
Venne completato nel 1972 e realizzato in soli due anni. È stato il primo esempio al mondo di architettura a capsule costruita per un uso permanente e pratico e, anche per questo motivo, si guadagnò la copertina di Domus nel Marzo 1973.

Seguendo i principi dell’architettura metabolista, Kurokawa pensò l’edificio come un grande organismo, tecnologicamente molto evoluto per l’epoca. L’idea che ha guidato l’architetto nella progettazione era quella di creare un residence per lavoratori pendolari o residenti temporanei e realizzarlo tramite delle capsule prefabbricate off-site. Per fare ciò ha portato avanti degli studi su come utilizzare lo spazio a disposizione nel modo più efficiente possibile e realizzare degli spazi abitativi ristretti ma con gli elementi essenziali per la vita quotidiana di una persona.

La Nakagin Capsule Tower oggi, inserita nell'ambiente urbano in cui sorge, nel quartiere di Shiodome a Tokyo – dal sito web ArchEyes (https://archeyes.com/nakagin-capsule-tower-kisho-kurokawa/)

1 K. Kikutake in *Metabolism, Proposals for a New Urbanism*, Tokyo (1960) di K. Kurokawa e K. Kikutake

Due esempi di sistemazioni interne delle capsule.
I piccoli spazi sono massimizzati grazie alla creazione di mobili su misura dotati delle migliori tecnologie dell'epoca – dal sito web ArchEyes (https://archeyes.com/nakagin-capsule-tower-kisho-kurokawa/)

L'estetica e la terminologia della "capsula" sono mutuate dal mondo dell'industria aerospaziale[2], allora argomento alla ribalta grazie alle prime esplorazioni lunari.
Il piccolo spazio a disposizione per gli alloggi è stato quindi reso efficiente integrando letto, scrivania, vani portaoggetti, TV, macchina da scrivere, calcolatrice, radiosveglia e fornello a due fuochi in un sapiente gioco di incastri.

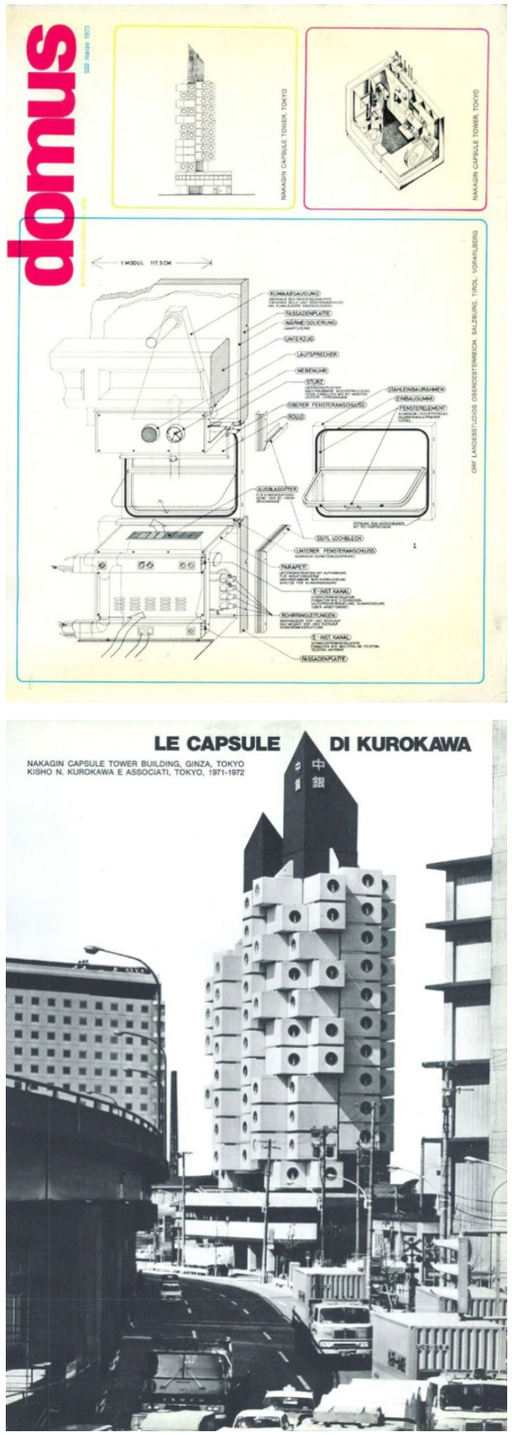
Il complesso è costituito da un primo basamento di maggiore larghezza, dal quale si stagliano i due nuclei affiancati che ospitano le abitazioni. La base, in cemento armato a vista e stilisticamente diversa dalla porzione residenziale, è un'ampia porzione di due piani, nella quale vennero localizzati degli uffici. Da quest'unico blocco si elevano le due torri asimmetriche, affiancate e interconnesse, costituite da cemento e telai strutturali in acciaio corten.
Lungo le torri, rispettivamente di undici e tredici piani di altezza, sorgono le 140 capsule autonome. Tutte completamente prefabbricate, le capsule in acciaio sono pensate come mini unità abitative di 10 m² circa. Sono state progettate come elementi appesi alle due torri centrali, che ospitano entrambe i servizi di distribuzione verticale, come scale ed ascensori, ma anche impianti idraulici ed elettrici.

- **Sistema distributivo** :
Dal terzo livello in poi, il Nakagin Capsule Tower ospita le 140 capsule distribuite su undici piani.
La cellula tipo misura 2,5 m per 4,0 m ed ha un'altezza di 2,5 m; è caratterizzata da un'unica finestra ad oblò di 1,3 metri di diametro collocata al centro del lato corto[3].

Sono state ideate come un piccolo spazio abitativo o un ufficio e possono essere collegate tra loro per creare aree più grandi.

Le capsule, con struttura in acciaio, sono state prefabbricate ed assemblate in stabilimento ad Osaka[4]; da qui, complete di elettrodomestici e mobili, dall'impianto audio al telefono, vennero spedite via camion in cantiere, dove furono installate.
Ognuna è "appesa" al nucleo centrale in cemento armato in modo indipendente, ovvero non poggia direttamente sulle cellule sottostanti; in questo modo risultava possibile intervenire senza influire sulle abitazioni attigue.
Secondo Kurokawa questo "capsule building" impersonava le idee del Movimento Metabolista, concentrando le distribuzioni ed i servizi nelle torri e le porzioni abitabili in cellule appese che potessero essere scambiate o sostituite facilmente secondo le mutazioni delle esigenze.
Era anche un prototipo di architettura sostenibile perché si occupava di scambiabilità e riciclabilità.

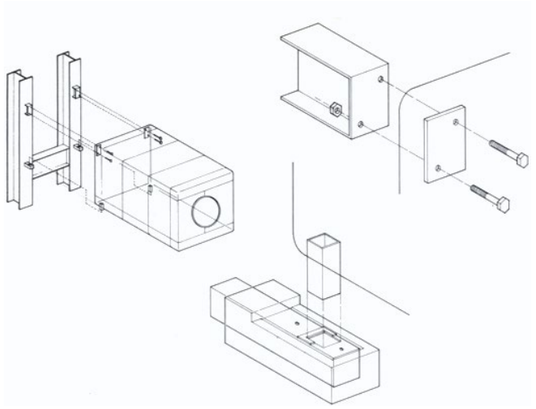
- **Sistema costruttivo :**
Le due torri in cemento armato e telai strutturali in acciaio corten costituiscono la struttura portante, progettata per durare 60 anni, alla quale si appende ognuna delle 140 capsule prefabbricate in acciaio.
Ogni modulo è collegato a secco ed in modo indipendente a uno dei due nuclei principali mediante l'utilizzo di quattro grandi bulloni ad alta resistenza, appositamente sviluppati per l'edificio[5], ed è progettato per essere facilmente



Immagini relative alla prima comparsa della Nakagin Capsule Tower sulla rivista Domus – in alto la copertina del n. 520 del Marzo 1973; sotto una foto dall'articolo.

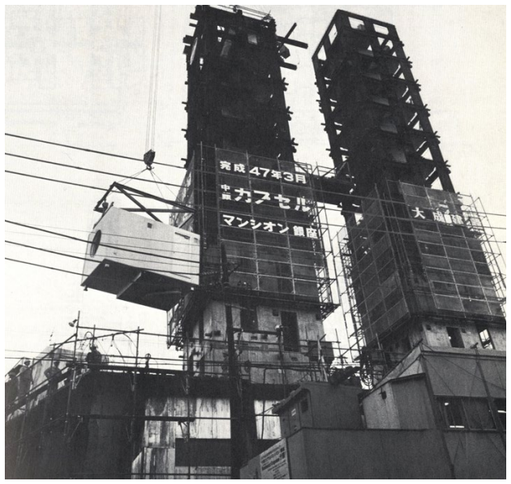
2 Ross, Michael Franklin. *Beyond Metabolism: The New Japanese Architecture*. New York: Architectural Record, 1978.
3 *Nakagin Capsule Tower in Tokyo / Kisho Kurokawa* in ArchEyes, August 3, 2021, https://archeyes.com/nakagin-capsule-tower-kisho-kurokawa/
4 *Quando Kisho Kurokawa debuttava su Domus con la Nakagin Capsule Tower,* in Domus, 10 aprile 2022
5 Kurokawa, Kisho. *Kisho Kurokawa: Metabolism in Architecture.* London: Studio Vista London, 1977.

sostituibile senza dover interessare anche le cellule adiacenti. Il posizionamento avveniva tramite gru meccaniche che le sollevavano per il fissaggio.



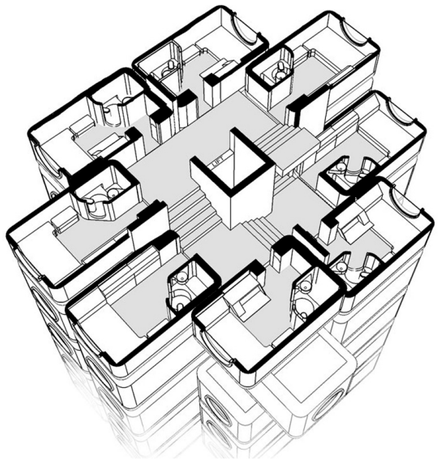
Particolare dei quattro grandi bulloni ad alta resistenza, che collegano le capsule alla struttura delle torri – da Kisho Kurokawa: Metabolism in Architecture

La struttura delle capsule è costituita da un telaio scatolare leggero in acciaio completamente saldato, rivestito con pannelli di acciaio zincato e rinforzato con nervature.



Sollevamento di uno dei moduli che compongono la Nakagin Capsule Tower – dal sito web ArchEyes (https://archeyes.com/nakagin-capsule-tower-kisho-kurokawa/)

Anche dall'esterno il loro aspetto è molto semplice; è stato ottenuto tramite un primo strato di vernice antiruggine, coperto da uno strato di vernice spray



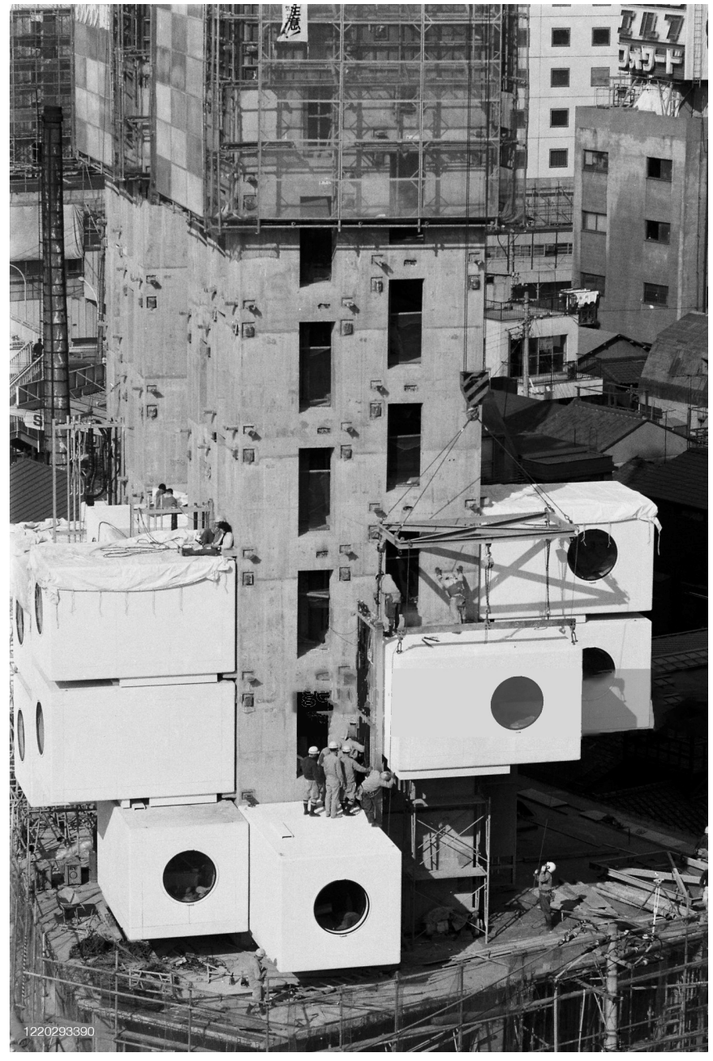
Spaccato assonometrico che evidenzia i diversi piani di imposta dei moduli, a seconda del loro orientamento rispetto al nucleo centrale – dal blog online http://architecturalmoleskine.blogspot.com/2011/10/kurokawa-nakagin-capsule-tower.html

lucida di colore chiaro per la finitura superficiale.
Il tempo di montaggio per ogni capsula era di tre ore.

- **Scelta dei materiali :**
Esterno della capsula: Acciaio con verniciatura a spruzzo come finitura superficiale
Interno della capsula: Capsula in acciaio con soffitto in tela e moquette sul pavimento
Torri: Struttura in cemento armato
Livelli inferiori: Cemento armato faccia a vista

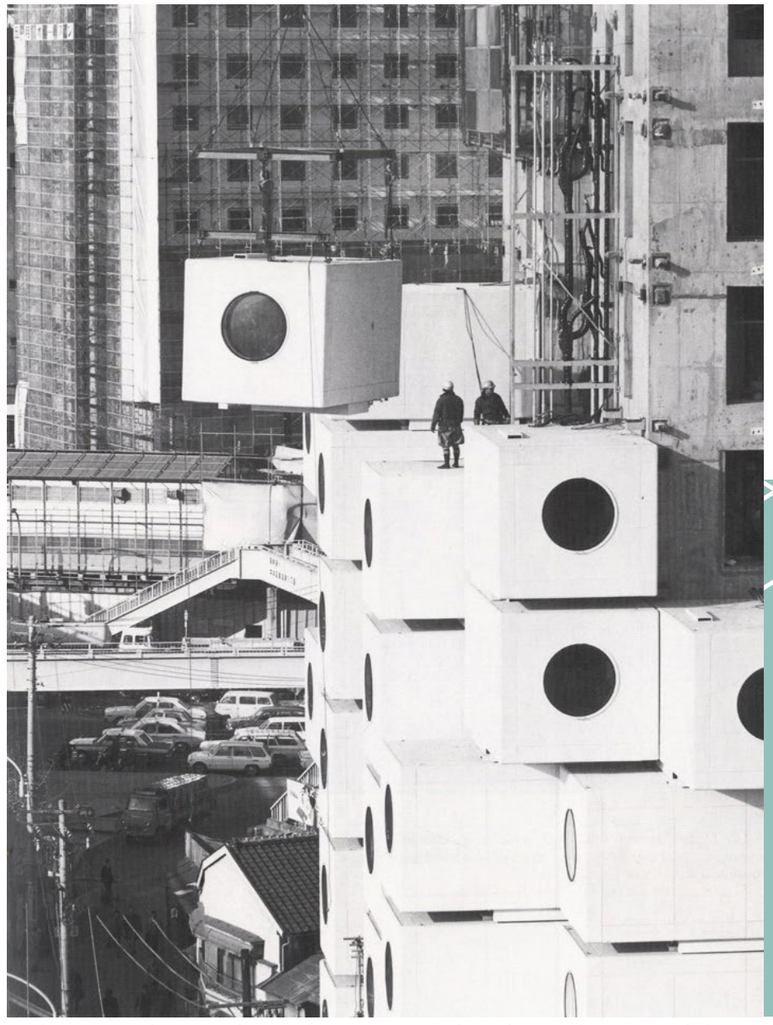
L'interno di ogni cellula ha un soffitto rivestito in tessuto e moquette sui pavimenti. La sistemazione delle cellule fu attentamente studiata utilizzando le migliori tecnologie dell'epoca per massimizzare i piccoli spazi disponibili: i mobili erano costruiti su misura e la micro-abitazione ospitava apparecchiature come telefono, televisore, registratore a nastro, radio, prese di corrente, impianto di condizionamento, una scrivania ribaltabile e lampade orientabili. Il bagno era in resina preformata e includeva lavandino, water e una piccola vasca da bagno. Nel piccolo appartamento non era invece prevista la cucina[6].

- **Considerazioni attuali sul progetto :**
L'investimento iniziale per la realizzazione del nucleo strutturale e di servizio fu così oneroso che il costo del progetto fu di molto oltre rispetto a un edificio delle sue dimensioni realizzato tradizionalmente.
In origine l'architetto aveva previsto una durata limitata per le cellule prefabbricate, con l'idea di una sostituzione e aggiornamento progressivo nel corso del tempo.
Le strutture portanti sono state progettate per durare circa 60 anni; per le capsule era invece previsto che venissero ciclicamente sostituite per aggiornarle ed adattarle alle nuove esigenze abitative, almeno ogni 25-30 anni. Kurokawa pensava che ogni qualvolta ci fosse bisogno di aggiornare gli interni, i moduli potessero essere "sfilati" dalla loro posizione con la stessa facilità con la quale erano stati messi in opera, riducendo in questo modo i costi durante il ciclo di vita dell'edificio. Ben presto ci si è però resi conto dell'impossibilità di svolgere questa operazione,



Costruzione della Nakagin Capsule Tower - Novembre 1971, Tokyo, Giappone – da The Asahi Shimbun via Getty Images (https://www.gettyimages.it/detail/fotografie-di-cronaca/nakagin-capsule-tower-construction-continues/ 1220293390)

6 Dal sito web *https://www.ohayo.it/cultura/architettura/nakagin-capsule-tower/*



Nakagin Capsule Tower durante la costruzione – da Kisho Kurokawa: Metabolism and Symbiosis

visti gli alti costi, la difficoltà di ristrutturare i singoli moduli indipendentemente l'uno dall'altro e i molti problemi tecnici che la struttura ha presentato nel tempo, come rotture di tubi, perdite e interruzioni dell'approvvigionamento idrico.
Nessuno dei moduli è quindi mai stato sostituito, contribuendo a rendere l'edificio da subito obsoleto. I problemi di manutenzione hanno afflitto il sito per oltre un decennio, e ad oggi si è molto discusso riguardo la possibile demolizione dell'edificio simbolo del movimento architettonico Metabolista, considerata da molti come un'utopia costruita.

- **Sviluppi più recenti :**

Dall'esterno la torre sembra praticamente la stessa, sebbene siano passati più di quattro decenni dalla sua costruzione; l'edificio è ancora in uso oggi, ma l'interno rivela quanto sia caduto in rovina col passare degli anni. La maggior parte delle unità è oramai disabitata e viene utilizzata come deposito.

Per molti anni è stata presa in considerazione la demolizione di questo edificio per poter sfruttare il terreno su cui sorge, in uno dei quartieri più avanzati ed importanti di Tokyo, per sviluppi più redditizi.
Molti tra tecnici e abitanti si sono opposti al piano, siccome hanno compreso quanto questo edificio non sia solo una residenza, ma un simbolo del movimento Metabolista e una parte importante della storia architettonica del Giappone. Nell'interesse di preservare il suo design, Kurokawa aveva proposto di sfruttare il design flessibile "scollegando" le scatole esistenti e sostituendole

Prime fasi della demolizione, con il ponteggio che ha raggiunto la sommità della prima torre. Aprile 2022, Tokyo. – dal canale youtube della rivista di architettura e design Dezeen (https://www.youtube.com/watch?v=T886pUd3vQU)

con unità aggiornate. Il progetto è stato sostenuto dalle principali associazioni di architettura del Giappone, tra cui il Japan Institute of Architects.

Prime fasi della demolizione, 18 Aprile 2022, Tokyo. Si nota il ponteggio in fase di costruzione attorno alla prima torre – immagine dalla diretta youtube del 18 Aprile 2022 di John Daub, creator di ONLY in JAPAN (https://www.youtube.com/watch?v=1LD2p794nPY)

La torre Nakagin in tempi recenti, prima della demolizione. Rispetto alle immagini d'epoca di Domus, si può notare come ad oggi sia completamente fagocitata dagli edifici che compongono il quartiere di Shiodome – dalla rivista online Dezeen (https://www.dezeen.com/2022/04/12/nakagin-capsule-tower-demolition-begins-tokyo/)

Nel 2006, quando si considerava la demolizione, si stimava che la ristrutturazione avrebbe richiesto circa 6,2 milioni di yen per capsula[7].
L'ipotesi più recente è di abbattere l'edificio per poter costruire un immobile moderno da cui ottenere maggiori introiti, siccome il terreno su cui sorge e la sua posizione sono molto ambìte, a pochi passi da Ginza e nel nuovo quartiere di Shiodome, sede di moderni grattacieli.
L'architetto Kurokawa si era anche offerto di rilevare l'intera proprietà per poterla preservare, ma la sua morte nel 2007 ha complicato il già incerto futuro del simbolo dell'architettura metabolista.

- **Ultimi avvenimenti :**
  Le modifiche e le sostituzioni delle capsule non sono però mai avvenute e la definitiva demolizione della torre è programmata a 50 anni esatti dalla sua costruzione, il 12 aprile 2022[8].
  Le condizioni sempre più degradate dei micro-appartamenti, insieme alla presenza di amianto ed infiltrazioni d'acqua, hanno fatto sì che la maggior parte dei residenti abbia votato la demolizione della torre.
  Nel 2014 si è costituita l'associazione dei proprietari chiamata "Nakagin Capsule Tower Preservation and Restoration Project", che per anni ne ha promosso la conservazione. Ora è al lavoro con l'intento di preservare alcune capsule all'interno di musei. Come previsto, i lavori di demolizione sono iniziati ad Aprile 2022; i commenti dei residenti sono perlopiù di rammarico nel veder scomparire un edificio ormai simbolo per la città di Tokyo.
  La rimozione delle capsule ha avuto inizio dal basso, fatto che ha incuriosito i non-addetti ai lavori; questo è reso possibile dal fatto che i carichi sono totalmente appesi e non distribuiti a cascata dall'alto verso il basso, come avviene negli edifici tradizionali. La demolizione dovrebbe durare fino alla fine del 2022.

7 Corrispondenti a circa 45.000,00 Euro. *Nakagin Capsule Tower in Tokyo / Kisho Kurokawa* in ArchEyes, August 3, 2021, https://archeyes.com/nakagin-capsule-tower-kisho-kurokawa/
8 *Quando Kisho Kurokawa debuttava su Domus con la Nakagin Capsule Tower*, in Domus, 10 aprile 2022.

Lo smontaggio di alcune capsule avviene con cura, in modo da poter ricostruire la cellula in esposizioni museali e poter rivivere l'esperienza di entrare in uno dei micro-alloggi anche dopo lo smantellamento della torre – dal canale youtube della rivista di architettura e design Dezeen (https://www.youtube.com/watch?v=T886pUd3vQU)

Fasi della demolizione della Nakagin Capsule Tower. L'edificio viene coperto per permettere agli addetti di rimuovere l'amianto, prima di procedere allo sgancio delle capsule e al loro smantellamento – dal canale youtube della rivista di architettura e design Dezeen (https://www.youtube.com/watch?v=T886pUd3vQU)

1.4

Insegnamenti derivanti da tentativi, prototipi ed esperimenti di architetture modulari

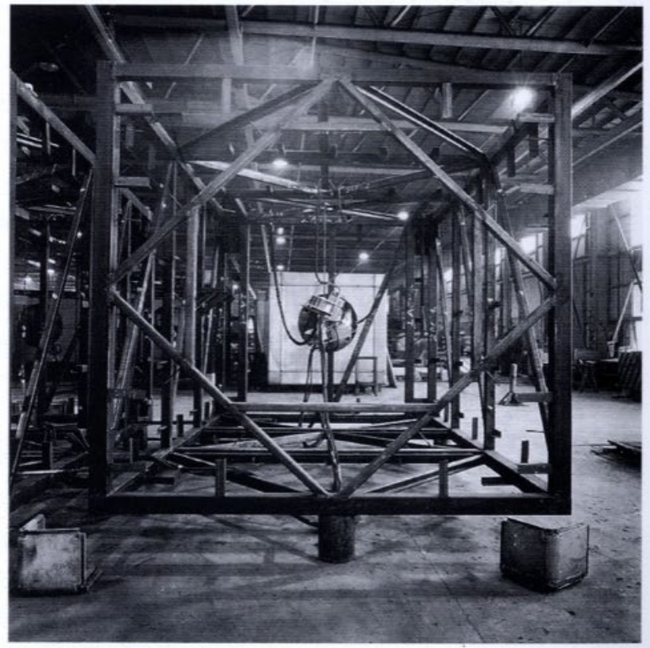
Le analisi degli apprezzamenti, dei mancati sviluppi o degli abbandoni delle proposte introdotte sul mercato rivestono particolare importanza, unitamente alla sperimentazione e alla ricerca di miglioramenti e di possibili soluzioni, per la riformulazione di nuove ipotesi. Gli insegnamenti che derivano dai successi e dagli insuccessi devono essere filtrati alla luce dell'epoca in cui sono state presentate le relative innovazioni tecnologiche, per tenere in debito conto gli aspetti culturali, tecnologici ed economici.

Le soluzioni tecnologiche offerte dalla prefabbricazione per l'architettura hanno avuto un percorso tortuoso, fatto sia di successi che di delusioni.

Una delle lezioni che possiamo imparare da sperimentazioni che non hanno avuto successo e sono quindi scomparse dal mercato è che sistemi di componenti specializzate a marchio registrato sono spesso troppo costose da sviluppare. La ragione della loro scomparsa è quasi sempre stata dovuta a fallimenti economici, anche quando le idee alla base e la qualità del progetto erano meritevoli.
Esempi celebri e storicizzati di questo tipo di sistemi registrati che non hanno avuto sviluppi successivi sono: il Dymaxion proposto da Buckminster Fuller nel 1928, utopica costruzione circolare rivestita da una pelle esterna in alluminio, con cellule brevettate per bagno e cucina. La "casa assemblata" proposta da Wright nel 1932, costituita da una porzione centrale in muratura tradizionale completata da porzioni prefabbricate con pannelli in legno.

Il sistema proposto da Gropius e Wachsman di "casa preconfezionata", che prevedeva un kit con connettori a quattro vie, telaio e tamponamenti interno ed esterno. Habitat 67, un prototipo di edificio residenziale composto da unità prefabbricate e messe in opera secondo una configurazione innovativa, progettato da Safdie.
La capsula simbolo del movimento metabolista, proposta da Kurokawa all'inizio degli anni '70, e utilizzata come modulo abitativo nella torre Nakagin.

Le aziende che lavorarono a queste realizzazioni innovative e le figure professionali che le hanno progettate avevano le giuste competenze ed ognuno di questi prototipi era pronto per il mercato; ciò che non ha funzionato è stata la loro inadattabilità al mercato e alle evoluzioni che si sono inevitabilmente susseguite nel tempo.
Questi sistemi potevano difficilmente subire le necessarie integrazioni causa la difficile manutenzione; per questo motivo andavano paradossalmente incontro ad un'obsolescenza maggiore rispetto ad edifici tradizionali, che potevano subire lavori puntuali di adeguamento alle nuove tecnologie.
Specie per quanto riguarda le cellule contenti servizi essenziali, si pensi ai bagni e alle cucine, le tecnologie mutavano e si aggiornavano così di frequente da rendere obsoleta la quasi totalità degli ambienti domestici nel giro di un decennio circa.
Alcune di queste proposte hanno cercato di adattarsi ai cambiamenti, prevedendo già in partenza la sostituzione di parti, ma, come hanno dimostrato le esperienze di Safdie e Kurokawa, i moduli non



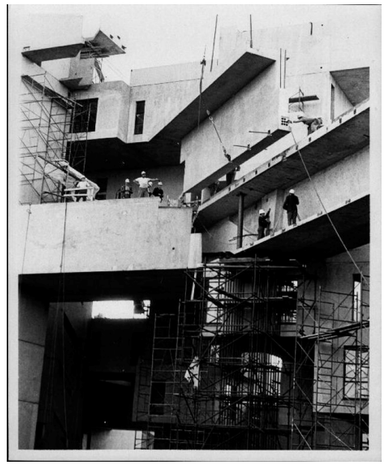
Costruzione del telaio in acciaio e della parete su cui affaccia il grande oblò di uno dei moduli per la Nakagin Capsule Tower – da MoreAEdesign. https://moreaedesign.wordpress.com/2010/09/14/more-about-nakagin-capsule-tower/.

Identificazione delle motivazioni di apprezzamenti ed insuccessi

Le cause dei fallimenti di tentativi famosi di prefabbricazione modulare in alcuni casi sono da ricercarsi nell'industrializzazione spinta al massimo o nell'esclusiva attenzione per l'estetica ed il risultato finale, escludendo ricerche approfondite di produzione industriale. Le motivazione degli apprezzamenti sono invece legate, in genere, alla possibilità di personalizzazioni od anche solo di aggiornamenti dettati da mutazioni di mode ed esigenze.

sono praticamente mai stati cambiati, a causa degli elevati costi di smantellamento del modulo per un suo adeguamento tecnologico o sostituzione.

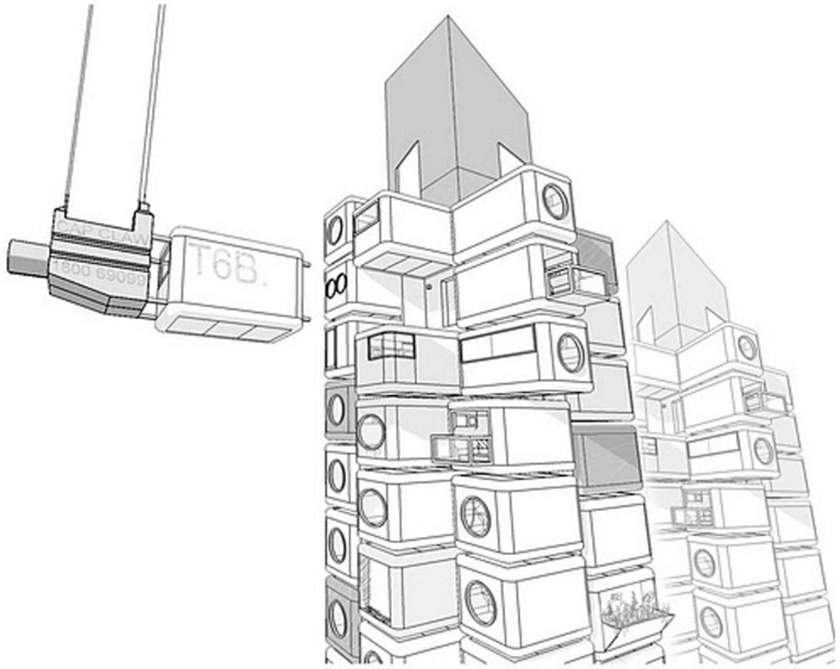
Una nuova tecnologia costruttiva può rivelarsi un apporto molto importante in architettura e avere ripercussioni sulle costruzioni future. C'è però bisogno di un team di esperti che abbia conoscenze pratiche sia dei materiali che degli strumenti coinvolti nella produzione.



Fase costruttiva di Habitat 67, Montreal – dal sito web "Vintage Everyday" (https://www.vintag.es/2019/05/habitat-67-construction.html)

Habitat '67 in una fotografia attuale – da Abitare (https://www.abitare.it/it/eventi/2017/08/02/habitat-67-moshe-safdie-mostra/)

Nakagin capsule tower, interni di un modulo abitativo – da https://divisare.com/projects/17032-kisho-kurokawa-architect-and-associates-fala-nakagin-capsule-tower-1972



Schema esplicativo del funzionamento strutturale dei moduli della torre Nakagin – dal blog online http://architecturalmoleskine.blogspot.com/2011/10/kurokawa-nakagin-capsule-tower.html

1.5

Prefabbricazione modulare oggi

1.5.1
Tecniche e materiali

Il mercato contemporaneo dell'off-site è caratterizzato dalle possibilità offerte dall'utilizzo combinato di strumenti digitali e dalla disponibilità di nuovi materiali. Questi fattori permettono, tra l'altro, un deciso passo in avanti verso la personalizzazione dell'edilizia prefabbricata, intesa sia come soddisfacimento delle ambizioni della clientela, sia come elasticità d'impiego.

La digitalizzazione ha ormai coinvolto l'intera catena produttiva correlando le varie fasi ed incidendo su ciascuna di esse.
L'utilizzo correlato di software di programmazione visiva algoritmica (Dynamo) e BIM (Revit, ArchiCad) permette di indagare nuove strategie nella progettazione mediante l'esplicitazione di variabili e parametri e la definizione delle relazioni tra gli elementi.
La trasmissione alla rete software (di gestione del processo costruttivo) di dati relativi alle condizioni fisico-tecniche e di posizione dei singoli elementi impiegati, rilevati mediante sensori IoT (Internet of Things - neologismo nato dall'esigenza di dare un nome agli oggetti reali connessi ad internet), consente il monitoraggio e l'attuazione in tempo reale di provvedimenti risolutivi delle criticità.
Ad esempio è utilissimo tenere sotto controllo le condizioni termo-igrometriche di un elemento in legno che si espande per le variazioni di umidità ma non di temperatura, esattamente al contrario di quanto avviene per l'acciaio. L'applicazione, sull'elemento prefabbricato, di un sensore ambientale e di localizzazione, collegato alla rete informatica in modalità IoT, consente di raccogliere i dati che verranno trasformati in informazioni per poter intervenire nella fase di trasporto ed evitare problemi in quella di montaggio in cantiere; risulteranno inoltre molto utili per la manutenzione predittiva del fabbricato ultimato.
Sono state anche sviluppate nuove tecniche di progettazione basate sull'utilizzo di BIM e DfMA. Il DfMA - Design for Manufacture and Assembly ovvero la creazione di progetti dettagliati e verificati con simulazioni, tali da poter controllare tutte le fasi: dalla produzione al trasporto fino all'assemblaggio in cantiere.

Alle tecniche sviluppate intorno ai nuovi materiali si affiancano quelle che implementano l'impiego di acciaio, legno e calcestruzzo per la produzione di moduli prefabbricati portanti. Si possono inoltre annoverare altri materiali che possiamo definire compositi, utilizzati per la stampa 3D in sito di moduli o interi edifici. Le dimensioni dei moduli, realizzati industrialmente e poi trasferiti sul luogo di utilizzo, variano non solo in base al progetto iniziale ma anche e soprattutto secondo le regole per gli speciali mezzi di trasporto che si occupano dello spostamento dei moduli nel Paese nel quale vedrà la luce l'edificio.

1.5.2
Moduli in X-Lam

Il legno è un materiale tradizionale e antichissimo, che allo stesso tempo però ha avuto dei cambiamenti incredibili grazie all'ingegneria. A partire dagli elementi lineari, quali pilastri o travi in legno massiccio, con le varie tecnologie si sono iniziate a produrre nuove tipologie di materiali ingegnerizzati derivanti dal legno naturale. In primis l'X-Lam o CLT (Cross Laminated Timber – pannelli in legno massiccio a strati incrociati), da molti considerato il materiale del futuro. È costituito da almeno 3 strati sovrapposti di lamelle incollate tra loro mediante una colla a base di formaldeide; gli stati sono ruotati di 90° tra loro, in modo da avere fibre che resistono nelle due direzioni e una rigidezza maggiore del pannello.
L'X-Lam è un materiale che rispetto al suo peso ridotto ha un'alta resistenza ed è facile da lavorare.

Dettagli delle pareti in X-Lam (a fianco) dell'edificio uffici "durst" di Bressanone (sotto) – da seminario dell'Ing. Franco Piva di Ergodomus

Moduli 3D: tecniche attuali

In considerazione del fatto che la prefabbricazione modulare risulta quella maggiormente votata all'industrializzazione, si elencano le tipologie attuali di prefabbricazione a moduli.
Queste non derivano esclusivamente dai materiali tradizionalmente utilizzati ma si sviluppano a partire dalle moderne tecnologie e strumenti digitali che il mondo odierno ha a disposizione.

La disponibilità di materiali come questo ha dato origine ad un nuovo sistema costruttivo con struttura a pannelli portanti anziché il telaio in legno, semplificando la produzione sia di moduli volumetrici che di moduli bidimensionali.

Il sistema in X-Lam prevede sia le pareti portanti che le parti orizzontali dell'edificio realizzate in questa maniera, siccome il pannello funziona sia a lastra che a piastra. Nel Nord Europa è molto usato anche l'LVL, costituito da strati molto più sottili e con una quantità maggiore di collante, che gli conferisce una maggiore resistenza; può essere usato per tetti, pareti, solai. I vari sistemi costruttivi possono essere ibridati tra loro – possiamo quindi avere una costruzione con ossatura portante con tamponamenti in x-lam o a telaio sia per le pareti perimetrali che per i solai orizzontali.

La sinergia derivante dall'utilizzo dei pannelli in X-Lam con il supporto delle tecniche DfMA ha portato alla creazione di un settore dell'off-site dedicato. I maggiori vantaggi nella produzione di moduli con struttura in X-Lam derivano dalle ampie possibilità di industrializzazione. In questo settore, con il processo DfMA si studia approfonditamente ogni singolo dettaglio ed il relativo flusso di lavoro per portare il progetto esecutivo ad un livello di definizione tale da poter creare i dati per pilotare robot e macchine CNC a 3/5/7 assi.

Moduli con struttura in legno – da Staib, Dorrhofer, Rosenthal "Components and Systems. Modular Construction. Design, Structure, New Technologies"

1.5.3
Moduli in legno

Un'alternativa ai sistemi prefabbricati modulari con struttura in acciaio o a pannelli portanti sono quelli con telaio in legno. Anch'essi trovano utilizzo sia per le costruzioni di tipo permanente che quelle temporanee. La differenza principale con gli altri materiali è data dal fatto che il legno è un materiale naturale e quindi sostenibile: è scientificamente provato che 1 m^3 di legno riesca a stoccare una tonnellata di anidride carbonica. Di conseguenza, se uno degli obiettivi è la riduzione delle emissioni di CO_2 nell'edilizia, costruire in legno può essere una soluzione vincente, che può contribuire attivamente alla tutela del clima.

Grazie al loro peso ridotto, questi moduli possono essere trasportati in luoghi mediamente più distanti rispetto alle altre tipologie più pesanti. Anche in questo caso le dimensioni variano in base al viaggio che devono effettuare dall'azienda che li produce al cantiere e quelle standard sono simili ai moduli prefabbricati in acciaio. In cantiere i moduli sono issati nella loro posizione definitiva grazie ad un sistema di sollevamento e sono fissati tra loro attraverso piastre di metallo.
Generalmente i muri dei sistemi modulari lignei sono costituiti da telai verticali in legno, con l'interposizione di materiale isolante nello spazio tra un montante e l'altro per assicurare l'isolamento termico ed acustico. I muri che costituiscono semplici partizioni interne adempiono i requisiti di isolamento acustico semplicemente con la densità del materiale. Per gli orizzontamenti vengono invece utilizzati pannelli di diverso tipo, anche in grado di creare tetti spioventi o a timpano, in base alle necessità.
In alcuni casi la struttura viene rifinita sui lati interni con lastre di cartongesso o con pannelli di legno, caratteristica che contribuisce a conferire rigidezza al sistema, oppure può essere rinforzata con elementi angolari rigidi.

Fasi dell'installazione in cantiere di un modulo realizzato in X-Lam – da seminario tenuto dall'Arch. De Agostini di proHolz

Alcuni stabilimenti costruiscono sistemi a telaio, con delle vere e proprie catene di montaggio, in cui i componenti scorrono da un reparto all'altro e al pannello ligneo vengono aggiunti isolanti, forometrie e in certi casi anche i serramenti. Altre ditte della lavorazione del legno si occupano invece proprio di moduli prefabbricati ad uno stadio molto avanzato. In questo caso i moduli sono rifiniti e completi anche degli impianti necessari al progetto e vengono montati in cantiere accatastandoli in maniera analoga a come si farebbe con dei mattoncini Lego. Questo tipo di stabilimento è il più avanzato e funziona come una catena di montaggio, in cui lavorano macchine a controllo numerico. Le aziende produttrici di cellule prefabbricate sono in grado di fornire ambienti

prefabbricati già completi di tutti gli impianti ed accessori e pronti da installare in cantiere.

L'altezza raggiungibile con questo tipo di moduli è minore di quelli in acciaio, ma con la sperimentazione attuata negli ultimi anni si è passati dai pochi piani degli inizi fino a poter raggiungere altezze comparabili alle costruzioni con moduli prefabbricati con altri materiali. Per edifici molto alti è possibile inserire i moduli in legno non portanti in strutture a telaio di acciaio o calcestruzzo. Vi è anche la possibilità di creare sistemi ibridi, con una struttura travi-pilastri in carpenteria metallica e tamponamenti in legno x-lam.

1.5.4
Moduli in acciaio

I sistemi modulari realizzati in acciaio trovano utilizzo sia per costruzioni temporanee, quali installazioni fieristiche o padiglioni provvisori, sia per costruzioni permanenti.
Questa versatilità è dovuta all'assemblaggio a secco dei componenti che permette un agevole smontaggio per ampliamenti o adeguamenti, consentendo il riutilizzo delle cellule. Le dimensioni abituali del modulo devono tener conto della destinazione d'uso, le tipologie di trasporto a disposizione e del sistema costruttivo dell'edificio; le misure standard sono attorno ai 3 metri per 8 di lunghezza, mentre l'altezza varia tra i 3,2 e i 3,7 metri.

Esempio di un modulo con struttura a telaio spaziale in acciaio – da Staib, Dorrhofer, Rosenthal "Components and Systems. Modular Construction. Design, Structure, New Technologies"

Fase di carico di un modulo a struttura in legno sul pianale di un camion speciale per il trasporto al cantiere. Il blocco costituisce un intera unità abitativa per lo studentato "Woodie" di Amburgo – da seminario tenuto dall'Arch. De Agostini di proHolz

La struttura principale è costituita da telai in profilati a sezioni cave in acciaio, saldati o bullonati, che uniti formano la cellula tridimensionale. Dal punto di vista strutturale l'insieme si comporta come una comune struttura a telaio tridimensionale; quando i singoli elementi sono saldamente uniti tra loro, si realizza una struttura reticolare spaziale in grado di provvedere autonomamente alla statica dell'intero edificio. Spesso il telaio di acciaio viene completato con pannelli di isolante che soddisfa le leggi in vigore sulla resistenza al fuoco e successivamente rivestito.

Il rivestimento esterno che si incontra più sovente è quello in pannelli di acciaio zincato o pannelli sandwich costituiti da fogli di acciaio e isolamento in schiuma rigida poliuretanica. Le ultime sperimentazioni hanno consentito l'utilizzo di altri rivestimenti esterni, di ogni tipo e materiale.
All'interno i rivestimenti più comuni sono in pannelli a base legno rivestiti o cartongesso; per i pavimenti si può sia posare un massetto che un sottofondo a secco direttamente a contatto con l'isolante termico.

Per la posa in cantiere di questi moduli ci si serve di apposita attrezzatura per il sollevamento di carichi pesanti; una volta posizionati nell'assetto finale, i moduli sono connessi l'uno all'altro tramite saldature, bullonature, perni o morsetti per assicurarne la stabilità.

1.5.5
Moduli in calcestruzzo

I moduli volumetrici prefabbricati di questa tipologia possono essere realizzati sia in calcestruzzo tradizionale che alleggerito. Tutte le componenti – muri, piastre, solai – adempiono la funzione di elementi strutturali e come tali vanno adeguatamente dimensionati. La produzione di questi moduli viene effettuata in aziende specializzate, dove le cellule in calcestruzzo vengono realizzati in un unico getto, senza giunture con altri elementi, in casseforme verticali di acciaio. Queste ultime assicurano che entrambe le superfici interna ed esterna del modulo siano levigate ed uniformi e che possano essere lasciate senza rivestimenti o finiture.
Lo spessore minimo per le pareti è di 5 centimetri, ma può essere incrementato per poter rispettare le normative antincendio; ad ogni modo l'accostamento di due moduli di questo tipo crea automaticamente dei muri a doppio strato, utili sia per la protezione incendi che l'isolamento termoacustico. Anche i pavimenti presentano le stesse qualità e permettono di rendere superfluo un trattamento superficiale.
In cantiere vengono sollevati direttamente dal mezzo che li ha trasportati e posizionati nell'ubicazione finale grazie a sistemi di sollevamento appositi, dal momento che il loro peso varia in media dalle 20 alle 70 tonnellate in base alle dimensioni.
La resistenza strutturale di questo tipo di moduli fa sì che si possano realizzare edifici multipiano anche molto alti.

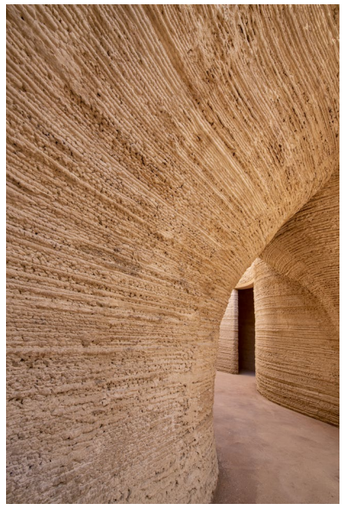
Realizzazione di un modulo in calcestruzzo – da sito web https://pceltd.co.uk/prefastcore/

1.5.6
Moduli stampati in sito

Il mercato odierno dei moduli prefabbricati, caratterizzato da prodotti industriali realizzati su vasta scala, annovera anche una produzione che, date le caratteristiche, possiamo definire sperimentale, rappresentata da moduli stampati. Principalmente il sistema è basato sull'estrusione di materiali in pasta a base di cemento, polimeri o compositi (cemento rinforzato con fibre, impasti di terra e paglia).
Tramite un sistema di spostamento dell'estrusore, installato nell'area di costruzione del modulo, viene realizzata la stampa 3D. Spostamenti e controllo del flusso vengono preventivamente programmati al fine di depositare con continuità il materiale in successivi strati sottili.
La possibilità di poter installare la stampante 3D direttamente nel sito da edificare suggerisce l'utilizzo di materiali del luogo. Una delle sperimentazioni in corso

Porzione di parete in fase di stampa – da sito web Archdaily (https://www.archdaily.com/970937/can-3d-printing-reshape-residential-architecture-as-we-know-it)

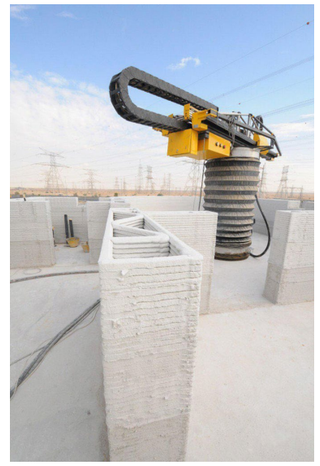
realizza abitazioni ecosostenibili stampate interamente in terra cruda locale relazionando la forma dell'edificio con la latitudine ed il clima.
La composizione della miscela di terra risponde alle condizioni climatiche locali e il riempimento dell'involucro è parametricamente ottimizzato per bilanciare la massa termica, l'isolamento e la ventilazione a seconda delle necessità imposte dal clima.
La tecnologia di stampa 3D collaborativa, denominata Crane WASP, impiega simultaneamente due bracci stampanti sincronizzati grazie ad un software in grado di ottimizzare i movimenti evitando collisioni e garantendo l'operatività in simultanea. Ogni unità stampante ha una superficie di stampa pari a 50 metri quadrati. Il prototipo realizzato a Massa Lombarda (Ravenna) è composto da due moduli abitativi che formano un'abitazione di 60 metri quadrati. Per la realizzazione sono state impiegate 200 ore di stampa, utilizzando 60 metri cubi di materiali naturali stesi in 350 strati di 12 mm per una lunghezza di estrusione 150 Km.



Prototipo di Tecla, abitazione ecosostenibile in terra cruda stampata in 3D – da presentazione alla stampa a cura di Wasp (World's Advanced Saving Project) e MC A - Mario Cucinella Architects

Prototipo di Tecla, abitazione ecosostenibile in terra cruda stampata in 3D da WASP – da presentazione alla stampa a cura di Wasp (World's Advanced Saving Project) e MC A - Mario Cucinella Architects

Stampa 3D realizzata dall'impresa americana Apis Cor direttamente in cantiere a Dubai, dettaglio della stampante utilizzata – da Arketipo numero 156 maggio 2022.



Applicazione della stampa 3D a Dubai per la realizzazione di un edificio in calcestruzzo armato destinato ad uffici per Dubai Municipality – da Arketipo numero 156 maggio 2022.

Sviluppo delle prefabbricazioni modulari in ambito internazionale

02

2.1

Implicazioni derivanti dai contesti geografici

Influenze territoriali e sociali

Ciascun contesto geografico determina lo sviluppo di tipologie costruttive e relativi materiali impiegati, di tecniche e tecnologie produttive e di tutta una serie di fattori che caratterizzano l'industrializzazione edilizia.
Vengono analizzati, raggruppati per omogeneità di caratteristiche, gli ambiti maggiormente significativi con focus specifico sulla prefabbricazione modulare.

La presenza di un contesto evoluto è la condizione necessaria per accogliere le evoluzioni dettate da ambiti culturali e sociali avanzati.
L'architetto James Timberlake, nella prefazione al libro *Prefab Architecture. A guide to modular design and construction* di R. Smith indica alcune delle ragioni che possono influire sulla propensione ad industrializzare l'edilizia adottando tecniche di prefabbricazione[1].

Motivazioni in grado di indurre cambiamenti:

1. La prima motivazione è la spinta esercitata dalle innovazioni introdotte dalle industrie di altri settori come quello automobilistico, navale, aerospaziale che a partire dal 1995 hanno completamente rivisto i loro metodi di produzione rendendoli più snelli, più efficienti in termini di tempo e materiali e più attenti alle esigenze dei lavoratori. La loro gamma di produzione consente la personalizzazione estesa tanto ai prodotti di serie come le automobili come a quelli realizzati in serie limitate come le navi. Mediamente le dimensioni e complessità di questi prodotti supera quelle degli edifici prefabbricati. Quindi l'industria delle costruzioni deve semplicemente allinearsi fornendo prodotti che soddisfino i requisiti di progetto nel rispetto del budget e dei tempi, senza difetti.

2. La differenza fondamentale è che le industrie aeree, navali e automobilistiche si allineano ed adeguano integrandosi sia con il prodotto da realizzare che con le fonti di approvvigionamento. Le catene di approvvigionamento, negli ultimi due decenni, sono state oggetto di diverse ridefinizioni alla ricerca della maggior efficienza coinvolgendo costantemente i cicli di progettazione e produzione. Anche il lato della progettazione delle industrie di questo settore è integrato e collabora con i team di produzione, consentendo una valutazione e un miglioramento continui.
Al contrario, la catena di approvvigionamento per le industrie manifatturiere delle costruzioni è estesa e frammentata. Gli architetti spesso si affidano a documentazioni non coordinate e scarsamente integrate per ricercare, comprendere e specificare i prodotti da utilizzare nel progetto, con un conseguente grande dispendio di forza lavoro relegata al raggiungimento di un insieme coerente.
Questo modo di operare risulta caotico anche nelle condizioni migliori e più organizzate. A questo caos occorre aggiungere gli intoppi causati da operazioni impreviste ed a condizioni meteorologiche avverse dovute all'ambiente del cantiere, che non offre il comfort di un normale posto di lavoro. La conseguenza è un aumento dello stress per completare l'opera con la probabilità di diminuire la qualità che la maggior parte degli architetti e dei clienti richiede.
Eppure i progettisti sono ormai approdati alla modellazione tridimensionale con la possibilità di gestire le informazioni relative a una costruzione, di verificare e correggere i dettagli costruttivi prima di arrivare alla fase realizzativa. Il miglioramento degli strumenti di comunicazione consente di condividere in tempo reale documenti e progetti. Ora è possibile inviare un modello virtuale completo direttamente alla linea di produzione saltando le fasi di interpretazione, controllo, ridisegno con i conseguenti possibili errori ed in definitiva migliorare la qualità del prodotto finale.

3. L'etica ambientale dei progettisti e dell'industria delle costruzioni sta cambiando. Si stima che la costruzione in loco sprechi fino al 40 % dei prodotti portati in cantiere. Il quantitativo di ritagli e materiali approvvigionati in abbondanza e avviati alla discarica è prefigurabile come un piccolo edificio di componenti e materie prime sprecate ogni volta che si realizza una costruzione. Non si possono più tollerare questi sprechi sia dal punto di vista ambientale che di quello economico. Inoltre, nonostante i miglioramenti nella sicurezza del lavoro, il cantiere rimane un luogo pericoloso. Un ambiente di lavoro con misure di sicurezza reali, che consenta di operare al chiuso per la stragrande maggioranza del progetto, eliminando il fattore meteorologico, è anche una misura sostenibile a lungo termine che garantisce una maggiore produttività.

Alle motivazioni indicate da Timberlake si possono aggiungere altre motivazioni che suggeriscono il ricorso all'utilizzo della prefabbricazione. Una di queste è l'aumento della domanda di costruzioni e la carenza di manodopera qualificata. L'industrializzazione dei processi costruttivi appare quindi come proposta basilare nell'evoluzione del sistema edile.

1 Ryan Smith, *Prefab Architecture. A guide to modular design and construction.* Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2010

2.2

Ambito europeo

Valutazioni e confronti sulla prefabbricazione europea

Attraverso la ricerca e l'elaborazione dei dati economici del settore si evidenziano le caratteristiche europee.

Prefabbricazione e domanda di nuove abitazioni in Europa

Una grande quota del mercato della prefabbricazione è occupata dal settore residenziale.
La domanda di nuove abitazioni nei paesi europei ha subito nell'ultimo decennio una lieve riduzione in termini complessivi riportandosi al livello del 2009 dopo la crisi (fonte Eurostat). Tuttavia in Italia il crollo delle richieste di permessi è stato repentino e la domanda non ha ancora recuperato i livelli precedenti, a differenza degli altri paesi, anche di quelli, come la Spagna, che ha subito un arresto del mercato immobiliare ma che sembra in risalita. Nel nord Europa la domanda di nuove abitazioni è in crescita.

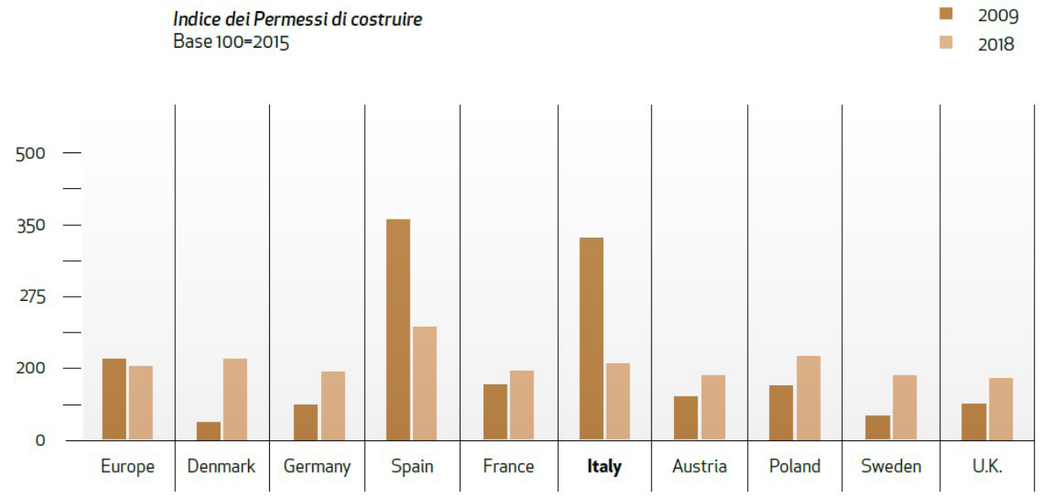
Analisi del mercato della prefabbricazione in Europa

Per l'analisi del mercato della prefabbricazione in Europa sono stati consultati i dati pubblicati da:

- Eurostat - Ufficio statistico dell'Unione Europea;
- Prodcom - Indagine svolta da ISTAT e da tutti gli altri istituti nazionali di statistica dei paesi UE, sulle statistiche annuali della produzione industriale.

Per la caratterizzazione e distinzione del mercato sono stati consultati i Codici Prodcom:
16.23.20.00 - Costruzioni prefabbricate in legno;
23.61.20.00 - Costruzioni prefabbricate in cemento;
25.11.10.30 - Costruzioni prefabbricate di ferro o di acciaio.

I dati, aggregati per comparti, comprendono sia la produzione di componenti che quella di moduli.



Indice Permessi di costruire – Da "Rapporto case ed edifici in legno 2019" di Federlegno

L'elaborazione dei valori delle produzioni nell'ambito della prefabbricazione, distinte nei tre settori del legno, del calcestruzzo e dell'acciaio, suggeriscono la caratterizzazione di ciascuna area geografica.
I dati di ciascun comparto vanno interpretati per poter distinguere la quota relativa alla prefabbricazione di moduli da quella relativa a componenti.

Flussi commerciali prefabbricazione in legno

Data la maggiore incisività sul mercato sono stati esaminati con particolare attenzione i valori relativi alle costruzioni prefabbricate in legno.
Il mercato della prefabbricazione, a livello statistico, comprende anche il materiale destinato alla realizzazione di edifici in legno (pareti, XLAM) oltre che edifici e moduli.
Il valore delle importazioni di XLAM destinato all'edilizia nel 2018 è stato pari a 148 milioni di euro, con un aumento (in valore) del 27% evidenziando una crescita della domanda da parte di operatori che hanno sviluppato il know how costruttivo mediante l'assemblaggio in cantiere di pareti.
Il principale fornitore di XLAM è l'Austria.
Ai materiali vanno ad aggiungersi i prefabbricati e i preassemblati in legno importati.

Nel 2018 in valore sono stati importati circa 36,6 milioni di euro relativi a edifici di legno con una variazione di +9,5% rispetto al 2017. Principale fornitore è stata la Slovenia che ha raddoppiato le sue esportazioni superando i 14 milioni di euro.
Nel 2018 è cresciuto anche l'export italiano di edifici di legno, raggiungendo quasi i 50 milioni di euro con una crescita del 28% rispetto al 2017. Le destinazioni sono la Germania con 7,7 milioni di euro (ed una quota raddoppiata rispetto all'anno prima), la Svizzera, la Croazia, la Norvegia e l'Algeria, ad evidenziare la grande diffusione dei prodotti italiani sia in Paesi di lunga tradizione rispetto alla prefabbricazione in legno, sia in mercati come l'Algeria agli inizi in questo settore.

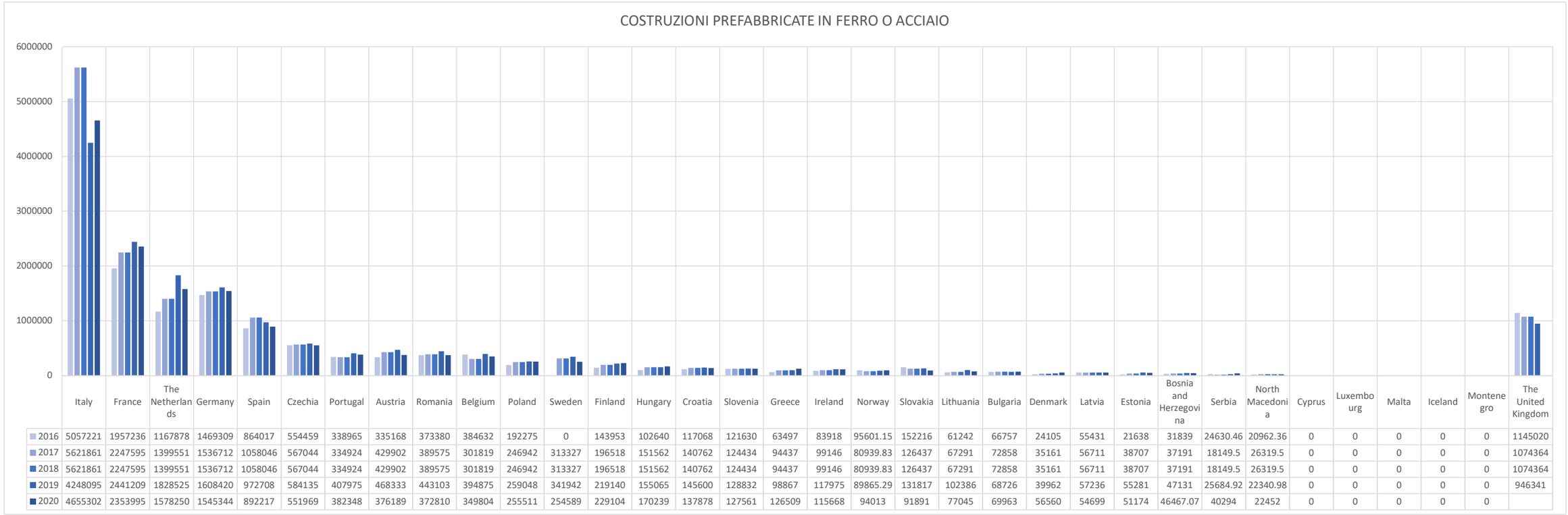
Confronto sulla produzione off-site tra i Paesi europei

I dati Prodcom confrontano i valori della produzione di edifici in legno prefabbricati
tra il 2016 e il 2020. L'Italia si pone al 4° posto dopo Germania, Svezia e Regno Unito e davanti all'Austria.
La produzione riportata da Prodcom per l'Italia per il 2020 è di circa 664 milioni di euro, circa
la metà di Regno Unito e Svezia, e circa un quarto della Germania.

Europa

Produzione off-site per settori: elaborazioni grafiche

Elaborazioni condotte a partire dai dati del progetto PRODCOM (PRODuzione COMunitaria) dell'Unione Europea, rilevati e raggruppati secondo il settore economico del produttore. Riguardano la fabbricazione, la commercializzazione e l'installazione dei prodotti.

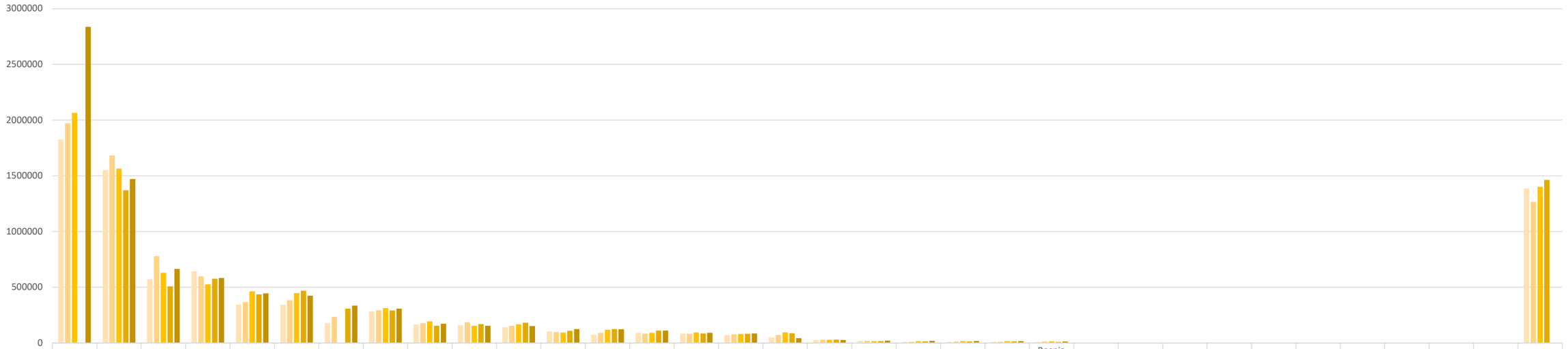


	Italy	France	The Netherlands	Germany	Spain	Czechia	Portugal	Austria	Romania	Belgium	Poland	Sweden	Finland	Hungary	Croatia	Slovenia	Greece	Ireland	Norway	Slovakia	Lithuania	Bulgaria	Denmark	Latvia	Estonia	Bosnia and Herzegovina	Serbia	North Macedonia	Cyprus	Luxemburg	Malta	Iceland	Montenegro	The United Kingdom
2016	5057221	1957236	1167878	1469309	864017	554459	338965	335168	373380	384632	192275	0	143953	102640	117068	121630	63497	83918	95601.15	152216	61242	66757	24105	55431	21638	31839	24630.46	20962.36	0	0	0	0	0	1145020
2017	5621861	2247595	1399551	1536712	1058046	567044	334924	429902	389575	301819	246942	313327	196518	151562	140762	124434	94437	99146	80939.83	126437	67291	72858	35161	56711	38707	37191	18149.5	26319.5	0	0	0	0	0	1074364
2018	5621861	2247595	1399551	1536712	1058046	567044	334924	429902	389575	301819	246942	313327	196518	151562	140762	124434	94437	99146	80939.83	126437	67291	72858	35161	56711	38707	37191	18149.5	26319.5	0	0	0	0	0	1074364
2019	4248095	2441209	1828525	1608420	972708	584135	407975	468333	443103	394875	259048	341942	219140	155065	145600	128832	98867	117975	89865.29	131817	102386	68726	39962	57236	55281	47131	25684.92	22340.98	0	0	0	0	0	946341
2020	4655302	2353995	1578250	1545344	892217	551969	382348	376189	372810	349804	255511	254589	229104	170239	137878	127561	126509	115668	94013	91891	77045	69963	56560	54699	51174	46467.07	40294	22452	0	0	0	0	0	

Produzione edifici prefabbricati in acciaio (sopra), legno e calcestruzzo (pagine seguenti) in Europa – Dati ricavati da Prodcom - Indagine svolta da ISTAT e da tutti gli altri istituti nazionali di statistica dei Paesi UE, sulle statistiche annuali della produzione industriale. Valori espressi in migliaia di euro.
Codici Prodcom consultati: 16.23.20.00 - Costruzioni prefabbricate in legno; 23.61.20.00 - Costruzioni prefabbricate in cemento; 25.11.10.30 - Costruzioni prefabbricate di ferro o di acciaio. Anni: 2016, 2017, 2018, 2019, 2020.

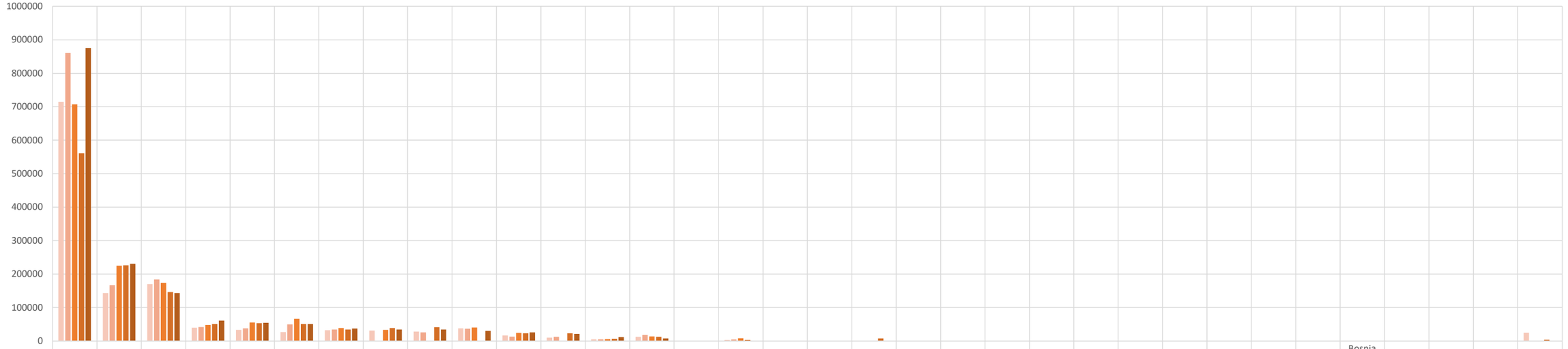
Elaborazione dati statistici e rappresentazione grafica a cura di F. Muratore

COSTRUZIONI PREFABBRICATE IN LEGNO



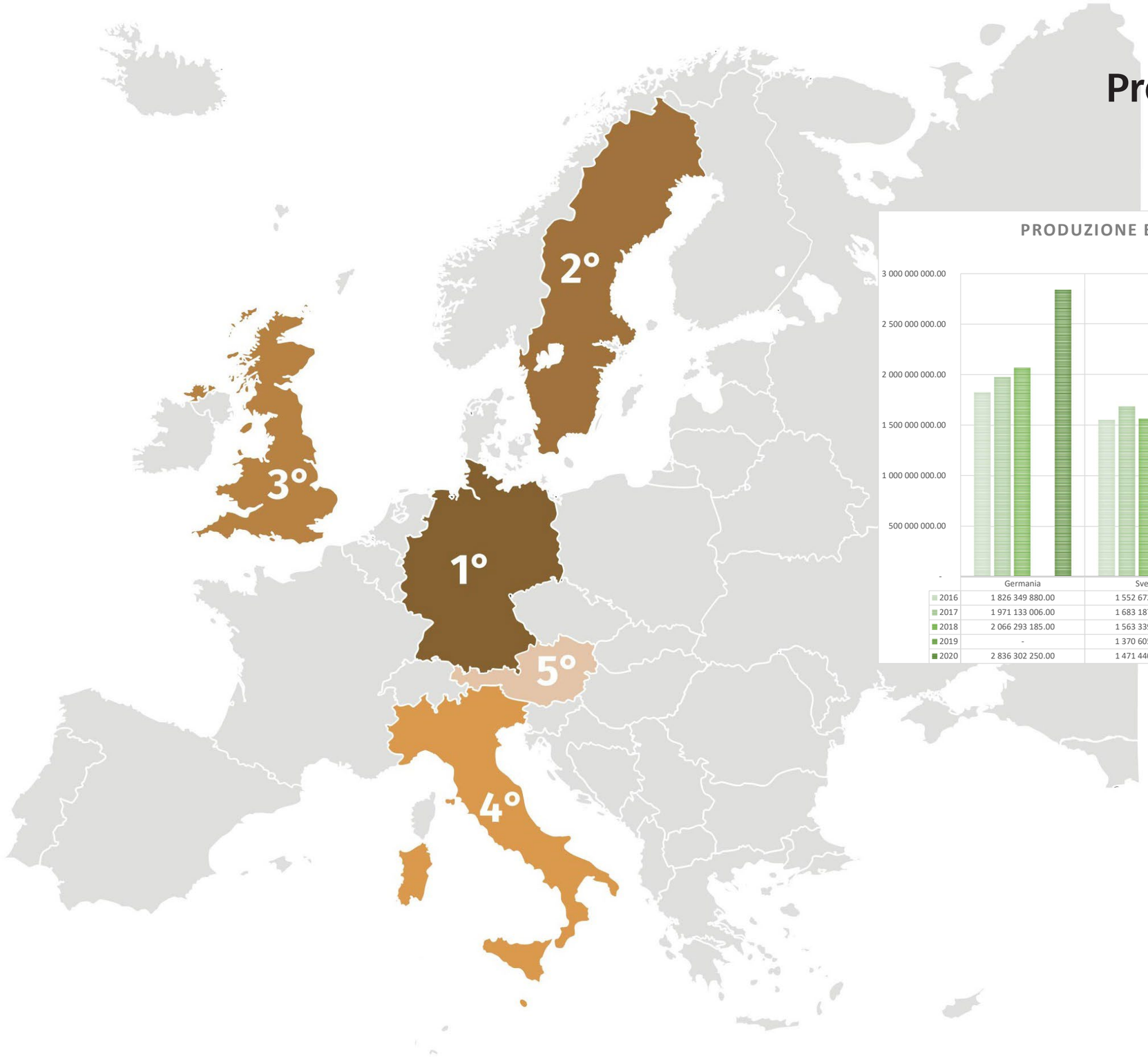
	Germany	Sweden	Italy	Austria	Finland	Estonia	The Netherlands	Norway	Denmark	France	Spain	Lithuania	Slovenia	Belgium	Czechia	Latvia	Ireland	Romania	Hungary	Croatia	Portugal	Slovakia	Bosnia and Herzegovina	Greece	Serbia	Bulgaria	Poland	Cyprus	Luxemburg	Malta	Iceland	Montenegro	North Macedonia	The United Kingdom
2016	1826350	1552673	571760	642167	346542	343655	177820	283021,2	165000	160503	141121	101818	74262	89692	84660	70881	51029	27417	19028	10919	11361	12185	9329	279	0	2687	0	0	0	0	0	0	0	1384541
2017	1971133	1683188	778842	598878	367740	383601	233204	293757,8	177427	187280	153451	98304	92771	85347	82922	77052	72720	29825	19846	12766	12950	12052	15152	2055	3162,344	3798	0	0	0	0	0	0	0	1266793
2018	2066293	1563340	630492	526152	464039	447283	0	313286,9	193971	155083	168182	93642	120049	92781	94434	80675	95150	28776	17568	15540	17070	16193	15028	2069	5273,857	2530	0	0	0	0	0	0	0	1399853
2019	0	1370605	507932	576171	436620	469827	307988	291564,2	154904	169739	182963	109023	126061	111762	86689	82511	87407	31248	17129	14903	14005	15089	10156	2453	1093,815	2958	0	0	0	0	0	0	0	1464238
2020	2836302	1471440	664160	582729	444997	424407	335237	308334	173472	155188	151753	124389	123686	111159	91729	85914	44043	27063	20980	19434	18690	15643	12801,41	3222	3217	2481	0	0	0	0	0	0	0	

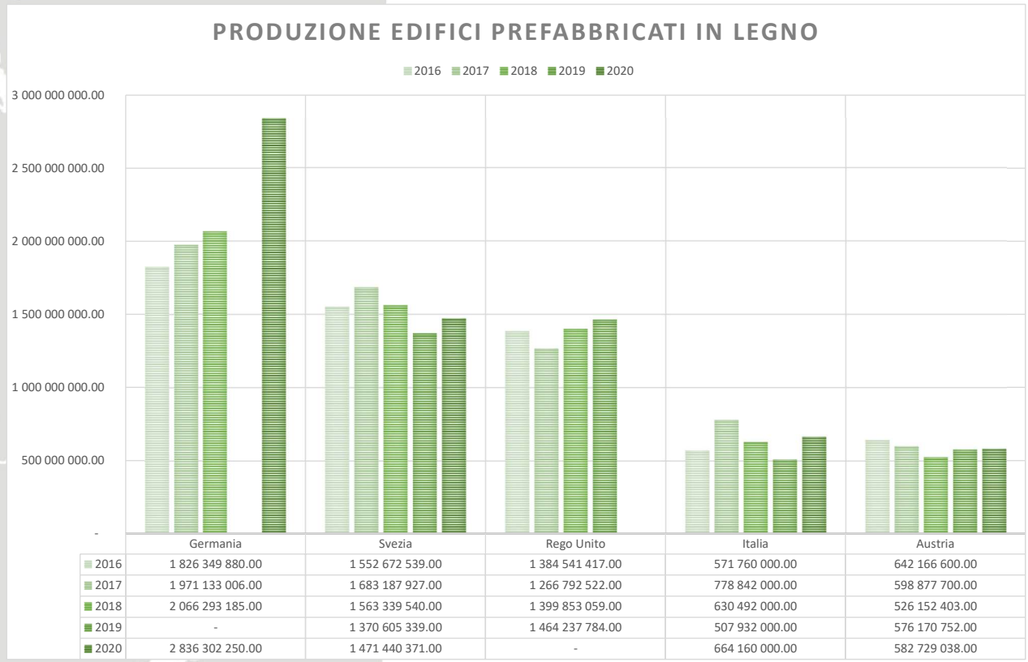
COSTRUZIONI PREFABBRICATE IN CALCESTRUZZO



	Italy	Spain	France	Sweden	Belgium	The Netherlands	Poland	Norway	Austria	Latvia	Czechia	Romania	Greece	Portugal	Croatia	Bulgaria	Ireland	Hungary	Slovakia	Germany	Serbia	Denmark	Cyprus	Lithuania	Luxemburg	Malta	Slovenia	Finland	Iceland	Bosnia and Herzegovina	Montenegro	North Macedonia	Estonia	The United Kingdom
2016	714957	143271	169821	39884	33405	26697	32179	31212.62	27739	37812	16523	10113	4752	12727	766	3097	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24484
2017	860381	166848	184155	41638	37963	49606	34080	0	25787	36652	13198	12496	5353	18252	645	4286	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	537	0
2018	707063	225095	173735	47515	55131	66385	38477	33085.07	0	40481	24432	0	5625	13601	664	7981	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	240	0
2019	561240	226177	146052	50997	53624	50589	33981	38613.86	41188	0	22935	22956	6367	12753	744	2952	0	0	7463	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3720
2020	875702	230652	143152	61032	54209	51142	36963	33982	33909	29969	25971	21122	11316	7707	762	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Europa
Produzione edifici in legno



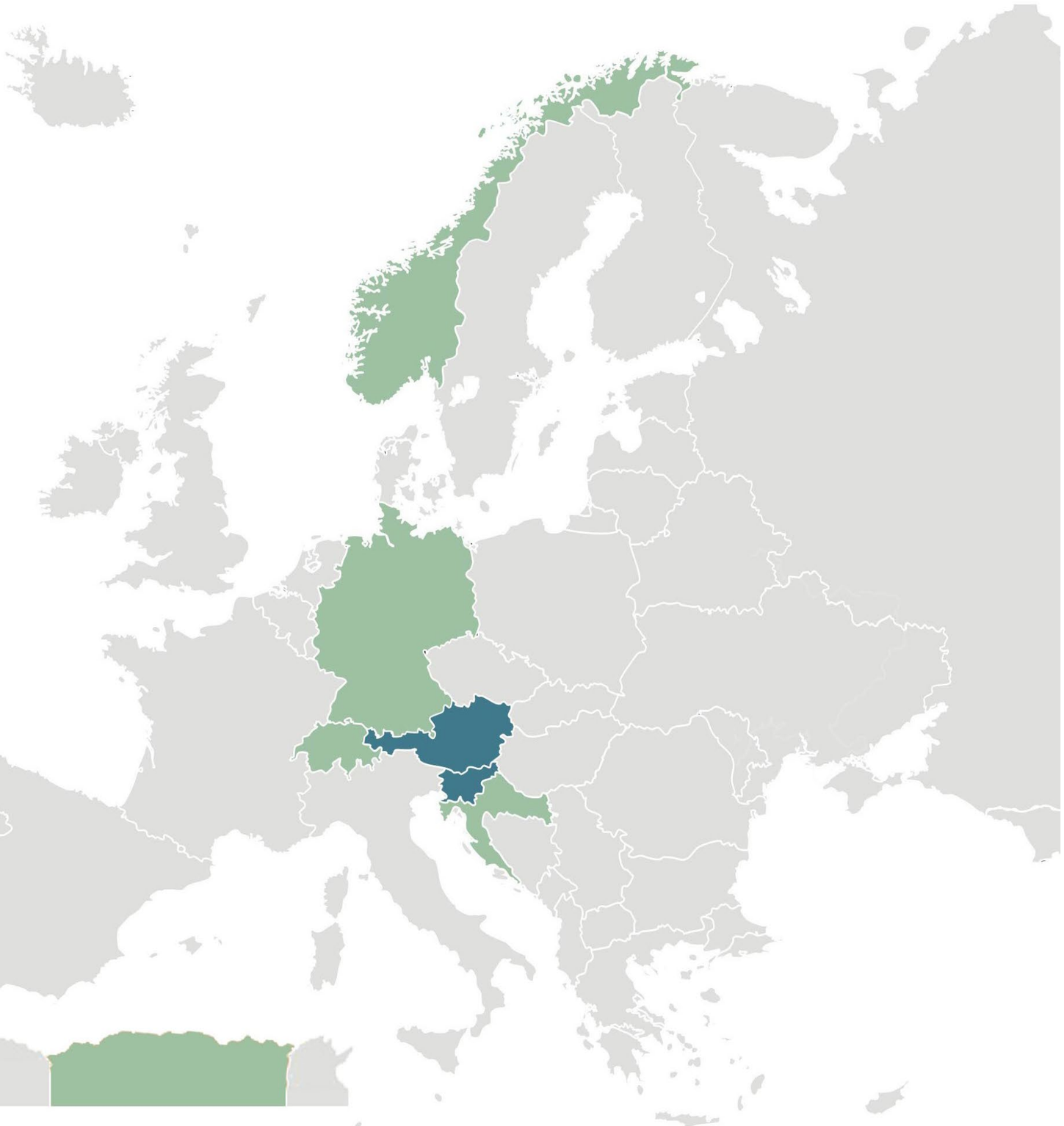


	Germania	Svezia	Rego Unito	Italia	Austria
2016	1 826 349 880.00	1 552 672 539.00	1 384 541 417.00	571 760 000.00	642 166 600.00
2017	1 971 133 006.00	1 683 187 927.00	1 266 792 522.00	778 842 000.00	598 877 700.00
2018	2 066 293 185.00	1 563 339 540.00	1 399 853 059.00	630 492 000.00	526 152 403.00
2019	-	1 370 605 339.00	1 464 237 784.00	507 932 000.00	576 170 752.00
2020	2 836 302 250.00	1 471 440 371.00	-	664 160 000.00	582 729 038.00

Produzione edifici prefabbricati in legno in Europa – Dati ricavati da Prodcom - Indagine svolta da ISTAT e da tutti gli altri istituti nazionali di statistica dei Paesi UE, sulle statistiche annuali della produzione industriale. Codice Prodcom consultato: 16.23.20.00 - Costruzioni prefabbricate in legno. Anni: 2016, 2017, 2018, 2019, 2020.

Elaborazione dati statistici e rappresentazione grafica a cura di F. Muratore

Europa
Import - Export



Export

Valore importazioni
2018

50
milioni di Euro
Valore esportazioni di edifici di legno

Principali importatori dall'Italia:
GERMANIA, SVIZZERA, CROAZIA, NORVEGIA, ALGERIA

+ 28 %
Rispetto al 2017

Import

Valore importazioni
2018

148
milioni di Euro
Valore importazioni di XLAM per l'edilizia

Principale fornitore: AUSTRIA

+ 27 %
Rispetto al 2017

36,6
milioni di Euro
Valore importazioni di prefabbricati e preassemblati in legno

Principale fornitore: SLOVENIA

+ 9,5 %
Rispetto al 2017

2.2.1

Ambito europeo

Costruzioni modulari in Italia

Prefabbricazione: un aiuto al mercato edilizio italiano

Le ragioni e le necessità del processo di industrializzazione dell'edilizia, con l'esame dei punti caratteristici di tale processo, sono state delineate già nel 1965 nel testo proprio dal titolo "L'industrializzazione dell'edilizia". Da allora sono argomento di sperimentazione e dibattito temi come: i limiti di convenienza del prefabbricato, i ritmi di produzione, l'analisi critica dei procedimenti e dei sistemi industrializzati in uso, i problemi del peso, delle dimensioni, del trasporto, del montaggio, dei giunti, delle tolleranze.

L'industrializzazione dell'edilizia in Italia non è un tema nuovo, anzi. Risale al 1965 la prima pubblicazione (Aa. Vv., *Industrializzazione dell'edilizia*, Edizioni Dedalo, nella collana "Il Politecnico", 1965) in cui il Prof. Giuseppe Ciribini, insieme ad un gruppo di tecnici e specialisti, illustrava le ragioni e le potenzialità del processo di industrializzazione dell'edilizia e ne evidenziava i principali aspetti e problemi.
Altri riscontri scientifici si trovano nelle pubblicazioni dei primi anni '70 del Prof. Giorgio Ceragioli del Politecnico di Torino: "Note di ricerca su problemi della prefabbricazione fra il 1971 ed il 1975" e "Industrializzazione edilizia: elementi per un glossario problematico", con una serie di importanti contributi sul tema.
Il confronto del mercato con la ricerca accademica consente di inquadrare meglio l'argomento e tentare di farne il punto all'attualità.

Di fatto, se per lungo tempo, i termini Prefabbricazione e Industrializzazione hanno continuato a risuonare, accomunati da uno stretto nesso, oggi le soluzioni offerte dal mercato hanno sostituito quelle tradizionali, proponendo nuovi e diversi criteri di progettazione e realizzazione. All'insegna della circolarità, della digitalizzazione e della sostenibilità si è arrivati a soluzioni dall'altissimo contenuto tecnologico, che utilizzano materiali nuovi e che pongono l'attenzione sui processi di gestione degli edifici.
L'industrializzazione edilizia e la digitalizzazione dei processi potranno aiutare il mercato italiano a trainare la ripresa.

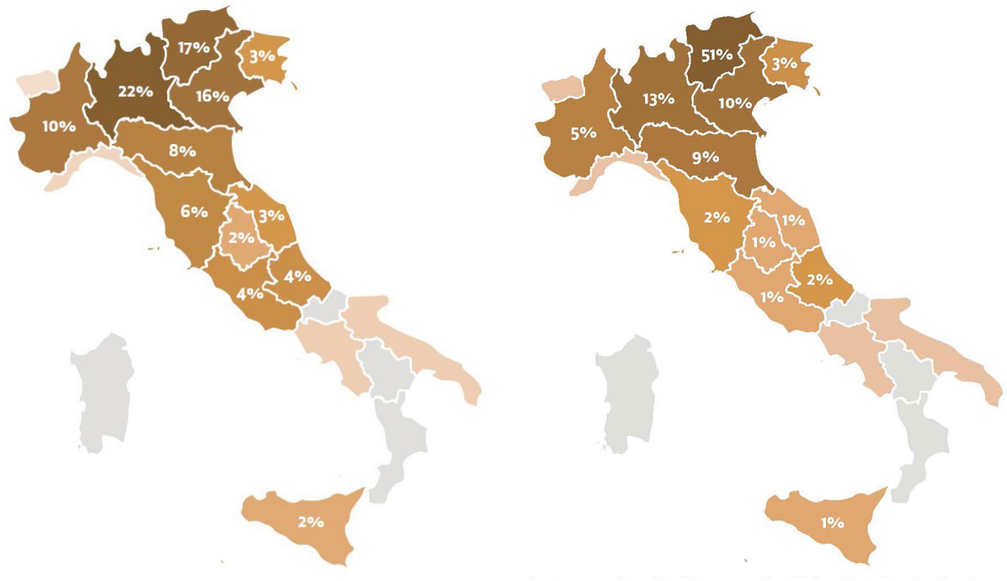
Nell'ambito della prefabbricazione si possono prefigurare diversi livelli di industrializzazione:
- Un livello di innovazione tecnologica di prodotti e componenti, legato sostanzialmente al mondo dei sensori intelligenti che restituiscono fedelmente e in ogni momento variabili ambientali e stato degli elementi strutturali grazie alle tecnologie Internet of Things. Questi sensori non terminano lo loro utilità con l'ultimazione del cantiere ma possono costituire una rete di sensori ambientali per l'automazione e l'elaborazione di modelli di previsione dello stato dell'edificio e degli impianti per la manutenzione e gestione operativa e per la verifica dell'efficienza energetica come tecnologia evoluta per personalizzare al massimo la fruizione del comfort termico all'interno degli ambienti.

- Un livello di innovazione di sistema sui processi di produzione che integra progettazione parametrica e design thinking, modellazione 3D e prototipazione rapida delle soluzioni, consentendo di verificare l'avanzamento del lotto in produzione o in cantiere in tempo reale: ogni componente da produrre o da montare è tracciabile in qualsiasi momento ed è sottoposto a stringenti controlli di qualità che ne determinano la conformità al progetto.

Il mercato italiano

In Italia la costruzione prefabbricata modulare è presente nel settore statale (alloggi di emergenza, impianti sportivi, locali scolastici), nel settore terziario privato (uffici, negozi e chioschi, eventi, salute) ed ha visto un importante crescita negli ultimi anni nel settore residenziale.
Il mercato mondiale della costruzione modulare è in piena espansione. Dovrebbe crescere a un tasso di quasi il 6% all'anno fino al 2025. L'Italia, tradizionalmente in ritardo rispetto ai paesi anglosassoni in questo mercato, ha iniziato a recuperare il ritardo rapidamente.

Infatti, il mercato italiano è quintuplicato dal 2007. Questa rapida espansione è dovuta alla presa di coscienza delle potenzialità offerte dalla costruzione modulare in termini di costi di produzione, tempi di costruzione, facilità d'installazione e rispetto per i vincoli ambientali.
I principali attori del mercato italiano sono Wolf System, Imola Legno, Damiani-Holz, Wood Beton, Rubner Haus, Rubner Holzbau e Rubner Objektbau (tutti e tre parte del Rubner Gruppe). Tuttavia ci sono centinaia di produttori che vanno dai grandi gruppi multinazionali alle PMI.



Localizzazione dei produttori per numero (a sinistra) e per fatturato (a destra) – Da "Rapporto case ed edifici in legno 2019" di Federlegno

Prevalenza del legno e delle case unifamiliari

Come menzionato sopra, secondo FederBeton, e FederLegno, le federazioni dei costruttori di cemento e legno in Italia, più dell'80% delle costruzioni modulari sono a scopo residenziale, di cui più del 90% in legno, mentre le costruzioni prefabbricate in cemento e acciaio sono utilizzate principalmente nel settore terziario privato e nel settore statale. Come menzionato sopra, il mercato delle costruzioni prefabbricate ruota intorno alle residenze, in particolare in legno e tra queste l'85 % è rappresentato da case unifamiliari.

Anche sotto il profilo del numero di edifici realizzati, la distribuzione conferma la vocazione per la prefabbricazione del Trentino Alto Adige dove si realizzano il 21% delle case di legno prodotte dalle imprese esaminate. Seconde a pari merito Lombardia e Veneto con il 16%, poi Marche, Emilia Romagna e Piemonte.

Esportazioni

I flussi commerciali delle costruzioni prefabbricate, reperiti nel database UN Comtrade sotto il codice 9406: Building prefabricated, evidenziano che l'Italia è un esportatore netto di costruzioni off-site.

Distribuzione per regione delle case in legno in Italia – Da "Rapporto case ed edifici in legno 2019" di Federlegno

Distribuzione geografica

L'analisi della localizzazione delle imprese esaminate, vede una concentrazione geografica degli operatori tra Lombardia (prima per numero di aziende con 45 imprese), Trentino Alto Adige e Veneto che insieme rappresentano il 55% del totale.

È il Trentino Alto Adige però ad ospitare le imprese più grandi specializzate nel settore: dalle aziende di questa regione viene realizzato il 51% della produzione complessiva; seguono a distanza, Lombardia e Veneto.

Nel 2018 l'export italiano di case di legno, ha raggiunto quasi i 50 milioni di euro con una crescita del 28% rispetto al 2017. Le destinazioni sono state la Germania con 7,7 milioni di euro (ed una quota raddoppiata rispetto all'anno prima), la Svizzera, la Croazia, la Norvegia e l'Algeria, ad evidenziare un grande interesse verso la produzione italiana sia in Paesi di lunga tradizione sia in mercati come l'Algeria dove si muovono i primi passi in questo settore.

Nel 2021 la quota di mercato delle esportazioni italiane di costruzioni prefabbricate ha registrato un incremento dello 0,53% mentre la crescita propria (interna) è stata del 26,90 %.

Importazioni

Nel 2018 il valore delle importazioni di case di legno ha raggiunto i 36,6 milioni di euro con una variazione di +9,5% rispetto al 2017. Principale fornitore è stata la Slovenia che ha raddoppiato le sue esportazioni superando i 14 milioni di euro.

Produzione

La produzione italiana di edifici in legno prefabbricati nel 2018 è stata di circa 630 milioni di euro, circa la metà di Regno Unito e Svezia, e circa un terzo della Germania.

I dati ISTAT Prodcom mostrano un aumento del 10% della produzione di edifici prefabbricati in legno in Italia tra il 2016 e il 2018, dopo un picco realizzato nel 2017, confermandola al 4° posto dopo Germania, Svezia e Regno Unito e davanti all'Austria.

Segmentazione del mercato

Come detto in precedenza, a causa dell'aggregazione dei dati economici disponibili, è difficile quantificare esattamente il mercato della prefabbricazione modulare. Dall'esame dei dati economici relativi al comparto di maggior interesse, relativo alla prefabbricazione in legno, si desume l'elenco delle imprese di maggiori dimensioni, per volume di fatturato.

Si precisa che le aziende elencate, a volte, svolgono la loro attività sia nel commercio di componenti pretagliati che di moduli prefabbricati.

Ragione sociale	Divisione prefabbricati	Ricavi 2018 (€)	Ricavi 2017 (€)	Provincia
WOLF SYSTEM SRL	Wolf Haus	84.960.536	72.580.611	Bolzano/Bozen
IMOLA LEGNO SPA	Building Division	70.768.768	74.254.020	Bologna
RUBNER HAUS SPA	-	n.d.	42.476.283	Bolzano/Bozen
RUBNER OBJEKTBAU SRL	-	17.832.468	23.100.872	Bolzano/Bozen
RUBNER HOLZBAU SPA	-	23.821.183	26.581.335	Bolzano/Bozen
WOOD BETON SPA	-	28.094.755	12.013.928	Brescia
DAMIANI-HOLZ&KO SPA	Ligno Alp	30.688.353	28.975.160	Bolzano/Bozen

Edificio: Sopraelevazione di abitazione privata
Località: Bolzano, Trentino Alto Adige
Produttore moduli prefabbricati: Wolf Haus
Anno di realizzazione: 2012

Edificio: abitazione privata
Località: San Donà di Piave, Veneto
Produttore moduli prefabbricati: Rubner Haus

Produttore moduli prefabbricati: Imola Legno building division

Edificio: Maestrani Schweizer Schokoladen
Località: Flawil, Svizzera
Produttore moduli prefabbricati: Rubner Objektbau
Anno di realizzazione: 2017

Edificio: Walden 48
Località: Berlino, Germania
Produttore moduli prefabbricati: Rubner Holzbau
Anno di realizzazione: 2020
Edificio residenziale in legno massiccio di 6 piani, ospitante 43 appartamenti

Edificio: Hotel des Alpes
Località: Courmayeur, Italia
Produttore moduli prefabbricati: Woodbeton
Edificio alberghiero di 8 piani, ospitante 130 camere
Anno di realizzazione: 2019

Edificio: asilo CityLife
Località: Milano, Italia
Produttore moduli prefabbricati: Damiani Holz & Co - divisione LignoAlp
Anno di realizzazione: 2018
Sistema costruttivo in X-Lam realizzato in due mesi

2.2.2

Dai processi tecnologici a quelli integrati

In Svezia subito dopo la fine della Seconda Guerra Mondiale fu emesso il primo Codice Edilizio nazionale. Tra il 1965 e il 1975, la Svezia ha prodotto un milione di abitazioni a seguito di un'iniziativa politica, ponendo fine alla carenza di alloggi durata 50 anni. Questa situazione ha favorito la nascita di grandi industrie costruttive che hanno sperimentato e sviluppato nuovi processi prendendo a prestito conoscenze da altre industrie produttive, come quella automobilistica e navale. Lo sviluppo della costruzione off-site è stato guidato dalla tecnologia, con grandi investimenti in attrezzature di produzione, nella formazione del personale e nella catena di approvvigionamento.

Ambito europeo

Costruzioni modulari in Svezia

L'industrializzazione in Svezia ha avuto uno sviluppo costante negli ultimi due secoli in molti campi, tra cui anche la produzione di abitazioni prefabbricate. La sua storia di edilizia industrializzata è lunga ed efficace, soprattutto grazie a fattori culturali e strutturali che da sempre supportano l'innovazione e si prestano a cogliere le sfide riguardanti i sistemi prefabbricati. La Svezia è infatti uno dei pochi Paesi occidentali in cui sussiste una stretta e proficua collaborazione tra governo, settore industriale ed istituti di ricerca, che la porta ad essere un punto di riferimento all'avanguardia per l'innovazione.

Fin dal diciassettesimo secolo la sua collocazione geografica ha favorito la diffusione delle innovazioni e sviluppi derivanti dal centro Europa in molti campi, che l'ha resa in grado di far fronte ad una grande crisi abitativa negli anni '20 del Novecento grazie al proprio sviluppo tecnologico. Il governo svedese si attivò per finanziare lo sviluppo di società di produzione di case prefabbricate attraverso prestiti di denaro e lo sviluppo di progetti standard, per sostenere al meglio la rapida produzione di abitazioni. Fornì anche assistenza alle fabbriche per la produzione di alloggi e formazione nelle scuole di architettura e ingegneria.
Grazie a queste iniziative l'edilizia abitativa vide una rapida espansione, che si arrestò con lo scoppio della Seconda Guerra Mondiale, che ne ostacolò nuovamente il progresso. In quel periodo infatti attrezzature e materiali da costruzione furono utilizzati in altri campi, ma la neutralità svedese durante la guerra ha permesso all'industria svedese di tornare pienamente operativa nel periodo immediatamente successivo e di avviare una forte economia di dopoguerra. Il finanziamento del governo ha aiutato a sostenere lo sviluppo industriale, che ha avuto anche un forte appoggio derivante dalla ricerca architettonica. I settori manifatturiero e delle costruzioni hanno stretto un forte legame e la Svezia è diventata uno dei primi Paesi ad adottare moduli standard per le varie costruzioni, tra cui le misure di porte, finestre e arredamento.

Durante questo periodo la reputazione della Svezia nel settore manifatturiero è cresciuta costantemente attraverso le aziende come Electrolux, Volvo, ABB, SAAB, IKEA, Sandvik, Ericsson, Atlas Copco, Scania e Husqvarna[1].

Lo Stato svedese pone da sempre una grande attenzione alle costruzioni prefabbricate, tanto da redigere un codice edilizio nazionale già subito dopo la fine della Seconda Guerra Mondiale; nel 1964 infatti decise di dare una svolta al persistente problema della carenza di alloggi e diede vita al codice edilizio chiamato *Miljonprogrammet* (Il Programma del Milione di case) che impegnava lo Stato a costruire un milione di case in 10 anni. Venne in aggiunta creata una collezione dei possibili dettagli tecnici di progettazione, al fine di aiutare le aziende produttrici ad ottenere prodotti ben disegnati e di alta qualità e fu raggiunto un ulteriore accordo che fissava delle misure standardizzate per alcune componenti abitative. Queste tre importanti misure, che sono rimaste invariate fino ad oggi, hanno permesso di stabilizzare il mercato svedese e di fissare delle regole per il suo corretto funzionamento.

Il passaggio da un'industria edilizia guidata da piccoli costruttori locali allo sviluppo di grandi appaltatori professionali è avvenuto tra la metà degli anni '60 e quella degli anni '70, quando in quasi tutte le città sono stati costruiti complessi residenziali multi-familiari su larga scala con il sostegno del governo svedese. La maggior parte di questi progetti abitativi multi-familiari vennero realizzati con un alto grado di ripetizione, mescolando varie tecniche e materiali, tra cui calcestruzzo prefabbricato e facciate a telaio in legno.
Fu ovviamente un periodo molto favorevole per la prefabbricazione edilizia e i suoi operatori, che svilupparono rapidamente nuovi processi, attingendo anche da conoscenze provenienti da altri tipi di industrie, in primis quella automobilistica.

La carenza di progettisti creò consenso tra architetti e costruttori sul fatto che i contratti di progettazione e costruzione fossero la modalità di edificazione preferita. In questo modo fu ridotto il carico di lavoro amministrativo per gli architetti e i costruttori assunsero il controllo delle decisioni di produzione.

Questi progetti abitativi multifamiliari non sono stati sufficienti per soddisfare la domanda e un terzo del programma Million Homes è stato realizzato attraverso case unifamiliari prodotte in fabbriche con elementi con struttura in legno. Poiché questa industria delle case unifamiliari prosperava nel dopoguerra, le case furono esportate anche in Germania, Norvegia e fino all'Australia.

<u>Una prima visione</u>

Questa tipologia di architettura uniforme ed adattabile a diversi contesti rispecchiava i dettàmi del Movimento Moderno, che improntava i progetti a criteri di funzionalità ed a nuovi concetti estetici. Col passare del tempo, tuttavia, l'espansione su larga scala di complessi residenziali fu oggetto di proteste e l'industrializzazione edilizia svedese vide un brusco arresto; in risposta a questo ci fu una rinascita dell'edilizia tradizionale con realizzazioni di case di piccole dimensioni, iper decorate e personalizzate.
Nel 1994, una nuova crisi economica costrinse il governo svedese a rimuovere i sussidi alla costruzione[2].
Molti produttori di abitazioni unifamiliari sono scomparsi dal mercato, l'intero settore delle costruzioni ha dovuto rinnovarsi e la produzione abitativa è rimasta bassa per oltre un decennio. Questa stagnazione ha portato a una nuova carenza di alloggi e nel 2010 erano necessarie quasi tante case quante prima del programma Miljonprogrammet.

<u>La visione post-crisi</u>

Questa nuova crisi abitativa non poteva però essere risolta allo stesso modo, perché la visione degli svedesi era mutata notevolmente. L'industrializzazione era adesso vista con grande diffidenza: il forte controllo del governo e la prefabbricazione edilizia avevano portato ad interi quartieri con edifici uniformi, noiosi e di qualità inferiore rispetto all'edilizia più tradizionale.

1 Aitchison, M. (2018). *Prefab Housing and the Future of Building: Product to Process.* Londra: Lund Humphries.
2 Ibidem.

Era quindi necessaria una nuova ricerca nel settore, che guidasse l'industrializzazione e la portasse maggiormente a servizio dei clienti, con la possibilità di organizzare più varianti per ogni prodotto e una varietà di modelli di business.

Il contesto Svedese individua alcuni segmenti di mercato nel settore immobiliare in cui è più forte la competizione tra società produttrici.
Il primo è il mercato delle case unifamiliari per le famiglie a basso reddito che cercano la loro prima casa. In questo segmento rientrano alcune delle aziende con la più lunga tradizione nella costruzione off-site; riescono ad avere un grande successo grazie a ciò che offrono ai loro clienti: prezzi fissi, una data di consegna precisa e a breve termine e un buon rapporto tra la qualità offerta, che soddisfa i requisiti dei committenti, e i prezzi bassi.

L'approccio è lo stesso di cui si servono altre grandi aziende di altri settori, come IKEA, le quali offrono prodotti a basso prezzo ma che soddisfano i requisiti minimi di compratori che hanno bassa disponibilità economica. In entrambi i casi la flessibilità offerta al cliente non è alta, ma le vendite sono comunque abbastanza da rendere questo segmento di mercato redditizio. Le più importanti aziende impegnate in questo campo riescono infatti a produrre circa 400 abitazioni a basso costo ogni anno.

Il secondo segmento di mercato di successo è quello delle case unifamiliari rivolto alle famiglie di classe medio-alta che vogliono costruire la casa di famiglia. Siccome si tratta di un numero di clienti maggiore rispetto a quello delle case per persone a basso reddito, anche il numero di società coinvolte in questo segmento è maggiore. Il punto di forza è in assoluto la flessibilità: contrariamente al primo caso, qui il cliente partecipa al processo di progettazione; si ottiene un prodotto più personalizzato e meno standard, con meno automazione del processo ed un costo necessariamente più elevato. La qualità ottenuta è decisamente più alta della precedente e spesso vengono scelte soluzioni ecocompatibili sia per quanto riguarda i materiali che la tecnologia energetica. Nonostante il prezzo maggiore, le più importanti aziende hanno una produzione di circa 200 case di questo tipo all'anno.

C'è infine quella parte di mercato che comprende le case plurifamiliari per le famiglie della classe media che vogliono vivere in città. Per il modo in cui viene intesa in Svezia, questa tipologia si presta meno all'utilizzo di moduli, quindi la standardizzazione si ferma a porzioni della casa come bagni e cucine o elementi strutturali. Il mercato delle abitazioni plurifamiliari è, contrariamente agli altri, costituito da clienti professionisti più che singoli cittadini.

Ispirandosi alle aziende automobilistiche, la maggior parte delle società di costruzioni industrializzate svedesi oggi ha sviluppato esperienze nella configurazione e sviluppo di sistemi di costruzione, nella modularizzazione e organizzazione di progetti standard in piattaforme e nello sviluppo di prodotti e produzione.
Questa crescente attenzione al cliente nell'edilizia ha identificato l'importanza di un buon design come essenziale per il successo, parallelamente all'industrializzazione.

Nel 2015 in Svezia erano attivi circa 75 produttori di case unifamiliari prefabbricate. I tre maggiori hanno avuto un fatturato superiore a 100 milioni di dollari, collocandoli tra i 30 maggiori appaltatori di costruzioni svedesi. Le costruzioni a telaio prefabbricato in legno detengono il 95% della quota di mercato nel settore delle case unifamiliari. Questi produttori in genere ricevono legname pretagliato, con altri materiali consegnati just-in-time, e utilizzano una linea di produzione di pareti automatizzata servita dai dati di un sistema CAD.
Pareti, soffitti, pavimenti vengono prefabbricati in fabbrica utilizzando macchine a controllo numerico. Al termine, questi elementi vengono coperti e consegnati su camion al cantiere dove la casa viene assemblata in due o tre giorni partendo da una piastra di fondazione in calcestruzzo. Le operazioni di montaggio non vengono influenzate da fattori stagionali.

Gli insegnamenti del programma Million Homes hanno portato a una rinnovata attenzione alla qualità del progetto ma hanno anche dimostrato che la ripetizione e l'esperienza delle sperimentazioni sono strumenti potenti quando si tratta di aumentare la qualità e il flusso di lavoro.

I processi di costruzione sono stati lentamente perfezionati e, di conseguenza, l'industria edile svedese è ora altamente competitiva, producendo case di alta qualità con una forza lavoro ben pagata.
Per ridurre i costi dei trasporti, molte fabbriche di prefabbricati in Svezia sono situate in aree rurali, spesso con un collegamento a una segheria situata vicino alla fornitura di legname forestale. La localizzazione rurale delle industrie favorisce lo sviluppo di un'etica da parte della forza lavoro a fronte di un impegno per la formazione.

Ciò fornisce una delle condizioni di base per il successo nell'industrializzazione: la stabilità per perfezionare le operazioni unita all'innovazione per rinnovare costantemente il business.

Case prefabbricate svedesi attraverso i decennni – da Prefab Housing and the Future of Building

1940

1950

1960

1970

1980

1990

2000

Ultimamente la tipologia costruttiva a telaio in legno, si è diffusa nell'ambito della prefabbricazione di case multifamiliari. Ciò è stato consentito da una modifica normativa - prima era vietato erigere alloggi di dimensioni superiori a due piani con struttura in legno. Molti dei più grandi produttori svedesi di case unifamiliari stanno ora entrando in questo mercato come conseguenza dell'attuale discussione sull'edilizia sostenibile e rispettosa dell'ambiente. Ciò comporta la costruzione di case con una buona tenuta all'aria, un basso consumo energetico e un'impronta di carbonio ridotta al minimo ed è spinto da un forte sinergia tra l'industria e la comunità di ricerca. Nuove soluzioni vengono sviluppate e testate presso università e istituti di ricerca prima di entrare nel mercato e molti ricercatori svedesi dividono il loro tempo di lavoro tra il mondo accademico e l'industria. Questo sviluppo congiunto è supportato da codici edilizi svedesi (ed europei) che consentono ai progetti di soddisfare requisiti funzionali piuttosto che prescrittivi.

Spetta al fornitore dimostrare che una soluzione soddisfa le richieste, il che guida lo sviluppo di nuove soluzioni. Per l'industria del legno, questo è stato estremamente vantaggioso nel tentativo di portarsi al passo con le industrie dell'acciaio e del calcestruzzo.

Il successo dell'industria edile industrializzata svedese dipende in gran parte da una mentalità cooperativa, in cui l'apprendimento da altri settori è considerato positivo. Le sfide future per l'edilizia industrializzata svedese si trovano nei segmenti di mercato in cui l'adozione di metodi di lavoro industrializzati è bassa, ad esempio la costruzione di ponti e di edifici industriali.
Un'altra sfida futura si trova nella gestione di grandi variazioni nella fase di produzione per supportare la personalizzazione di massa. Per affrontare pienamente un segmento di mercato, i metodi di progettazione e produzione oggi sono o troppo standardizzati o troppo flessibili; la ricerca di questo equilibrio è il passo successivo per l'edilizia industrializzata svedese.

Installazione di un modulo per la costruzione di un edificio pluripiano – da sito web BoKlok (https://www.boklok.co.uk/about-us/Innovation/)

BoKlok (Ikea e Skanska)

BoKlok è una azienda nata dalla collaborazione tra due delle aziende svedesi più grandi e di maggior successo: IKEA e Skanska. L'impegno congiunto del marchio IKEA, diventato il simbolo della democratizzazione del design attraverso la produzione di massa, con il gigante internazionale dell'edilizia Skanska fornisce sufficienti aspettative per sconvolgere il tradizionale settore edilizio. BoKlok ha orientato le sue attenzioni ai mercati chiave ponendosi in evidenza sia per la linearità del design che per il sistema di produzione altamente raffinato e orientato al processo.
Ciò ha consentito a BoKlok di diventare un leader di mercato nella fornitura di alloggi per i lavoratori e di realizzare progetti in tempi molto brevi[3].

Il coinvolgimento di IKEA e Skanska, porta istintivamente a tracciare dei parallelismi con le tecniche di progettazione e produzione di IKEA per i mobili flat-pack. Sebbene i risultati dell'impresa siano stati di grande interesse, i paralleli riportati con gli articoli per la casa IKEA non sono così scontati. BoKlok - 'Boo-clook' per chi non parla svedese - significa letteralmente 'Live Wise – Vivere saggio'. L'idea per l'attività è nata nel 1996, quando Ingvar Kamprad, fondatore di IKEA, ha incontrato Melker Schörling del gigante svedese delle costruzioni Skanska a una fiera immobiliare per discutere di un nuovo approccio all'edilizia abitativa di massa. Insieme si sono impegnati a creare un prodotto abitativo che potesse "fornire case migliori per molti", una visione che riecheggia quella di IKEA e riflette la politica prevalentemente socialdemocratica della Svezia e il precedente "Programma Million Homes".

Il modello di business e i parametri di progettazione sono stati definiti preliminarmente con attenzione per potersi confrontare, dal punto di vista economico, con i tipici impegni di reddito e spesa di una famiglia.

L'ammontare mensile di denaro destinato a spese per la casa, divenne l'obiettivo per il prezzo di BoKlok.
Il primo team di progettazione era composto dall'architetto Gun Ahlström e dall'interior designer di IKEA Madeleine Nobs - che ha introdotto le proprie conoscenze di marketing del cliente e del design - e Inger Olsson, un project manager di Skanska che era esperto nell'implementazione di concetti innovativi all'interno dell'edilizia tradizionale. Il primo progetto è stato realizzato nel 1997 e nel 1998 erano state costruite circa 150 abitazioni. Dal 2010, dopo un decennio di prove del concetto di business, BoKlok ha fatto crescere il business attraverso una maggiore integrazione della catena del valore e decisioni strategiche aziendali più dirette. L'azienda è passata da 30 a 300 dipendenti, mentre il numero di progetti è cresciuto similmente, passando da 300 unità all'anno nel 2010 a oltre 1000 nel 2016.

All'inizio il sistema costruttivo adottato da BoKlok presentava analogie con il concetto di "flat pack" sviluppato da IKEA. Successivamente la produzione si orientò verso una tipologia tridimensionale a graticcio, più familiare ai costruttori di case svedesi.

BoKlok ha tre linee di prodotti. Il **Classic**, il progetto iniziale di BoKlok, si rifà alla tradizione svedese della "dimora standard", con quasi nessuna opzione per la scelta o la personalizzazione del cliente. Il **Flex** offre maggiori possibilità di progettazione per rispondere ai problemi di adeguamento urbanistico, pur seguendo le scelte della clientela. La terza offerta è una **casa a schiera**, che BoKlok offre in due dimensioni. Le possibilità di personalizzazione sono limitate alla scelta del numero di camere da letto, della tipologia del tetto (a due falde o a shed/ad una sola falda) e delle finiture

3 Aitchison, M. (2018). *Prefab Housing and the Future of Building: Product to Process.* Londra: Lund Humphries.

BoKlok linea Classic – da Aitchison, M., Prefab Housing and the future of Building: product to process.

esterne in legno o intonaco.

BoKlok opera in tutta la regione scandinava, adeguando tecnicamente i progetti in risposta ai diversi requisiti normativi ed, in parte, alle tradizioni edilizie locali.
BoKlok ha sviluppato una "struttura base" da utilizzare, con le minori variazioni possibili, in tutti i Paesi di esportazione. Ciò ha portato alla creazione di un prodotto ben costruito, fondamentalmente ben progettato ed a basso costo, che supporta un modello di business altamente trasparente per i propri clienti.

Il modello di business orientato al prodotto di BoKlok, come descritto e analizzato da Jerker Lessing e Staffan Brege[4], si basa sull'avere una forte enfasi sul cliente con un alto livello di controllo della catena di approvvigionamento. Il profilo del cliente immaginato, utilizzato quando BoKlok è stata fondata, è ancora una parte fondamentale del concetto, ma ora c'è una gamma di clienti immaginari che BoKlok rivisita e un modello finanziario per mantenere i vincoli di costo realistici ed attuali. Il controllo di BoKlok sulla sua catena di approvvigionamento ha consentito l'integrazione dello sviluppo del prodotto, delle vendite e della produzione, rafforzata da relazioni a lungo termine con fornitori esterni per fornire una base aziendale stabile.

Le visioni aziendali di IKEA e Skanska enfatizzano la sostenibilità e l'accessibilità.

La piattaforma tecnica di BoKlok si traduce in un'offerta basata su un numero ridotto di tipologie di moduli che possono però essere assemblati secondo svariate combinazioni progettuali. Questo si traduce in un vantaggio per l'azienda, che può presentare una grande quantità di diverse proposte riducendo tempi e costi di sviluppo.

L'industrializzazione dei vari processi coinvolti ha inoltre consentito di ridurre notevolmente i tempi di costruzione, aumentando al contempo la prevedibilità e la standardizzazione. Questo ha posizionato BoKlok tra le aziende con strategie produttive più imitate dai suoi concorrenti. Alcune ditte hanno processi altamente industrializzati, mentre altre cercano alti livelli di standardizzazione del prodotto: la concorrenza raramente mira a entrambi.
L'attenzione ai costi è in gran parte raggiunta attraverso scelte progettuali modeste in un processo chiaramente strutturato e un attento modello di sviluppo del prodotto, nonché attraverso la riduzione degli sprechi e l'efficienza produttiva, che sono state enfatizzate in risposta agli elevati costi di manodopera della Svezia.

Sebbene BoKlok sia stata concepita congiuntamente da IKEA e Skanska, contrariamente a quanto ci si potrebbe aspettare, il coinvolgimento di IKEA non risulta così evidente, al di là della fornitura degli accessori per cucine e bagni. Le linee guida di progettazione sono state determinate da un interior designer di IKEA, ciò nonostante la produzione ricalca maggiormente le tipiche abitazioni "svedesi". La produzione di BoKlok infatti è fortemente basata sulle esperienze di Skanska. Questa attenta sinergia costituisce un'opportunità per lo sviluppo futuro e un potenziale non ancora completamente sfruttato.

BoKlok linea Flex – da Aitchison, M., Prefab Housing and the future of Building: product to process.

Esempio di casa BoKlok, costruita principalmente in legno – da sito web BoKlok: https://www.boklok.co.uk/

Preparazione del cantiere per l'installazione dei moduli tramite gru – da Sito web BoKlok: https://www.boklok.co.uk/about-us/Innovation/

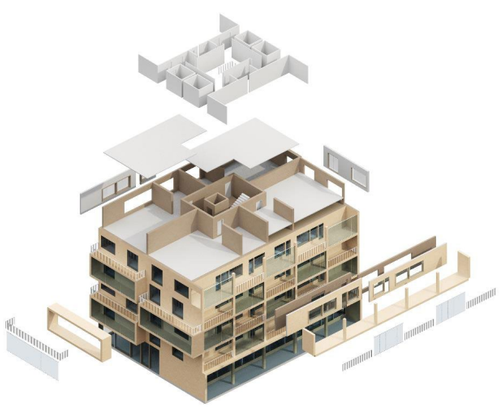
4 Jerker Lessing e Staffan Brege, *Business Models for Product-Oriented House-Building Companies. Experience from two Swedish Case studies,* Construction Innovation 15, n. 4 (October 2015): 449-72.

Stora Enso

Sviluppo

Stora Enso nacque nel 1998 dalla fusione dell'azienda finlandese Enso Oyj e della svedese Stora Kopparbergs Bergslags Aktiebolag. L'azienda è una tra i più importanti produttori di legname al mondo e il più grande fornitore di prodotti in legno a livello europeo, pertanto ha segherie e unità di produzione in tutta Europa.

Esploso assonometrico - simulazione digitale di assemblaggio delle componenti lignee bidimensionali, come pannelli, travi ed elementi parete – da seminario tenuto dall'Ing. Milita di Stora Enso



Materiali

I principali materiali che vengono prodotti da Stora Enso sono il CLT (Cross Laminated Timber), realizzato in due stabilimenti in Austria e in Svezia e l'LVL (LVL laminated veneer lumber) o microlamellare, prodotto solo in Finlandia, con i quali realizza la maggior parte dei prodotti per l'edilizia.

Tutti i pannelli prodotti dall'azienda sono etichettati affinché ci sia esatta corrispondenza non solo nel disegno ma anche con le tempistiche con cui giunge al cantiere. I pannelli vengono trasportati nell'esatto ordine con cui devono essere montati in sito. L'etichettatura comprende il numero di posizione di ogni pannello, il nome della commessa, le dimensioni e anche un codice QR, leggibile con un'app sviluppata internamente, "CLT 360+", che permette di leggere il codice e visualizzare nel modello 3D (salvato nel formato IFC) l'esatta posizione di quel pannello. In cantiere è quindi possibile visualizzare in ogni momento il luogo esatto in cui posizionare l'elemento scansionando il codice sull'etichetta. In questo modo la logistica nel processo di costruzione viene semplificata e si riduce contestualmente la possibilità che si verifichino errori nel montaggio in sito degli elementi.

L'azienda si occupa della produzione di componenti in legno, tra cui anche scale monolitiche realizzate in CLT – da seminario tenuto dall'Ing. Milita di Stora Enso

Strumenti

A supporto dei progettisti, Stora Enso ha sviluppato degli strumenti e servizi digitali per aiutare a costruire in legno; ad esempio la libreria Prodlib è un catalogo online che comprende tutti i componenti edilizi che l'azienda produce e ne fornisce tutti i dati relativi nei formati CAD e BIM.

L'azienda pone grande attenzione all'ambiente e si impegna a migliorare le proprie emissioni di CO2 in tutte le fasi della costruzione, dall'albero alla riduzione di emissioni durante le operazioni che svolge; tutti gli stabilimenti sono alimentati a biomassa, ottenuta dagli scarti di produzione.

Fase di assemblaggio in stabilimento di un modulo tridimensionale in legno – da https://www.storaenso.com/media/documents/download-center/documents/product-brochures/wood-products/se_woodproducts_flagship_2022.pdf

Assemblaggio in stabilimento di componenti tridimensionali, simulazione di montaggio in un modello 3D digitale ed effettiva installazione in cantiere – da https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-brochures/wood-products/se_woodproducts_flagship_2022.pdf?mode=brochure

2.2.3

Ambito europeo
Costruzioni modulari in Polonia

I dati economici relativi al mercato europeo della prefabbricazione collocano la Polonia al 7° posto per quanto riguarda la produzione off-site in calcestruzzo, all'11° posto per quella in ferro e acciaio, mentre risulta non apprezzabile la prefabbricazione in legno.

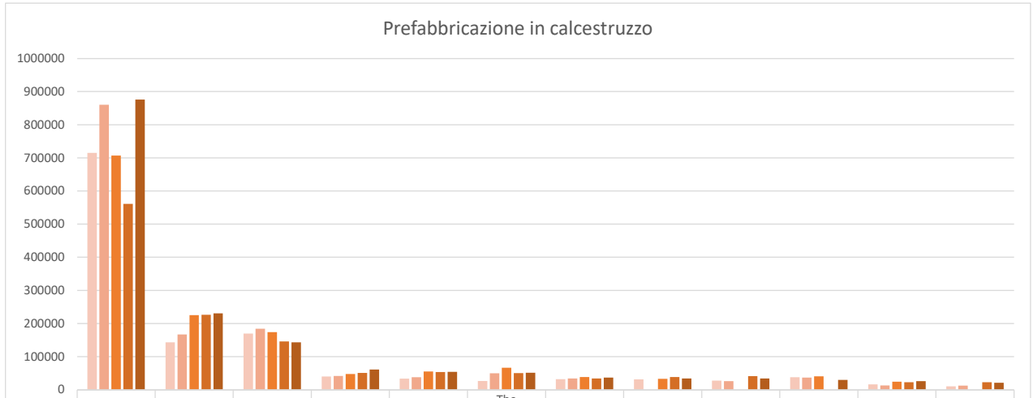
Nel mercato europeo del settore della prefabbricazione edilizia la Polonia non appare in particolare evidenza per il volume di fatturato complessivo, né per dimensioni delle aziende. L'interesse è attribuibile in primo luogo ai ridotti costi di produzione che consentono di compensare le spese per i trasporti, allargando l'area geografica di influenza.
La riduzione dei costi è in parte attribuibile alla particolarità dell'ambito polacco: la realizzazione di moduli off-site è attuata, in genere, con un sistema collaborativo in cui convergono le sinergie di molteplici aziende.

La catena produttiva viene frammentata secondo le peculiarità della lavorazione da attuare e affidate ad aziende partner. Le varie parti componenti vengono poi assemblate dalla ditta che si occupa dell'ultimazione dei moduli e della spedizione ai cantieri.

La legislazione fiscale polacca infatti offre una tassazione sull'income societario al 9%; le aliquote che le società devono allo Stato sono particolarmente basse rispetto al resto dell'Unione Europea. Le piccole e medie imprese in particolare, con fatturato minore a 1,3 milioni di euro, sono tassate al 9% sui propri utili, quindi ricavi meno i costi. Va da sé che nell'universo edilizio della prefabbricazione in Polonia sarà difficile trovare delle grandi aziende con più sedi in tutto il Paese (che pagherebbero invece un'aliquota pari al 19% del proprio utile), quanto piuttosto una costellazione di società minori che sono solite operare in sinergia, suddividendo i compiti relativi alla produzione.
Un altro elemento che può agevolare le imprese polacche è il facile accesso ai fondi europei destinati all'innovazione tecnologica.

Le aziende polacche hanno inoltre piccole dimensioni, molto minori a quelle dei grandi capannoni delle società italiane. Basti pensare al fatto che le italiane WoodBeton opera in un polo distribuito nei tre stabilimenti di Iseo, Corzano e Lograto per una superficie coperta totale di 95000 mq e la ImolaLegno Spa (che si occupa anche di commercializzazione di elementi pre-tagliati) ha un magazzino coperto di 50000 mq.

	Italy	France	The Netherlands	Germany	Spain	Czechia	Portugal	Austria	Romania	Belgium	Poland	Sweden
Serie1	5057221	1957236	1167878	1469309	864017	554459	338965	335168	373380	384632	192275	
Serie2	5621861	2247595	1399551	1536712	1058046	567044	334924	429902	389575	301819	246942	313327
Serie3	5621861	2247595	1399551	1536712	1058046	567044	334924	429902	389575	301819	246942	313327
Serie4	4248095	2441209	1828525	1608420	972708	584135	407975	468333	443103	394875	259048	341942
Serie5	4655302	2353995	1578250	1545344	892217	551969	382348	376189	372810	349804	255511	254589



	Italy	Spain	France	Sweden	Belgium	The Netherlands	Poland	Norway	Austria	Latvia	Czechia	Romania
2016	714957	143271	169821	39884	33405	26697	32179	31212,624	27739	37812	16523	10113
2017	860381	166848	184155	41638	37963	49606	34080	0	25787	36652	13198	12496
2018	707063	225095	173735	47515	55131	66385	38477	33085,074	0	40481	24432	0
2019	561240	226177	146052	50997	53624	50589	33981	38613,86	41188	0	22935	22956
2020	875702	230652	143152	61032	54209	51142	36963	33982	33909	29969	25971	21122

Edilizia off-site: sinergia tra aziende consorziate

In Polonia una legislazione fiscale favorevole supporta lo sviluppo delle piccole aziende. Ditte specializzate nei diversi settori edili si consorziano per formare gruppi produttivi off-site di livello internazionale.

Tra le aziende polacche più conosciute possiamo annoverare DMD Modular e Unihouse.

Unihouse

La sede dell'azienda Unihouse si trova a Bielsk Podlaski, all'estremo est della Polonia; si tratta di una delle più grandi aziende nel settore delle costruzioni modulari sul mercato europeo ed è attiva con realizzazioni in Norvegia, Danimarca e Svezia, oltre che nella stessa Polonia.

società di costruzioni Unibep articola la propria attività su cinque segmenti di mercato, tra cui appalti generali, costruzione industriale, general contracting nell'edilizia commerciale per il mercato estero e sviluppo immobiliare. Il gruppo Unihouse si occupa di uno di questi segmenti di mercato e, nello specifico, della produzione di pannelli e moduli in legno per la costruzione e l'assemblaggio di edifici plurifamiliari e strutture di pubblica utilità.

Processo produttivo

Lo stabilimento di Bielsk Podlaski si avvale di tecnologie avanzate per la realizzazione di edifici fino a 6 piani. È dotato di linee di produzione completamente computerizzate che permettono di creare con precisione qualsiasi progetto ricevuto, grazie ai propri macchinari. L'intero processo di assemblaggio dei moduli residenziali si svolge nel capannone di produzione, da dove i moduli o i pannelli completati vengono trasportati al cantiere. La fabbrica comprende anche un reparto di falegnameria che crea manufatti sia per la fabbrica stessa che per clienti esterni.

Unihouse, vista dello stabilimento – dal sito https://unihouse.pl/

Gestione

L'azienda Unihouse è uno dei membri del più grande Unibep SA, storico gruppo polacco che opera in diversi settori dell'industria delle costruzioni. Lavora come appaltatore generale in Polonia ma anche all'estero e fornisce un'ampia varietà di servizi. La grande

I moduli abitativi Unihouse vengono completamente rifiniti in stabilimento, dal quale escono già dotati di illuminazione, arredo bagno e cucina, oltre a sanitari ed elettrodomestici. Un singolo modulo può essere sia parte di un progetto che ne comprende molti, sia una vera e propria abitazione a sé stante. La dimensione standard non supera i 14 metri di lunghezza e i 4.2 di larghezza, ma è possibile combinare due moduli per ottenere superfici maggiori. A causa delle loro dimensioni, il trasporto viene organizzato di notte, mentre in cantiere vengono montati l'uno sull'altro tramite una gru.

La tecnologia modulare prefabbricata è ancora una novità in Polonia e Unihouse si considera un pioniere in questo ambito. L'azienda si è specializzata nella produzione di moduli che utilizzano la tecnologia del telaio ligneo, tecnica molto utilizzata nei Paesi scandinavi, così come in Germania e Austria. La struttura portante è quindi un telaio in legno, riempito con lana di roccia che funge da isolante; internamente è rivestito da pannelli in cartongesso, che possono essere lasciati a vista o fungere da supporto per rivestimenti di altro tipo, ad esempio piastrelle, per locali come bagni e cucine.

Il principale vantaggio degli edifici modulari è il loro tempo di costruzione: non ci vogliono più di 6 mesi dalla fase di progettazione all'effettiva realizzazione dell'edificio. Unihouse pone particolare attenzione ai moduli che produce: lo stabilimento collabora infatti con l'Università tecnica di Białystok, che testa i moduli per quanto riguarda rumore e tenuta in modo che siano conformi agli standard acustici e di isolamento termico.

Stabilimento Unihouse, fase di costruzione di moduli tridimensionali – dal sito https://unihouse.pl/

Fasi del processo costruttivo

1. Progettazione con il BIM
   Gli ingegneri e gli architetti progettano a partire dalle soluzioni proposte a catalogo dall'azienda stessa. Unihouse ha infatti un catalogo di prodotti BIM che può produrre ed utilizzare all'interno dei moduli prodotti. In questa fase vengono prese in considerazione le esigenze del committente del progetto e degli utenti futuri.
2. Produzione di pavimenti e soffitti
   L'azienda inizia la produzione dai pavimenti e dai soffitti, all'interno dei quali vengono subito installati tutti gli impianti necessari all'uso quotidiano di un appartamento.
3. Creazione dei muri
   Gli elementi in legno che compongono i muri vengono tagliati secondo il progetto, poi su un apposito "tavolo" di produzione sono assemblati tra loro e vengono praticati i fori nei quali dovranno passare gli impianti. L'interno delle pareti lignee è riempito con lana minerale, ad esempio la lana di roccia, affinché l'insieme risulti conforme ai requisiti acustici e antincendio.
4. Assemblaggio dei moduli
   Dopo che pavimenti, pareti e soffitti sono stati realizzati separatamente, ogni modulo viene assemblato seguendo nel dettaglio il proprio progetto. Diversi tecnici specializzati installano gli impianti necessari (elettrico, di ventilazione, riscaldamento) ed elementi come radiatori, porte, finestre e altre attrezzature necessarie.
5. Lavori di rifinitura
   Una volta assemblati tutti i servizi, vanno effettuati i lavori di finitura. Pareti e soffitti sono tinteggiati e vengono posate piastrelle e pavimenti in parquet o cotto; le finiture seguiranno le richieste del committente.
6. Montaggio di mobili da cucina e sanitari
   I moduli sono completamente attrezzati con mobili da cucina ed elettrodomestici. Il cliente può scegliere una serie e un colore per i mobili da cucina e i sanitari (cabine doccia, lavabi, piastrelle smaltate, terracotta e altro).
7. Trasporto dei moduli finiti
   I moduli assemblati, finiti e attrezzati vengono trasportati su camion e, se necessario, via nave al cantiere.
8. Assemblaggio di moduli in cantiere
   Quando i moduli arrivano in cantiere, vengono assemblati direttamente, uno sopra l'altro, con l'utilizzo di una gru e poi uniti tra loro per formare la struttura dell'edificio.
9. Risultato finale
   I moduli vengono assemblati e gli edifici sono pronti "chiavi in mano".

Stabilimento Unihouse, fase di allestimento di un modulo – dal sito dell'azienda https://unihouse.pl/

Edificio: Residenze Grilstad Park
Località: Trondheim, Norvegia
Produttore moduli prefabbricati: Unihouse

Stabilimento Unihouse, modulo prefabbricato in fase di allestimento – dal sito https://unihouse.pl/

DMD Modular

La DMDmodular è localizzata a Skawina, una città situata pochi chilometri a sud di Cracovia, in Polonia. Gli stabilimenti sono costituiti da un moderno impianto di 11500 metri quadrati, progettato e realizzato appositamente per la produzione off-site.
La produttività dell'azienda è stimata in 150 moduli al mese, completamente finiti ed arredati.

Le modalità operative proposte hanno portato a far conoscere l'azienda sul mercato internazionale; esporta infatti normalmente in Germania, Austria, Olanda, Gran Bretagna e Stati Uniti.

Edificio: Ampliamento hotel BFC
Località: Sochocin, Polonia
Produttore moduli prefabbricati: DMD Modular

Edificio: Residenze per studenti
Località: Sion, Svizzera
Produttore moduli prefabbricati: DMD Modular

L'azienda DMDmodular utilizza la tecnologia costruttiva a telaio modulare in acciaio per la creazione dei moduli.

Fasi finali di produzione di un modulo in stabilimento prima del trasporto al cantiere – dalla pagina Instagram dmdmodular

Fase di montaggio in cantiere – dalla pagina Instagram dmdmodular

2.3

Ambito giapponese

Sicurezza sismica off-site e derivazioni dall'automotive

Il forte ruolo del Giappone nel settore dell'edilizia prefabbricata è emerso come risposta alla Seconda Guerra mondiale; dal 1964 il governo promuove lo sviluppo, la ricerca e la formazione di standard industriali.
La necessità di costruire nuove case legata alla frequenza dei terremoti e relativa necessità di rinnovare in breve tempo il patrimonio edilizio ha portato ad una larga diffusione del prefabbricato in Giappone.
La particolare attenzione alla sicurezza sismica da parte della popolazione ha contribuito a far percepire il passaggio dall'architettura costruita in modo tradizionale ad una di tipo prefabbricato come un naturale adattamento alle nuove tecnologie in favore della adeguatezza strutturale.

La nascita delle società costruttrici di abitazioni prefabbricate

Il forte ruolo che ha il Giappone nel settore dell'industria dell'edilizia abitativa prefabbricata è nato in risposta agli effetti della Seconda Guerra Mondiale.
Alla fine della guerra, nel 1945, 2.3 milioni di case in più di cento città erano state rase al suolo e sussisteva una totale carenza di alloggi in tutta la nazione.
La ricostruzione fu lenta e complessa: l'economia era traballante, la manodopera e la disponibilità di materiali erano scarse e le catene di approvvigionamento erano inesistenti. Il settore iniziò un lento miglioramento a partire dagli anni '50, grazie alla domanda economica globale causata dalla guerra di Corea.
Fu in quegli anni subito dopo la Seconda Guerra Mondiale che nacquero molte delle principali "hausumēkā", termine che in giapponese indica le società che costruiscono abitazioni off-site. Alcune di queste sono attive ancora oggi, sebbene con un mercato più esteso e globalizzato.

Si può affermare che l'industria dell'edilizia prefabbricata giapponese sia iniziata nel 1955, quando la Daiwa House Industry Co. Ltd ha ideato e realizzato la Pipe House, la prima abitazione prefabbricata del Giappone. Certificata ufficialmente pochi anni dopo, ha aperto la strada alla produzione in serie della prima unità abitativa, chiamata Midget House.
La missione aziendale di Daiwa House Industry è da sempre quella di contribuire all'"industrializzazione delle costruzioni"; si avvale di subappaltatori preselezionati, che costruiscono sotto la supervisione di un loro sovrintendente e ha una salda tradizione alle spalle, che ha permesso all'azienda di fornire, dalla propria fondazione ai giorni nostri, oltre 1,83 milioni di residenze tra case unifamiliari e condomini e oltre 44.000 strutture commerciali.

Il successo della commercializzazione dei modelli di Midget House nei primi anni '60 ha spronato sia le imprese che il governo a riconoscere i vantaggi della prefabbricazione in termini di produttività e valorizzarne l'immagine pubblica.
Sorsero così molte società: PanaHome iniziò a produrre case prefabbricate nel 1959, Sekisui House nel 1960 e Misawa Homes nel 1962. Quest'ultima si occupa di strutture in legno che utilizzano tecnologie più semplici, pertanto vende kit a rivenditori o a costruttori indipendenti.

La Housing Loan Corporation (Società di prestito immobiliare) del governo giapponese sostenne l'utilizzo del prefabbricato con tassi di prestito agevolati. La vendita di case prefabbricate aumentò vertiginosamente fino a decuplicarsi in tre anni, da 5.000 unità nel 1962 a 50.530 nel 1965.
Questa grandiosa e progressiva diffusione del prefabbricato non si arrestò in quegli anni; al 1970 il Giappone contava 137.300 abitazioni prefabbricate.

La grande ascesa che hanno avuto le società di abitazioni prefabbricate è stata in larga parte sostenuta dall'emergere di altre industrie manifatturiere giapponesi, prime tra tutte l'elettronica di consumo e l'automotive. È da queste due tipologie di industrie che derivano molte tecnologie e tecniche rivelatisi utili anche per il campo residenziale, come la "lean production" o produzione snella, che ha contribuito a rendere l'edilizia prefabbricata giapponese una delle industrie più organizzativamente e tecnologicamente avanzate al mondo.

Con il boom della domanda residenziale scesero in campo altre aziende: Sekisui Heim (un'entità aziendale separata da Sekisui House) espose il suo primo modello nel 1970; Asahi Kasei iniziò a commercializzare la Hebel House nel 1972 e nel 1975 Toyota Motors, consapevole che i principali produttori di case basavano la loro produzione su strategie adottate dall'industria automobilistica (e in particolare dalla stessa Toyota), iniziò anche a produrre abitazioni.

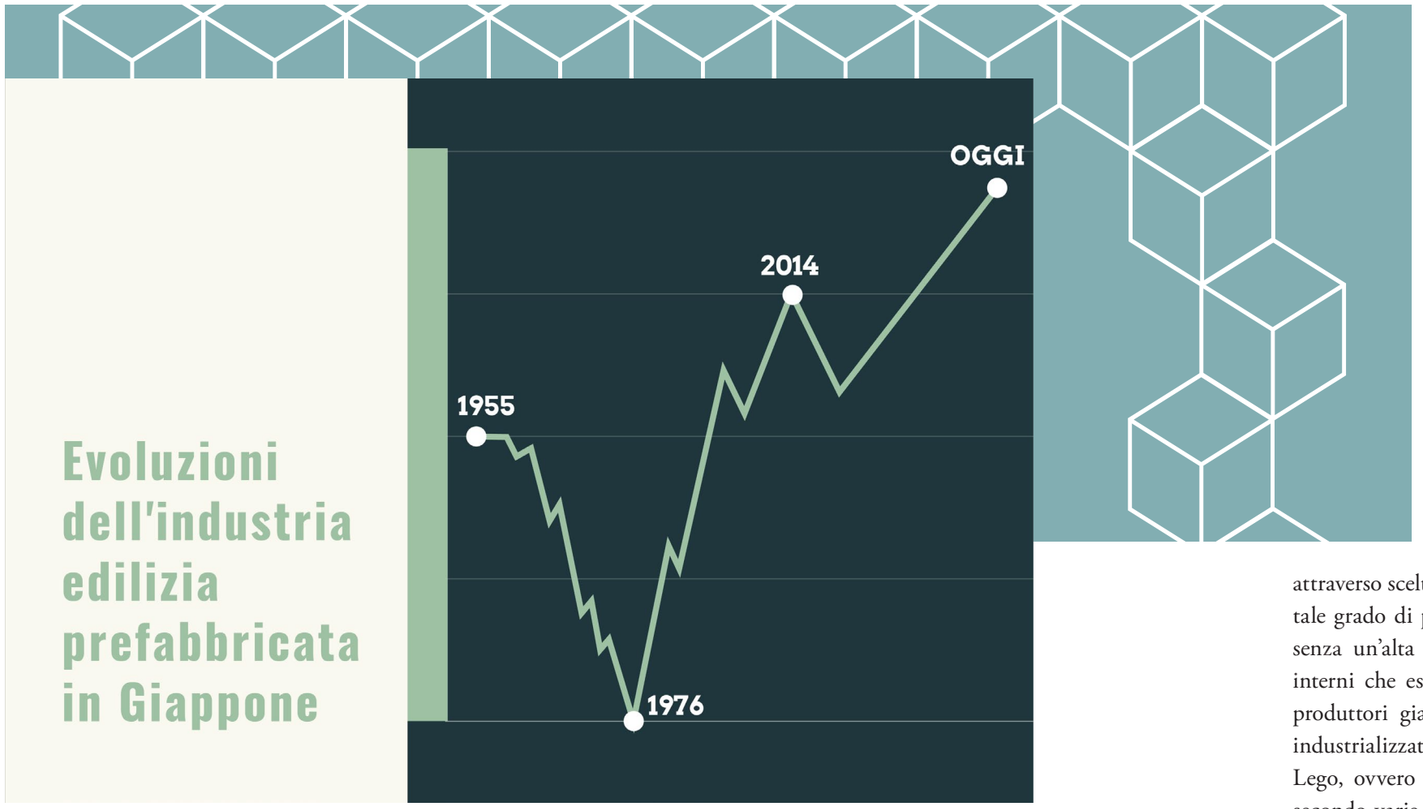
Immagine della Midget House – da Smith, R. E., & Quale, J. D. (2017). Offsite architecture. Constructing the future. Abingdon, Oxfordshire e New York: Routledge, Taylor & Francis Group

Lo sviluppo di un approccio verso la qualità

Un tempo le abitazioni prefabbricate erano in competizione con le architetture tradizionali grazie al fatto che la loro produzione era più dinamica e permettevano per questo un risparmio sui costi; a partire dagli anni ’70 l’industria del prefabbricato ha iniziato a competere anche sul piano della qualità.
Uno dei punti di forza che ha permesso all’industria dell'edilizia prefabbricata giapponese di prendere piede è stata la trasformazione della sua reputazione nel paese, passando dall'essere vista come fornitore di case di bassa qualità alla fornitura di un prodotto premium. Inizialmente infatti i produttori dovettero affrontare molte difficoltà, inclusi problemi con regolamenti edilizi severi, sindacati locali, perplessità delle banche e scarse impressioni dei consumatori.

Le unità monotone e squadrate risultanti non erano popolari o ben considerate.
Per accrescere la propria credibilità, i produttori di alloggi prefabbricati hanno man mano sviluppato un approccio orientato alla qualità, che ha coniugato metodi di produzione efficienti con tecniche di marketing e comunicazione appositamente sviluppate. Questa nuova strategia ha permesso loro di soddisfare i bisogni e le richieste abitative locali, fornendo anche una rinnovata immagine di qualità abitativa, che puntasse alle esigenze e aspettative dei consumatori.

Il cambiamento verso una migliore qualità dei prodotti fu incoraggiato anche dallo stesso governo, che nel 1976 indisse anche un concorso che permettesse ai produttori di case prefabbricate di dimostrare al proprio pubblico che un alloggio industrializzato non era e non doveva essere sinonimo di scarsa cura e qualità.



Evoluzioni nel tempo dell'industria edilizia prefabbricata in Giappone – elaborazione grafica a cura di F. Muratore

Da allora, i produttori di alloggi giapponesi hanno continuamente migliorato il design e le prestazioni dei loro prodotti, ottenendo standard qualitativi anche maggiori rispetto ai minimi richiesti dai regolamenti edilizi.

Queste politiche economiche nate a metà degli anni ’70 del Novecento hanno contribuito alla proliferazione di oligopoli; alcuni sono ancora attivi e dominano il campo delle costruzioni. Gli otto maggiori produttori di alloggi attualmente sono: Sekisui House, Asahi Kasei Homes, Sekisui Heim, Daiwa House, Misawa Homes, PanaHome, Mitsui Home e Toyota.

Il cambiamento e l'approccio alla customizzazione

Lo sviluppo di questo nuovo approccio orientato alla qualità ha portato ad una personalizzazione di massa.
Se inizialmente la prefabbricazione era sinonimo di standardizzazione di parti, componenti o intere unità, il passaggio ad un nuovo modo di intendere la prefabbricazione ha introdotto la customizzazione, grazie alla quale l'utente finale è in grado di determinare direttamente la configurazione del proprio alloggio attraverso scelte effettuate in fase di progettazione. Un tale grado di personalizzazione non sarebbe attuabile senza un’alta standardizzazione dei componenti, sia interni che esterni e comprese le parti strutturali. I produttori giapponesi hanno pensato i componenti industrializzati da loro prodotti come dei mattoncini Lego, ovvero dei mattoncini semplici e componibili secondo varie configurazioni, siccome modulari. Allo stesso modo, i clienti possono combinare le varie componenti per progettare la propria abitazione.

Le aziende leaders del settore cercano di sviluppare la consapevolezza del proprio marchio anche attraverso la differenziazione del prodotto che offrono. Molte delle personalizzazioni attuabili sono poco impattanti, così come accade per le automobili, sia in termini di estensione che di costi.
Tuttavia, a livello di casa nella sua totalità, ogni azienda ha sviluppato un catalogo limitato di potenziali varianti, raggruppate per analogie, e con un prezzo che riflette le dimensioni e la complessità.

Il grado di personalizzazione varia molto anche da un’azienda all’altra. Tra i leader giapponesi del settore, Sekisui House offre la massima flessibilità e numero di modelli.

Oggi: alloggi prefabbricati sinonimo di qualità

Le case prefabbricate sono oggi sempre più spesso dotate delle più nuove tecnologie, come ad esempio i sensori di rilevamento del monossido di carbonio, e trovano ampio consenso nella fascia alta del mercato immobiliare. Il costo delle residenze costruite off-site è infatti di circa l'8 percento superiore a quello di case comparabili realizzate tradizionalmente. L’industria dell’edilizia prefabbricata gode attualmente di un’alta considerazione ed è in grado di fornire prodotti premium ai propri clienti. Nonostante l'aumento dei costi associati alla ricerca di una produzione orientata alla qualità, i produttori hanno mantenuto una reputazione positiva per le loro innovazioni, attraverso un marketing e una comunicazione efficaci[1].

Secondo ricerche condotte dalla JPA (Japan Prefab Construction Suppliers & Manufacturers Association) nel 2014 infatti, il fattore che più influenza le decisioni degli acquirenti di abitazioni prefabbricate è proprio l’affidabilità dell’azienda.
In Giappone la qualità abitativa risulta essere la massima priorità e spesso i consumatori sono disposti ad acquistare una casa prefabbricata, nonostante il prezzo di poco maggiore, se sono convinti della

1 Aitchison, M. (2018). *Prefab Housing and the Future of Building: Product to Process*. Londra: Lund Humphries.

superiorità del prodotto e dell'azienda.

Anche per questo motivo, sempre più spesso le factory produttrici di edilizia prefabbricata investono molto nella pubblicità e nel marketing, nonostante i costi estremamente alti. Una percentuale relativamente alta del loro reddito annuo viene messa a disposizione per questo tipo di campagne pubblicitarie, che interessano il web, i media e giornali locali, opuscoli, ma soprattutto le presentazioni presso grandi aziende, che sono in grado di portare nuovi clienti. Nonostante i grandi vantaggi provenienti dalla pubblicità in rete, si avverte la mancanza di uno strumento utilizzabile online che permetta ai committenti di esplorare il modello attraverso tutte le variazioni applicabili e che potrebbe favorire la domanda di personalizzazione; potrebbe essere un dispositivo utile a contrastare l'appiattimento della differenziazione dell'edilizia residenziale.

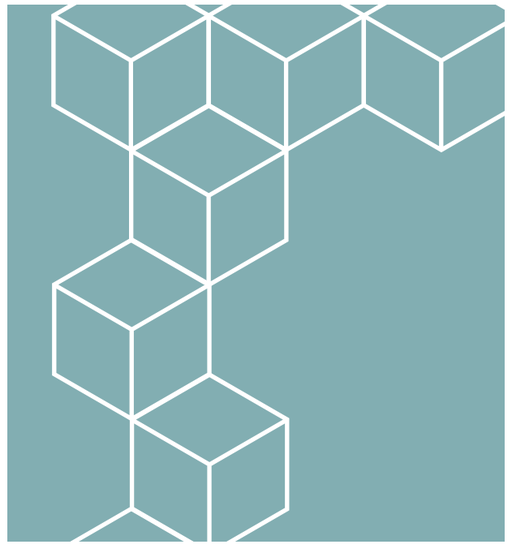
Alcune aziende produttrici giapponesi, forti dell'alta qualità dei loro prodotti, offrono programmi di manutenzione o garanzie come servizi aggiuntivi. Ad esempio PanaHome offre un "Aftercare Service" della durata di 2 anni e un supporto di manutenzione che si può estendere fino ai sessanta anni successivi alla costruzione. I clienti della società possono ricevere anche supporti di altro tipo, come fondi di soccorso dopo calamità naturali e sconti per altri servizi.

Per ottenere maggior visibilità ed autorità, alcune società leader del settore dell'edilizia prefabbricata commissionano progetti ad architetti di tutto rispetto. Negli anni '80, Sekisui House commissionò una stecca di case a Toyo Itō, Kunihiko Hayakawa e Itsuko Hasegawa. Furono costruite sfruttando le ultime tecnologie presenti sul mercato e utilizzando il sistema strutturale aziendale con una cassaforma per calcestruzzo brevettata che fissava un modulo di 500 mm. Così come gli architetti, anche le aziende del prefabbricato mirano al riconoscimento dell'alta qualità che offrono; il Good Design Award è stato conferito negli anni a numerose case costruite off-site: PanaHome (nel 1994 e nel 2009), Sekisui House (nel 2004 e nel 2007) e MUJI, un'azienda concorrente relativamente giovane, ne ha ricevuti tre per i suoi prodotti, primo tra tutti la Window House disegnata da Kengo Kuma.

Ogni società cerca anche di differenziare la propria offerta sfruttando la tecnologia: PanaHome lega la sua firma a prodotti come rubinetti a sensori nei bagni; Toyota, mettendo in evidenza l'analogia tra l'industria automobilistica e quella delle abitazioni prefabbricate, di recente ha lanciato una casa sperimentale che può essere temporaneamente alimentata da un'auto elettrica o ibrida con plug-in per garantire il comfort anche in caso di disservizi.

L'attenzione alla sicurezza sismica

Il Giappone è uno dei Paesi più sismicamente attivi; la necessità di costruire nuove case legata alla frequenza dei terremoti e relativa necessità di rinnovare in beve tempo il patrimonio edilizio ha quindi portato ad una larga diffusione del prefabbricato in Giappone.



Per questo motivo gli studi sulle abitazioni si sono susseguiti numerosi e ad oggi le abitazioni prefabbricate giapponesi tendono ad essere molto robuste, se non addirittura sovradimensionate strutturalmente. La letteratura tecnica a riguardo mostra test sismici effettuati su appositi tavoli vibranti e componenti strutturali prevalentemente tozze; dai produttori viene inoltre sottolineata la durata e resistenza di queste case ad agenti atmosferici e le alte prestazioni ottenute in caso di tifoni e disastri ambientali.

Dal punto di vista della popolazione il passaggio dall'architettura costruita in modo tradizionale ad una di tipo prefabbricato è stato visto come un naturale adattamento alle nuove tecnologie. La modularità infatti non è da ricercare solamente nelle costruzioni odierne. L'architettura tradizionale giapponese già si basava sull'utilizzo di un modulo, il *tatami*, che misurava circa un metro per due metri, e lo *tsubo*, delle dimensioni di due tatami. Questa originaria attenzione al modulo, inteso come misura, potrebbe avere reso il passaggio all'architettura modulare prefabbricata più lineare ed accettato.

Approcci alla produzione

L'industria immobiliare prefabbricata giapponese ha avuto fin dall'inizio un background favorevole per la sua nascita e sviluppo: sostegno da parte del governo, grandi partner industriali, forte domanda di mercato e poca resistenza da parte dei costruttori concorrenti che lavorano on site. Le aziende leader del settore sono insolitamente longeve, fondate tra il 1955 e il 1975.
I finanziamenti internazionali e i sussidi governativi hanno anche permesso loro di perseguire l'automazione fin dall'inizio; le linee di produzione riescono a produrre ad un ritmo compreso tra una e quattro case per dipendente a tempo pieno all'anno. Gli alloggi fabbricati sono dotati di garanzie, accesso ai servizi e nuovi componenti che consentono alle case di essere tecnologicamente aggiornate per molti decenni; la longevità dell'azienda inoltre rafforza la fiducia dei consumatori in prodotti a lungo termine, così come i contratti di manutenzione.

La scelta che ogni azienda fa riguardo ai materiali usati per la produzione di moduli prefabbricati ha un grosso impatto dalla produzione fino all'installazione degli stessi in cantiere. Un esempio è dato dalle case realizzate dalla Asahi Kasei, che usano il caratteristico cemento autoclavato, una tecnologia costosa che coinvolge un grande forno, e per le quali la produzione è quindi limitata ad un unico stabilimento.
Anche il peso ed il volume di ciascuna unità immobiliare limita il territorio di vendita: le aziende concorrenti che producono moduli più leggeri riescono a commerciare facilmente con tutta la nazione, mentre prodotti più voluminosi e pesanti sono più onerosi e difficili da fare giungere all'altro capo del Paese.

La domanda di abitazioni costruite in fabbrica si indebolisce man mano che ci si allontana dagli impianti: è molto bassa ad Hokkaido e Okinawa (all'estremo nord e sud). La domanda è anche un po' più bassa lungo la costa occidentale, che non è così ben collegata dalle principali vie di trasporto, siccome autostrade e linee ferroviarie sono più sviluppate sulla costa orientale del Giappone.

Due esempi: le maggiori società di edilizia prefabbricata giapponesi

In Giappone molte delle grandi società di costruzioni edili prefabbricate sono nate come divisioni di grandi aziende, attive soprattutto nel settore dell'automotive. Se si pensa alle 5 più grandi factories giapponesi del prefabbricato, quattro di loro sono precedenti divisioni di grosse aziende; una fra tutte la Panasonic Homes Co., Ltd., fondata nel 1963 a partire dall'attuale Panasonic Corporation, ma hanno divisioni che si occupano di edilizia anche Mitsubishi, Honda e Toyota.

Proprio quest'ultima costituisce uno degli esempi più noti nel panorama dell'edilizia prefabbricata giapponese.

Toyota Homes

Sviluppo (nascita divisione Case)

L'avventura della divisione edilizia di Toyota iniziò a causa del forte desiderio del suo fondatore, Eiji Toyoda, di fornire case migliori per le famiglie in Giappone. Aveva infatti seguito con interesse le sperimentazioni di Ford di una rivoluzionaria gestione del lavoro, che necessitava di manodopera più specializzata ma permetteva un significativo risparmio sui tempi di produzione e un conseguente accrescimento dei profitti.

Dopo una visita agli stabilimenti statunitensi Ford negli anni Cinquanta, il presidente della Toyota, Eiji Toyoda, insieme a Taiichi Ohno, iniziò a sviluppare ulteriormente i metodi di produzione di Henry Ford. Erano rimasti molto colpiti dalla produzione totale dell'impianto, che superava di molto quella dell'allora piccola azienda Toyota.

Decisero quindi di introdurre nella propria fabbrica automobilistica in Giappone i metodi di produzione di massa statunitensi, apportando però numerosi miglioramenti per ottimizzare i processi aziendali incrementando la produttività e riducendo gli sprechi in termini di impegno, materiali e tempo riscontrati da Toyoda durante la sua permanenza negli stabilimenti Ford.
Uno degli obiettivi era quindi semplificare il sistema produttivo unendo alcuni vantaggi del lavoro artigianale con quelli della produzione di massa, ma evitando alti costi di artigianato e rigidità dei sistemi di fabbrica.

Toyoda, grazie alla consulenza di Taiichi Ohno inventa, ad esempio, il sistema Kanban per la reintegrazione delle scorte mano a mano che vengono consumate. Il sistema di produzione messo a punto da Toyoda adottava un approccio diverso rispetto a Ford e mirava a superare i limiti della produzione di massa da lui sviluppata. Il sistema di produzione Toyota (o Toyota Production System) riduceva gli sprechi e i tempi di lavorazione dei componenti, evitando anche lo stoccaggio ed il trasporto.

Una casa Toyota della linea Sincé – dal sito web di Toyota home (https://www.toyotahome.co.jp/chumon/technology/since/skeleton/)

Fu ribattezzato poi "lean production" o "produzione snella" e permetteva una gestione molto più efficiente e flessibile dell'intero processo di produzione; impiegava team di lavoratori multi-qualificati a tutti i livelli dell'organizzazione e macchine automatizzate altamente flessibili che permettevano la realizzazione di una grande varietà di prodotti.

Produzione

L'esperienza manifatturiera di Toyota ha consentito di creare e mantenere nel tempo un efficiente metodo di produzione che facilita la realizzazione di una grande varietà di diversi tipi di prodotti, situazione ottimale per essere competitivi nel settore edile, spesso vincolato a bassi volumi di produzione in serie.

Il sistema di produzione adottato da Toyota, la lean production, ha permesso all'azienda di diventare leader nel settore immobiliare, con realizzazioni di alta qualità.
L'aggettivo "snella" deriverebbe dal fatto che le quantità di materie prime, di manodopera, di strumenti, nonché di spazio di lavorazione erano nettamente inferiori rispetto alla produzione di massa americana. I prodotti finali potevano essere realizzati con una maggiore precisione e qualità e con una maggiore varietà, che soddisfacesse le diverse esigenze.

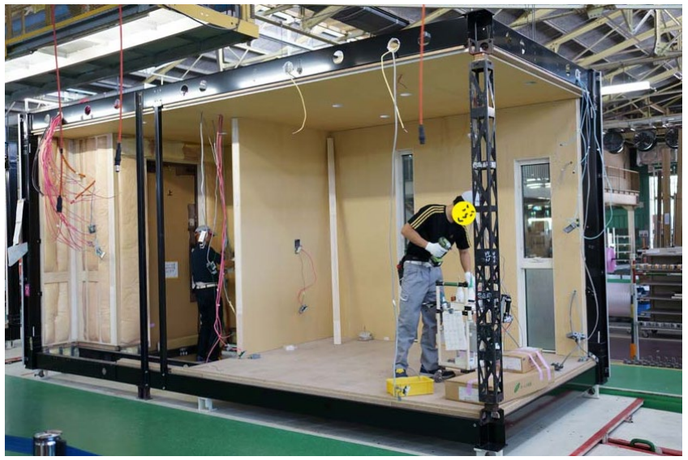
Vista interna di un'abitazione Sincé – dal sito web di Toyota homes, linea Sincé https://www.toyotahome.co.jp/chumon/brand/

Casa Toyota tipologia Sincé – dal sito web di Toyota home (https://www.toyotahome.co.jp/chumon/technology/since/skeleton/)

Modello di un'abitazione Sincé, della quale è evidenziata la struttura – dal sito web di Toyota homes, linea Sincé https://www.toyotahome.co.jp/chumon/brand/

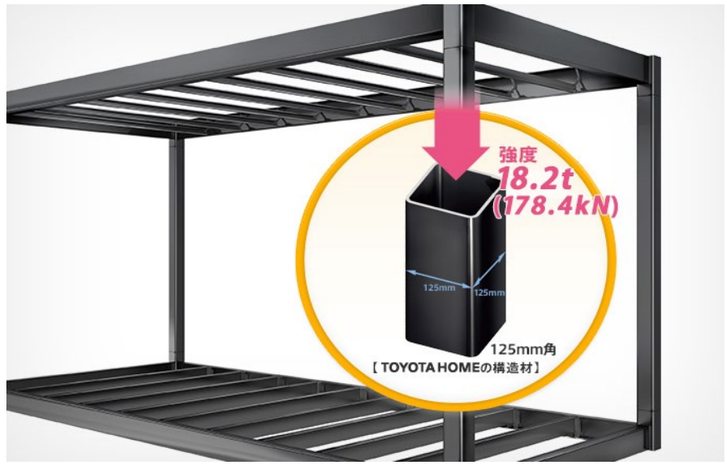
Approccio - diverse linee in acciaio e legno

La divisione Housing di Toyota Motor Corporation è stata fondata nel 1975 e ha iniziato la produzione di case come sfida per trovare nuove applicazioni per la tecnologia di produzione già adottata per il settore automotive.



Fase della lavorazione di un modulo presso l'azienda Toyota home – da https://constructionphysics.substack.com/p/toyotas-prefab-homes?s=r

Toyota offre anche la linea di case Espacio, costruite utilizzando un telaio in acciaio di grosso spessore e sono caratterizzate da un muro perimetrale ad alta resistenza al fuoco.



Telaio strutturale di un modulo che compone una casa Toyota della linea Sincé – dal sito web di Toyota home (https://www.toyotahome.co.jp/chumon/technology/since/skeleton/)

Dal 1977 Toyota Home ha gradualmente perfezionato la sua offerta di prodotti e aumentato il volume delle proprie vendite; ad oggi offre tre diverse linee di abitazioni prefabbricate.

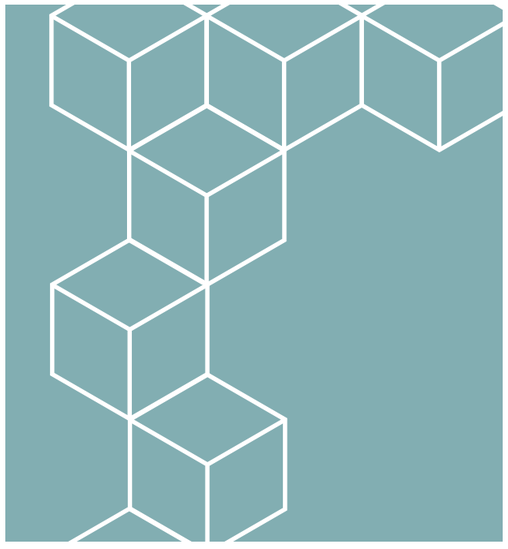
La Sincé è una linea di case prefabbricate con telaio spaziale rigido in acciaio, in cui colonne e travi sono assicurate saldamente tra loro.
L'acciaio utilizzato per il telaio ha uno spessore di 3,2 mm; ogni pilastro, di 125 mm di lato, può supportare un peso di 178,4 kN.
I giunti trave-pilastro sono rinforzati con piastre anti-deformazione che li rendono 35 volte più resistenti e garantiscono un elevato grado di resistenza sismica, evitando deformazioni e cedimenti strutturali.

Modello di un'abitazione Sincé, della quale è evidenziata la struttura – dal sito web di Toyota home, linea Sincé https://www.toyotahome.co.jp/chumon/brand/

In entrambi i modelli di abitazione, la robusta struttura spaziale in acciaio sviluppata da Toyota viene combinata con un dispositivo di controllo delle vibrazioni, chiamato "T4 System", indispensabile in un paese come il Giappone, soggetto ad eventi sismici.

Il sistema ha prestazioni affidabili sia in caso di grandi terremoti che ripetute scosse di assestamento, dimostrato tramite esperimenti che hanno simulato i più grandi terremoti mai verificatesi, come quello di Hyogo-ken Nanbu del 1995, che ha avuto un'intensità sismica pari a 7 gradi della scala Shindo dell'Agenzia Meteorologica Giapponese.

L'installazione di questo dispositivo nelle strutture Toyota home permetterebbe di ridurre la deformazione dell'edificio e relativi danni alla struttura, sia all'interno che all'esterno. Il sistema di smorzamento T4 deriva direttamente dalle conoscenze di Toyota nel campo automobilistico. Il suo funzionamento è infatti assimilabile a quello degli ammortizzatori utilizzati nelle automobili che convertono l'energia in movimento rotatorio: nel dispositivo T4 l'energia sismica viene assorbita dall'olio interno al T4 per attutire le spinte e ridurre la quantità di deformazione dell'edificio fino al 70%.



Il numero di sistemi T4 installati nella struttura di un'abitazione dipende dalle specifiche, le dimensioni e la forma del progetto.

La creazione più recente della divisione housing di Toyota è costituita da Mokua, una linea di case con struttura in legno, costruita secondo un sistema modulare 2x4: contrariamente alla tradizione giapponese, che vede circa l'80% delle case con un sistema costruttivo di tipo trave-pilastro, queste abitazioni sono costituite da pareti modulari.

L'assemblaggio deve avvenire in maniera più accurata, ma si ottiene una forte resistenza a terremoti e un buon isolamento termico.

La linea Mokua si propone come soluzione pregiata, che offre grandi spazi di qualità e uno stile di vita più vicino alla natura, con uso di legni accuratamente selezionati. La struttura principale è una struttura ibrida (composita) di legno ingegnerizzato e legname segato. Un esame delle prestazioni abitative delle case di questa linea ha premiato la serie Mokua per l'alto grado di stabilità strutturale, le prestazioni termiche e la qualità dei materiali che permette un deterioramento più lento rispetto agli standard.

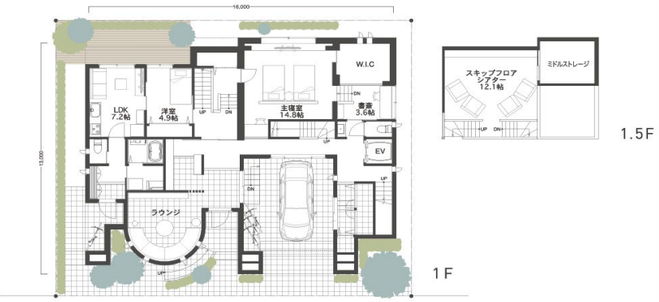
Particolare del funzionamento del sistema antisismico integrato nel telaio in acciaio dei moduli realizzati per le case Toyota Sincé – dal sito web di Toyota home, linea Sincé (https://www.toyotahome.co.jp/chumon/technology/since/resistant/)

<u>Marketing (simile all'automotive)</u>

Il marketing che Toyota Home mette in atto per la diffusione delle proprie case, prime tra tutte la linea Sincé, ricorda molto quello fatto per le automobili. Viene data molta importanza a sicurezza e qualità e i clienti possono recarsi a toccare con mano i modelli che l'azienda mette in esposizione.
Molte risorse sono investite anche e soprattutto per le campagne marketing online, dai video su piattaforma al sito internet dedicato, che mostra come le loro linee di edilizia prefabbricata siano realizzate in modo veloce, preciso e con poca manodopera e siano al contempo lussuose ma molto flessibili nella disposizione interna degli ambienti.

Esempi di abitazioni Toyota della linea Mokua, con struttura in legno – dal sito web di Toyota home, divisione Mokua (https://www.toyotahome.co.jp/special/mokua/quality/)

Presentazione di una pianta tipo per un'abitazione della linea Espacio – dal sito web di Toyota homes, linea Espacio https://www.toyotahome.co.jp/chumon/brand/espacio_ls/



Installazione in cantiere di un modulo abitativo realizzato dall'azienda Toyota home – da https://constructionphysics.substack.com/p/toyotas-prefab-homes?s=r

Nonostante l'alta qualità - con finiture interne di fascia elevata e ampi spazi esterni - e la flessibilità delle linee abitative proposte, ottenibile grazie all'utilizzo del telaio in acciaio, che consente la realizzazione di strutture anche molto grandi, Toyota resta un piccolo attore nel mercato immobiliare, rispetto ai suoi volumi produttivi nel settore automobilistico.

Nell'anno 2019 infatti, Toyota home ha prodotto e venduto poco più di 10000 case unifamiliari prefabbricate, su un totale di 40000 case prodotte in Giappone nello stesso anno.

Un fattore che ancora frena il mercato delle case prefabbricate è che pur derivando dall'automotive, vi è una sostanziale differenza: i progressi nelle tecniche di produzione delle automobili hanno permesso di aumentarne i volumi di produzione pur mantenendo bassi i costi.

La qualità è altresì migliorata, siccome negli anni sono spesso state introdotte nuove funzionalità, che un tempo erano considerate come optional anche molto costosi. Lo stesso non è avvenuto per gli edifici prefabbricati, le cui capacità sono rimaste pressoché invariate nel tempo.

Modello di una abitazione Toyota Espacio – dal sito web di Toyota homes, linea Espacio https://www.toyotahome.co.jp/chumon/brand/espacio_ls/

Sekisui House

Sviluppo

Sekisui House è una delle più note società di edilizia prefabbricata giapponesi; è la più grande, con più stabilimenti sul territorio, e nel corso del proprio sviluppo ha posto grande enfasi sulla qualità dei prodotti, sulla sostenibilità delle fabbriche, sull'efficienza energetica e il servizio clienti. Questi fattori, insieme all'alto livello di automazione industriale, hanno posto Sekisui House in prima linea a livello nazionale e non solo.

Sekisui House Ltd è stata fondata nel 1960 dalla divisione abitativa di Sekisui Chemical Co. Ltd e ha le sue origini nel settore delle abitazioni unifamiliari. Ad oggi l'azienda è riconosciuta come il più grande produttore di alloggi prefabbricati in Giappone, con un volume produttivo di più di 40000 case unifamiliari realizzate in un anno. Le sue scelte di produzione l'hanno portata ad essere una delle aziende più efficienti. Dalla sua fondazione, Sekisui House ha venduto circa due milioni di case, grazie al facile accesso ai finanziamenti, sia interni che esteri. La fabbrica più grande della società Sekisui Heim può produrre fino ad 800 case al mese. Ma la sovraccapacità è diventata un problema con il calo della domanda, e almeno uno tra gli impianti principali è stato chiuso per aumentare l'efficienza dell'azienda. Le aziende hanno affrontato il declino del mercato riducendo le scelte per la customizzazione, frenando i costi di inventario e produzione.

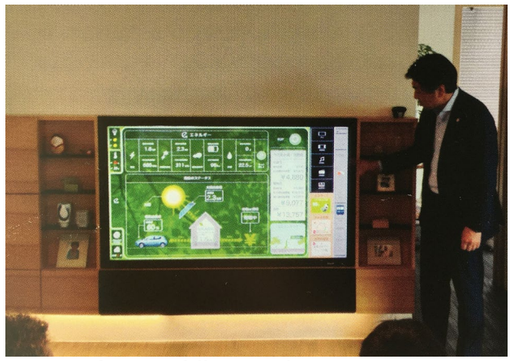
Così come altri produttori di edilizia prefabbricata in Giappone, l'azienda aderisce a rigorosi progetti di controllo della qualità che garantiscono standard più elevati rispetto a quelli prescritti dai regolamenti edilizi ordinari; in questo modo l'alta qualità dei loro prodotti e l'affidabilità dell'azienda vengono garantite, consentendo una maggiore diffusione tra i committenti.

Approccio olistico alla costruzione

Sekisui House adotta un modello di business tripartito, che consiste in: abitazioni unifamiliari costruite su commissione da parte dei clienti, un'attività di progettazione, costruzione e appalto che prevede la ristrutturazione e la gestione immobiliare di progetti non solo residenziali, come strutture commerciali e alberghi, e opere ingegneristiche su più vasta scala. Questo modello di business dimostra le opportunità e le complessità implicate in un approccio olistico alla costruzione di case prefabbricate e mostra ciò che è possibile fare attraverso una forte e costante attenzione al cliente.

L'azienda ha deciso di differenziarsi da altre realtà ampliando la propria offerta, ritenendo la possibilità di scelta un fattore chiave nel proprio modello di business. Propone infatti due sistemi costruttivi, in legno e in acciaio. L'offerta del gruppo Sekisui viene definita come "standardizzazione su misura" perché punta alla massima flessibilità.

Sekisui House ha inoltre stabilito i propri standard di qualità al fine di migliorare la resistenza strutturale, la durata e le prestazioni. Gli alloggi che realizza hanno un alto rapporto "costo-prestazioni"; alcuni comfort e tecnologie avanzate che venivano aggiunte alle abitazioni come caratteristiche opzionali sono ora installati come dotazione standard nelle case da loro prodotte.



I sistemi domotici delle case Sekisui possono essere gestiti dai proprietari e i dati visualizzati direttamente sullo schermo del televisore – Aitchison, M. (2018). Prefab Housing and the Future of Building: Product to Process. Londra: Lund Humphries.

Una casa Sekisui della linea a telaio in acciaio "Biena". Nell'immagine a sinistra il solo scheletro che costituisce la casa, mentre a destra renderizzazione dell'abitazione ultimata – da video di presentazione dell'azienda Sekisui (https://www.youtube.com/watch?v=nEpbAxYnnU4)

Ad esempio il sistema dell'intero ambiente-casa può essere controllato direttamente sullo schermo tv del cliente, che può leggere tutti i dati della propria abitazione in tempo reale.

L'azienda giapponese è anche attenta all'ambiente; da alcuni anni è impegnata nello sviluppo di alloggi a emissioni zero che mirano a introdurre una serie di misure abitative a basso consumo energetico. La prima casa NZEB (Nearly Zero Energy Building) di Sekisui è stata realizzata nel 2008 in occasione del G8 tenutosi a Tōyako, in Giappone. Era un edificio su un unico piano con struttura in acciaio, dotato di un sistema fotovoltaico capace di produrre 14.5 kW, illuminazione a risparmio energetico e una cella a combustibile per uso domestico.

Attualmente l'azienda commercializza un'abitazione chiamata "Green First Hybrid", dotata di pannelli fotovoltaici integrati nella copertura, una cella a combustibile e una batteria agli ioni di litio ad alta capacità di accumulo di energia.

Marketing

Così come Toyota Home, anche Sekisui House investe molto nella pubblicità, nonostante gli alti costi delle campagne di marketing. L'approccio è simile a quello di altri produttori di alloggi, che adottano una varietà di modalità pubblicitarie per aumentare la fiducia dei consumatori nei loro prodotti. Oltre all'onnipresente pubblicità online, sui media e sui giornali locali, ciò che può dare una spinta al settore sono soprattutto le testimonianze dei clienti, fonte molto importante per attrarre nuovi possibili committenti.
Questa enfasi sulla comunicazione e sul marketing è fondamentale per il modello di business dell'azienda e Sekisui gestisce anche appositi centri vicini alle loro factories, che fungono da showroom.
In queste strutture, assimilabili a dei centri informativi, i clienti vengono a conoscenza in prima persona di tutte le soluzioni abitative offerte da Sekisui, compresa tutta una serie di prodotti opzionali, materiali, finiture e persino futuri prodotti di ricerca e sviluppo e possono valutare la qualità dei prodotti. Il grosso investimento in ricerca e sviluppo ha in questo modo la doppia funzione di migliorare i prodotti Sekisui dimostrando anche ai clienti i continui progressi dell'azienda.

Viene inoltre offerto un servizio clienti di alto livello, che sensibilizza i consumatori e li accompagna dalla stipulazione del contratto in poi, fornendo informazioni sulla costruzione, sul progetto, finiture, componenti e tecnologia.

Considerazioni sugli approcci alla produzione

Gli esempi derivanti dalle aziende di produzione dell'edilizia prefabbricata giapponese dimostrano una tendenza alla distribuzione della produzione su più stabilimenti.

Toyota Home si serve di un grande numero di stabilimenti, differenziando tra "basi di produzione", quindi factory designate attivamente alla produzione, e strutture espositive, nelle quali i clienti possono toccare con mano i loro prodotti e le proposte dell'azienda. Si è vista infatti l'importanza del rapporto con il consumatore per le aziende del contesto giapponese, che conseguono dal passaparola e dalle campagne di marketing larga parte degli interventi edilizi realizzati. Gli stabilimenti della divisione case della grande azienda Toyota sono rispettivamente:

1. Stabilimento di Kyosuke - Kagiya-cho, città di Kasugai, prefettura di Aichi.

La prefettura di Aichi comprende anche la città di Toyota, un tempo nota come Koromo, ma che oggi ha preso il nome dall'azienda multinazionale Toyota che qui ha sede legale.

2. Stabilimento di Tochigi - Daikojimachi, città di Tochigi, prefettura di Tochigi

3. Stabilimento di Yamanashi - Città delle Alpi Meridionali della Prefettura di Yamanashi

Un'altra azienda di edilizia prefabbricata, tra le maggiori del Giappone, Sekisui House Group, suddivide la propria produzione in 5 diversi stabilimenti: Tohoku, Kanto, Shizuoka, Hyogo e Yamaguchi. Negli stabilimenti di Tohoku, Kanto, Shizuoka e Yamaguchi vengono prodotti i pannelli e i telai in acciaio; vengono anche effettuate le lavorazioni che interessano i prodotti lignei. I pannelli per pareti esterne in calcestruzzo ad alte prestazioni (Dyne-Concrete) sono realizzati nelle manifatture di Hyogo e Kanto; le pareti esterne in ceramica (Bellburn) progettate per le case unifamiliari con struttura in legno del modello Shawood sono invece prodotte nelle factories di Tohoku e Shizuoka.

La grande azienda Sekisui House Group pone particolare attenzione alla sostenibilità ambientale, infatti tutti i suoi stabilimenti hanno un rigoroso sistema di controllo della qualità che monitora le emissioni in atmosfera e nelle acque di scarico ai fini di una miglior conservazione ambientale, secondo standard autoimposti che vanno oltre i requisiti di legge.

Hyogo Factory

Location:	786-36 Ishitani, Yokodani, Kato, Hyogo
Establishment:	July 1985
Total factory area:	59,970 m^2
Factory floor area:	20,651 m^2
Max. production capacity:	380 houses/month

Kanto Factory

Location:	2 Kitatone, Koga, Ibaraki
Establishment:	August 1970
Total factory area:	309,547 m^2
Factory floor area:	114,243 m^2
Max. production capacity:	870 houses/month

Shizuoka Factory

Location:	1100 Naka, Kakegawa, Shizuoka
Establishment:	August 1980
Total factory area:	246,098 m^2
Factory floor area:	124,347 m^2
Max. production capacity:	800 houses/month

Tohoku Factory

Location:	8 Ohara, Shikama-cho, Kami-gun, Miyagi
Establishment:	August 1997
Total factory area:	121,458 m^2
Factory floor area:	60,420 m^2
Max. production capacity:	300 houses/month

Yamaguchi Factory

Location:	5000 Suzenji, Yamaguchi
Establishment:	August 1973
Total factory area:	228,667 m^2
Factory floor area:	88,148 m^2
Max. production capacity:	450 houses/month

2.4

Ambito statunitense

Trasposizione della tradizione nella prefabbricazione

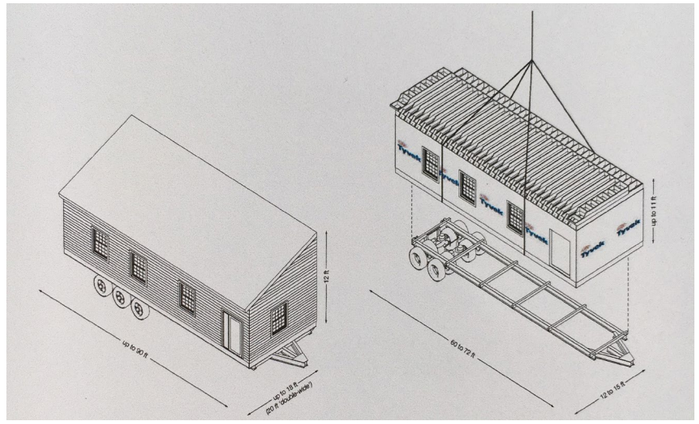
Il settore immobiliare modulare negli Stati Uniti affonda le sue radici nelle esperienze produttive delle case mobili. I processi produttivi ricalcano di preferenza il tradizionale telaio in legno, anche se le attuali focalizzazioni sempre più volte alla sostenibilità inducono il mercato a percorrere nuove strade. Il concetto di una casa modulare a basso consumo energetico sta guadagnando terreno e molte aziende offrono soluzioni ad alte prestazioni. In collaborazione tra università e industria sono nati programmi di ricerca e progettazione/costruzione/valutazione, focalizzati su nuove case modulari ad alte prestazioni.

In Nord America l'edilizia modulare affonda le sue radici nell'industria delle case mobili, settore ben sviluppato e in espansione, traendo spunto dalle esperienze maturate in questo ambito per la produzione di moduli prefabbricati. Infatti negli Stati Uniti l'edilizia residenziale mobile è disciplinata da norme precise ed estese più che in qualsiasi altro Paese.

Quello dell'edilizia modulare in Nord America si presenta come un contesto complesso e sfaccettato, complementare agli altri Paesi altamente industrializzati come la Svezia e il Giappone.
La manifattura delle abitazioni modulari negli Stati Uniti spazia da un'industria semplice ma ampiamente consolidata, che si fonda sulla tradizionale costruzione in legno, a società più moderne che puntano ad utilizzare nuovi metodi, tecnologie e materiali.
La costruzione a telaio leggero in legno ha dominato l'edilizia abitativa negli Stati Uniti dalla metà del diciannovesimo secolo. Con il suo alto grado di standardizzazione e l'uso efficace della prefabbricazione, questo sistema ha servito bene le diverse condizioni geografiche e climatiche[1].
L'ormai classico telaio in legno americano ha avuto grande diffusione anche grazie alle abbondanti risorse su cui può contare il Nord America; tutt'oggi continua a dominare il mercato, superando sistemi più avanzati come quello a pannelli o a kit di parti standardizzate. Anche nella produzione off-site i prodotti realizzati sono basati sulle costruzioni a telaio leggero in legno.

L'industria modulare prefabbricata statunitense si può suddividere in due grandi tipologie: le abitazioni mobili, costruite

1 Aitchison, M. (2018). *Prefab Housing and the Future of Building: Product to Process*. Londra: Lund Humphries.



Differenza tra case-mobili, costruite sul proprio chassis e, a destra, moduli prefabbricati per edifici permanenti – da Aitchison, M. (2018). Prefab Housing and the Future of Building: Product to Process. Londra: Lund Humphries.

direttamente su di un telaio con ruote che permette loro di essere facilmente spostate, e la maggior parte degli altri moduli abitativi, realizzati invece come costruzioni volumetriche
destinate ad essere porzioni di case permanenti.

Negli anni '70 il programma Breakthrough, a finanziamento federale, ha portato a sostituire il sistema a telaio tradizionale con sistemi tridimensionali a pannelli in cemento armato, dando origine alla più grande industria di case mobili e manufatti del mondo.
In questo contesto è emersa un'intera nuova industria manifatturiera: l'industria delle costruzioni modulari.
Il Modular Building Institute (MBI) definisce la costruzione modulare come l'uso di "moduli di costruzione tridimensionali che sono prefabbricati off-site e trasportati sul sito per costituire l'intero edificio".
Si stima che in Nord America esistano 200 produttori di costruzioni modulari, 70 dei quali sono membri di MBI.
Nel 2016, il Modular Building Institute ha stimato che l'industria modulare costituisse il 3% delle nuove costruzioni in Nord America e prevedeva un aumento fino al 5% entro la fine del decennio. Il lavoro è distribuito in tutto il Nord America, con una concentrazione significativa nel nord-est, in particolare in Pennsylvania. MBI stima che il componente modulare fabbricato rappresenti il 55% del costo complessivo di un progetto di costruzione.

Negli ultimi quattro anni, la produzione annuale tipica di un produttore è stata di 330 moduli, una dimensione di 680 piedi quadrati e ha impiegato da 100 a 200 lavoratori. Mentre alcune aziende gestiscono più strutture, la maggior parte dei membri MBI possiede e gestisce un'unica struttura focalizzata su un unico mercato, di solito entro un raggio di 500 miglia.
Gli architetti che lavorano con i produttori di modulari segnalano problemi con la mancanza di sofisticatezza di questo settore relativamente nuovo. La maggior parte del settore ha ottimizzato i processi di fabbricazione per la produzione di alloggi unifamiliari leggeri con struttura in legno; tuttavia, l'ultimo decennio ha visto un numero crescente di sperimentazioni alternative.
Recentemente, il Modular Building Institute (www.modular.org) è stato attivo nella promozione della costruzione modulare negli Stati Uniti e si sono registrati notevoli successi nell'uso delle tecnologie prefabbricate tridimensionali in condomini, scuole e uffici.

Uno dei primi utilizzi della costruzione modulare in un edificio a più piani è stato in un progetto per un condominio di 4 piani a San Francisco composto da 23 appartamenti e completato in soli tre mesi, il quale ha ottenuto un LEED Platinum Award.

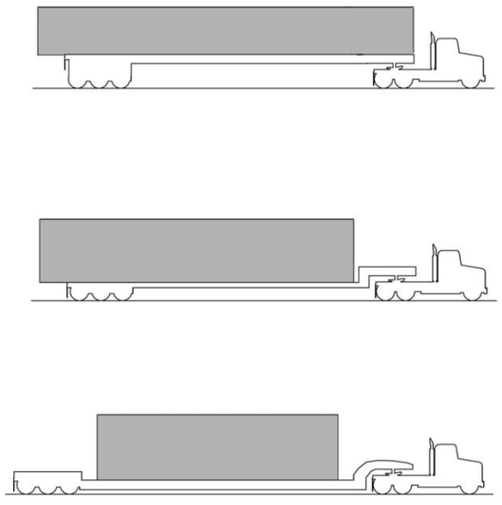
Dimensioni standard

La dimensione dei moduli edilizi prodotti in Nord America è determinata dai limiti dimensionali degli autotrasporti. Il fattore trasporto è molto importante, tanto da influenzare la progettazione dei componenti e il modo in cui devono essere assemblati alla struttura nel momento della messa in opera. La scomposizione degli elementi necessaria per il loro trasporto limita non solo le dimensioni dei singoli pannelli o moduli, ma spesso determina anche la tipologia dei giunti o l'estetica finale.

Esistono due metodi principali per trasportare gli elementi costruttivi di un edificio dalla fabbrica che li ha prodotti al sito di cantiere per l'assemblaggio:

- Il primo metodo è la spedizione tramite container. I container sono infatti standardizzati per dimensioni, punti e metodo di sollevamento e fissaggio tra unità adiacenti da parte dell'International Standards of Organization (ISO), un'organizzazione internazionale che sviluppa linee guida in diversi settori in modo che siano coerenti a livello internazionale.

- Il secondo metodo è detto spedizione "dimensionale" o "cargo", che si riferisce a dimensioni di spedizione personalizzate ed al di fuori degli standard ISO. Questi termini si applicano a tutti i metodi di spedizione, inclusi ferrovia, camion, navi, e, in rare occasioni, elicotteri. La spedizione dimensionale è applicabile a pannelli, moduli o componenti che siano troppo larghi, alti o lunghi per viaggiare nei container a standard ISO, solitamente considerati il metodo più economico per trasportare grandi carichi senza munirsi di autorizzazioni speciali.



Tre tipi di rimorchi usati per il trasporto di componenti come pannelli e moduli prefabbricati. Dall'alto: rimorchi a pianale, single-drop deck e double-drop deck per gli elementi più alti. – da Smith, R. E. (2010). Prefab architecture. A guide to modular design and construction. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley & Sons

Spesso i costi delle spedizioni possono rappresentare un ostacolo alla costruzione modulare, superando il costo della produzione stessa; è quindi fondamentale che, specie per i progetti internazionali, in cui i moduli vengono prodotti in un paese e spediti in un altro, la prefabbricazione compensi i costi della spedizione, in modo da mantenere l'intero processo economicamente sostenibile.
Sebbene il trasporto ferroviario sia efficiente, oggi gli Stati Uniti si affidano principalmente al trasporto su gomma tramite compagnie di autotrasporti.

A partire dagli anni '60 si diffuse l'utilizzo di autoarticolati, economici ma allo stesso tempo più veloci rispetto alla ferrovia; divennero il metodo standardizzato per il trasporto di moduli prefabbricati ed ancora oggi il maggiormente utilizzato. Le rare eccezioni sono rappresentate dai siti troppo remoti, per i quali si prediligono mezzi come elicotteri, normalmente considerati troppo costosi.

Regolamento dei trasporti

Le norme per l'autotrasporto commerciale sono stabilite, per quanto riguarda la circolazione sulla rete generale delle strade interstatali, dalla Federal Size Regulations for Commercial Motor Vehicles, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration (FHWA), mentre per le altre strade ciascuno Stato dispone di linee guida diversificate. Quindi le dimensioni dei carichi ammissibili variano in base al territorio statale che percorrono, le direttive sono raggruppate nel Manuale dei permessi per sovradimensionamento/sovrappeso della Specialized Carriers & Rigging Association (SCRA).

I moduli di larghezza inferiore a 8 piedi (2,44 m) non richiedono permessi speciali o protocolli di consegna, mentre il modulo più largo, 16 piedi (4,88 m), richiede permessi e protocolli specifici. Alcuni stati o province non consentono moduli superiori a 14 piedi (4,27 m). Anche le altezze dei moduli, da 11 a 13 piedi (da 3,35 a 3,96 m), e le lunghezze, da 40 a un massimo di 70 piedi (da 12,2 a 21,34 m) sono direttamente informate dal Manuale SCRA.

Spesso la difficoltà può essere nel negoziare le norme di autotrasporto mentre una spedizione attraversa i confini statali. In questi casi, il trasporto deve seguire il più restrittivo degli stati che sono attraversati. Ad esempio, Irontown Homes, mentre spediva una casa progettata da Michelle Kaufmann e Paul Warner, doveva passare dallo Utah attraverso la California e il Nevada. La California era lo stato più restrittivo dei tre e quindi richiedeva un camion di scorta per l'intero viaggio.

I moduli tridimensionali prefabbricati superiori a 14,6 piedi (4,45 m) e fino a 16 piedi (4,88 m) di larghezza possono essere trasportati con singolo permesso di viaggio ma devono essere conformi alle linee guida sugli pneumatici, il peso sugli assi non deve eccedere la capacità e tutti i rimorchi devono essere dotati di freni operativi.
Questo non vale invece per le case mobili, che possono essere spostate su tutti i tipi di rimorchi, essendo già realizzate ad hoc per la movimentazione su gomma.

Spesso i carichi strutturali dinamici dovuti al trasporto sono i più elevati che la struttura dell'elemento sperimenterà durante il proprio ciclo di vita.

State	Width	Height	Length
Alabama	12' (16')	* (16')	76' (150')
Alaska	10' (22')	*	100' (*)
Arizona	11' (14')	* (16')	* (120')
Arkansas	12' (20')	15' (17')	90' (*)
Califonia	12' (16')	* (17')	85' (135')
Colorado	11' (17')	13' (16')	85' (130')
Connecticut	12' (16')	14' (*)	80' (120')
Delaware	12' (15')	15' (17'-6")	85' (120')
District of Columbia	12' (*)	13'-6" (*)	80' (*)
Flordia	12' (18')	14'-6" (18')	95' (*)
Georgia	12' (16')	15'-6" (*)	75' (*)
Idaho	12' (16')	14'-6" (16')	100' (120')
Illinois	* (18')	* (18')	* (175')
Indiana	12'-4" (16')	14'-6" (17')	90' (180')
Iowa	8' (16'-6")	14'-4" (20')	85' (120')
Kansas	* (16'-6")	* (17')	* (126')
Kentucky	10'-6" (16')	14' (*)	75' (125')
Louisana	10' (18')	* (16'-5")	75' (125')
Maine	8'-6" (18')	8'-6" (*)	80' (125')
Maryland	13' (16')	14'-6" (16')	85' (120')
Massachuetts	12' (14')	13'-9" (15')	80' (130')
Michigan	12' (16')	14'-6" (15')	90' (150')
Minnesota	12'-6" (16')	*	95' (*)
Mississippi	12' (16'-6")	* (17')	53' (*)
Missouri	12'-4" (16')	15'-6" (17'-6")	90' (150')

State	Width	Height	Length
Montana	12'-6" (18')	* (17')	* (120')
Nebraska	12' (*)	14'-6" (*)	85' (*)
Nevada	8'-6" (17')	* (16')	105' (*)
New Hampshire	12' (16')	13'-6" (16')	80' (100')
New Jersey	14' (18')	14' (16')	100' (120')
New Mexico	* (20')	* (18')	* (190')
New York	12' (14')	14' (*)	80' (*)
North Carolina	12' (15')	14'-5" (*)	100' (*)
North Dakota	14'-6" (18')	* (18')	75' (120')
Ohio	14' (*)	14'-10" (*)	90' (*)
Oklahoma	12' (16')	* (17')	80' (*)
Oregon	9' (16')	*	95' (*)
Pennsylvania	13' (16')	14'-6" (*)	90' (160')
Rhode Island	12' (*)	14' (*)	80' (*)
South Carolina	12' (*)	13'-6" (16')	(125')
South Dakota	10' (*)	14'-6" (*)	*
Tennessee	10' (16')	15' (*)	75' (120')
Texas	14' (20')	17' (18'-11")	110' (125')
Utah	10' (17')	16' (17'-6")	105' (120')
Vermont	15' (*)	14' (*)	100' (*)
Virginia	10' (*)	15' (*)	75' (150')
Washington	12' (16')	14' (16')	*
West Virgina	10'-6" (16')	15' (*)	75' (*)
Wisconsin	14' (16')	*	80' (110')
Wyoming	* (18')	* (17')	* (110')

* Determined entirely by route travelled
( ) Indicates maximum possible dimension which requires permits and/or escorts

Norme per il trasporto su camion di elementi prefabbricati divise secondo ogni Stato. L'elenco, sviluppato da Kullman Buildings Corporation, identifica i requisiti dimensionali e indica eventuali permessi speciali o scorte per carichi sovradimensionati – da Smith, R. E. (2010). Prefab architecture. A guide to modular design and construction. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley & Sons

Un modo per ovviare a questo è l'utilizzo di elementi piatti come pannelli, ma nel caso dei moduli prefabbricati è necessario prevedere i carichi dinamici critici che il modulo sperimenterà durante il trasporto, in modo da determinare con precisione anche gli attacchi punti di prelievo per il carico e lo scarico ed il sollevamento.

Questa condizione può essere un deterrente per l'utilizzo di una costruzione modulare, poiché gli elementi devono essere sovra-strutturati per le condizioni di spedizione. I team di progettazione strutturale devono considerare attentamente i carichi a cui il modulo verrà sottoposto durante le fasi di sollevamento - dalla factory all'autoarticolato o da questo al cantiere - e quelle di trasporto - dal sito del produttore a quello del cantiere.

La valutazione di ognuno di questi passaggi influisce sulla struttura e sull'estetica finali del sistema modulare. Anche il modo in cui i moduli saranno fissati ai rimorchi può influire sul design dell'elemento finito. I principali elementi strutturali dell'elemento volumetrico prefabbricato devono essere infatti fissati al telaio di supporto del rimorchio con almeno quattro bulloni da 3/4 di pollice (1,9 cm) di diametro; per il fissaggio non sono invece accettati i morsetti, basati sul contatto per attrito tra l'elemento modulare e la porzione in movimento.
Oltre alla bullonatura vengono utilizzate due catene di sicurezza in acciaio, fissate saldamente sui lati destro e sinistro del meccanismo di accoppiamento che collega il rimorchio all'elemento abitativo modulare durante il trasporto.
I lati aperti delle unità in transito devono essere completamente foderati con fogli di materiale plastico che sigilli il modulo in modo che l'aria non pressurizzi gli ambienti causando danni o non soffi il modulo fuori dal rimorchio.

Dwell home, casa modulare prefabbricata che nel 2003 è valsa il premio di miglior casa prefabbricata moderna allo studio Resolution:4 Architecture – da re4a.com/dwell-home

Produzione

Nella maggior parte dei casi i moduli prefabbricati lasciano le factories completi dal 60 al 90%; la facciata o alcune finiture interne, ad esempio la posa dei pavimenti, possono avvenire direttamente in cantiere ad opera di un costruttore che collabora con il produttore modulare.

Molte industrie hanno ottimizzato i propri processi di prefabbricazione sulla base delle case a telaio leggero in legno; tuttavia negli ultimi decenni ci sono stati esempi di sperimentazioni verso altre tipologie.
Lo studio newyorkese "Resolution: 4 Architecture" ha sviluppato Modern Modular, una metodologia di progettazione ispirata dall'industria modulare.

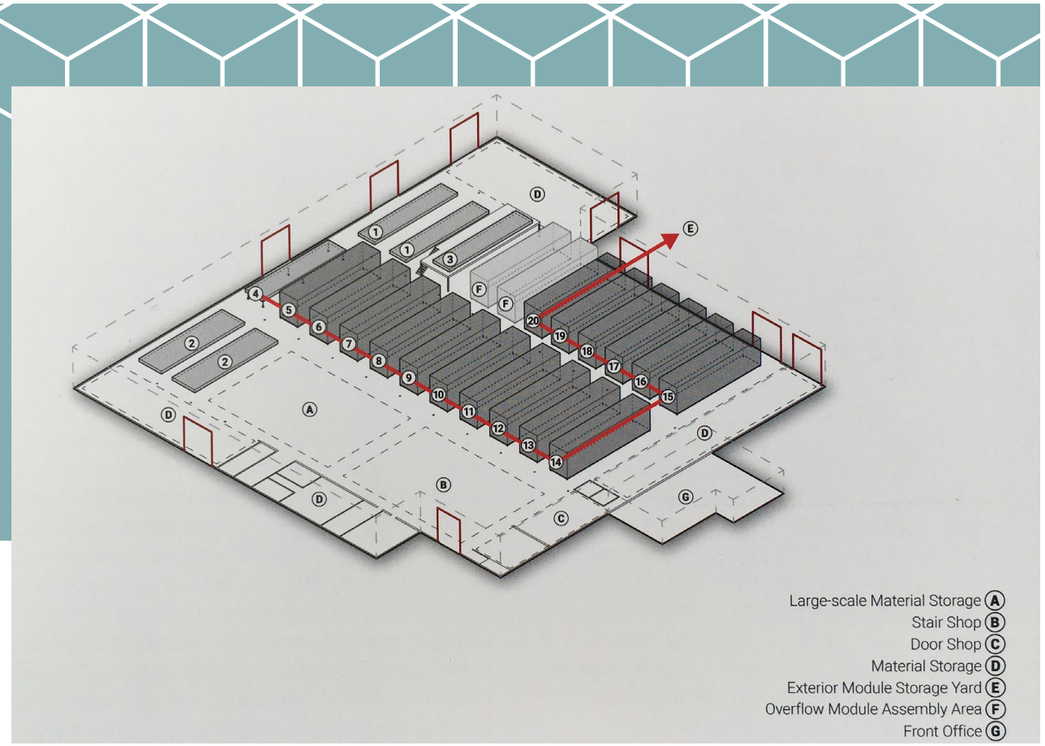
Progettato per la prima volta per un concorso del 2003 indetto da Dwell Magazine, il sistema si è evoluto attraverso oltre trenta commesse residenziali, portando a una stretta collaborazione con il produttore di moduli prefabbricati Simplex Homes con sede in Pennsylvania.

Nel 1996, Nehemiah Housing Development Fund Company Inc., con sede a New York, commissionò centinaia di unità abitative a prezzi accessibili a Capsys Corp, un produttore di costruzioni modulari allora con sede a Brooklyn's Navy Yard. Capsys ha anche fabbricato i moduli in acciaio per l'edificio My Micro NY (ora Carmel Place) di nARCHITECTS. Completato nel 2015, My Micro NY era il progetto di costruzione modulare multi-unità più alto di New York City, con 10 piani di moduli sovrapposti.

Nel 2007 Blu Homes, fondata da Bill Haney e Maura McCarthy, ha iniziato a sviluppare una tecnologia pieghevole per consentire ai moduli con struttura in acciaio (e successivamente in legno) di essere spediti riducendo di quasi il 50% la loro dimensione. Blu Homes, dopo una sperimentazione condotta su 28 case, nel 2011 ha spostato la produzione dal Massachusetts a una nuova struttura nella Baia di San Francisco ed ha brevettato la tecnologia di piegatura negli Stati Uniti e nell'Unione Europea.

Simplex Homes

Simplex Homes è un caso emblematico dell'industria modulare dell'edilizia prefabbricata negli Stati Uniti. Incarna le tradizioni, tecniche e aspirazioni dell'intero settore industriale, avendo operato in diversi campi, tra cui case mobili a basso costo, abitazioni modulari per i mercati di massa, sia come case singole che condomini e, più recentemente, offerte più esclusive progettate dagli architetti.
Ha spaziato in tutto il mercato delle costruzioni adattando il proprio lavoro e ha dimostrato come diversificare e introdurre innovazioni commerciali



Sequenza delle fasi della produzione all'interno di Simplex Homes – da Aitchison, M. (2018). Prefab Housing and the Future of Building: Product to Process. Londra: Lund Humphries.

e tecniche possa portare ad una crescita lenta e incrementale, nonostante il periodo economico turbolento.
Simplex Industries Inc., meglio noto come Simplex Homes, sorge in un ex magazzino di una zona al confine tra New Jersey e Pennsylvania, stati del Nord-

Est degli Stati Uniti che hanno attraversato un lungo periodo di declino industriale. Agli esordi l'azienda si occupava delle lavorazioni del carbone, per poi spostare la produzione verso le case trasportabili, costruite secondo l'Housing and Urban Development Code (codice HUD) negli anni '70. Il vero successo però lo ottenne quando passò alla costruzione di prodotti abitativi modulari permanenti con struttura a telaio in legno leggero per l'edilizia residenziale convenzionale; fino al 2010 una tipologia che interessava solamente case unifamiliari ma che recentemente è utilizzato anche per la costruzione di abitazioni plurifamiliari di altezza medio-bassa.

Il processo produttivo deriva dall'industria delle case del programma HUD: nei pressi della linea di produzione viene assemblata una pavimentazione standard secondo uno chassis preformato, tramite piattaforme con ruote viene poi spostata lungo la linea produttiva per l'assemblaggio di pareti a pannello che vengono portati in posizione tramite carroponte per formare la struttura scatolare.
Ogni modulo è completato lungo la linea procedendo dall'interno verso l'esterno con pre-cablaggi, canalizzazioni, impianti idraulici e l'installazione degli elementi scala, elettrodomestici per la cucina e apparecchiature per riscaldamento, ventilazione e aria condizionata.

Installazione dei moduli abitativi per il progetto Upper Saddle River Supportive Housing in New Jersey – dalla pagina facebook della Simplex homes https://m.facebook.com/simplexhomes/

Moduli in costruzione lungo la linea di produzione di Simplex Homes – Aitchison, M. (2018). Prefab Housing and the Future of Building: Product to Process. Londra: Lund Humphries.

Analogamente alla maggior parte dei produttori di prefabbricati negli Stati Uniti, Simplex Homes crea un prodotto modulare che viene realizzato secondo la tecnica delle lavorazioni in linea ed esce dalla factory completo al 70-90%.

Tutti i lavori sono eseguiti con l'ausilio di ponteggi mobili in acciaio all'interno della factory.
I pannelli che costituiscono le pareti sono installati già rifiniti in quasi tutti i progetti, ma a seconda del progetto e dell'interesse del cliente le finiture dei pavimenti, delle pareti e il rivestimento esterno possono essere completati in loco. I moduli vengono completati e caricati su rimorchi all'interno della fabbrica prima di essere spostati nella parte esterna ed imballati con pellicola termoretraibile per la spedizione.
Una particolarità di Simplex Homes è che a differenza della maggior parte dei produttori di edifici modulari nordamericani, possiede la propria flotta di camion e spesso si assume la responsabilità della spedizione e dell'installazione in cantiere dei moduli.
Come altri produttori di moduli modulari del nord-est degli Stati Uniti, i prodotti principali di Simplex Homes sono moduli per case convenzionali, comprese case unifamiliari, villette a schiera e quadrifamiliari a più piani. I moduli prodotti vanno da 8,0 piedi (2,43 m) a 13,9 piedi (4,24 m) per le dimensioni standard e fino ai grandi moduli da 15,9 piedi (4,85 m), che richiedono permessi speciali e un'auto di scorta durante il trasporto. Le altezze del soffitto sono limitate a 9,0 piedi (2,75 m); i moduli del tetto costruiti con capriate prefabbricate vengono acquistati dai fornitori, rivestiti e rifiniti con tegole e altri materiali.

Sollevamento di uno dei moduli abitativi per il progetto Upper Saddle River Supportive Housing in New Jersey – dalla pagina facebook della Simplex homes https://m.facebook.com/simplexhomes/

Queste tipologie di copertura utilizzano cerniere per piegare alcune porzioni di tetto in modo da renderle abbastanza compatte da soddisfare i requisiti per il trasporto.

La diversificazione del business è un punto di forza per Simplex Homes, che ha adottato un approccio aziendale innovativo. Durante un periodo di declino economico in cui altri costruttori di moduli hanno dovuto affrontare regressioni e molti hanno cessato di operare, Simplex ha registrato una crescita costante. Questo può essere dovuto alla combinazione di decisioni commerciali relativamente prudenti, alla diversificazione della sua linea di prodotti e allo sviluppo di partnership chiave; nonostante il periodo di declino economico statunitense e non solo, Simplex Homes è riuscita a confermarsi un forte attore sul mercato anche grazie al lancio di alcune iniziative, come Simplex Solar, Cornerstone Building Solutions e Modern Architectural Modular.
Se il focus di produzione dell'azienda è la produzione per residenze convenzionali, la filiale lanciata di recente, Simplex Solar, sta sviluppando flussi di entrate nuovi e alternativi. Questa società di installazioni solari è stata costituita per rispondere alla crescente domanda da parte dei proprietari di case di pannelli solari compensati da incentivi fiscali e consente anche a Simplex Homes di vendere l'energia solare nella loro linea di prodotti. Inoltre, Simplex ha perseguito una joint venture con l'affiliata Cornerstone Building Solutions, un costruttore di case tradizionale nella regione.

I moduli abitativi prefabbricati prodotti da Simplex sono venduti tramite Cornerstone, un'azienda di costruzione di case tradizionali. Questa associazione con uno dei più noti costruttori è nata con l'obiettivo di evocare fiducia negli acquirenti di case ed avvicinare alla prefabbricazione anche i più scettici.
Simplex Homes ha stipulato un accordo commerciale con "Resolution: 4 Architecture" per lo sviluppo congiunto di Modern Modular, una metodologia di progettazione e consegna sviluppata attorno a logiche di costruzione modulare, che si concentra su una progettazione architettonica di alta qualità. Il primo prototipo modulare ideato da RES 4 è stato il risultato del concorso di progettazione di case prefabbricate

Fase di cantiere del progetto da 70 unità abitative Upper Saddle River Supportive Housing in New Jersey – dalla pagina facebook di Simplex homes https://m.facebook.com/simplexhomes/

indetto da Dwell Magazine del 2003. L'edificio è stato realizzato in occasione della vittoria da parte dello studio newyorkese RES 4, che ha coinvolto Simplex Homes in una partnership che prosegue tutt'oggi.
Insieme hanno creato un sistema unico che permette di realizzare abitazioni - specialmente seconde case - di alto livello architettonico, con un'ampia varietà di configurazioni e personalizzazioni. I moduli e le case risultanti sono scrupolosamente dettagliati e richiedono tempi di produzione più lunghi in fabbrica. Questa opportunità di business a basso volume e ad alto margine fornisce stabilità quando il mercato immobiliare di massa ristagna. Sebbene Simplex abbia lavorato con numerosi altri architetti e RES 4 con una dozzina di aziende

Installazione dell'ultimo modulo per l'Upper Saddle River Supportive Housing in New Jersey – dalla pagina facebook di Simplex homes https://m.facebook.com/simplexhomes/

modulari, entrambi hanno ripetutamente individuato l'altro come partner esemplari, con ciascuna parte che ha ottimizzato il proprio approccio attraverso questa collaborazione continua.
Simplex Homes ha seguito la tendenza del mercato modulare statunitense, mirando la propria produzione verso il mercato multi-unità, di fascia media, inclusi dormitori e alloggi multifamiliari. Il CEO Patrick Fricchione afferma: "I dormitori hanno cambiato il nostro mercato. Hanno mostrato le nostre capacità di lavorare con architetti e ingegneri su larga scala e non solo di adattarci alle nuove tecniche di costruzione, ma occasionalmente di svilupparle. Abbiamo così dimostrato di saper gestire progetti su larga scala e molto costosi e svolgere un lavoro eccellente in tempi molto stretti"[2].

Sollevamento di un modulo per l'installazione – dalla pagina facebook di Simplex homes

I recenti progetti di dormitori includono la Mansfield University of Pennsylvania, la Marywood University e la Pennsylvania State University. Questa nuova direzione nella produzione di moduli per la costruzione di più unità di media altezza è un'altra strategia diversificata che richiede nuove competenze da Simplex.

Fase di cantiere del progetto da 70 unità abitative e 120 moduli totali "Upper Saddle River Supportive Housing" in New Jersey – dalla pagina facebook di Simplex homes https://m.facebook.com/simplexhomes/

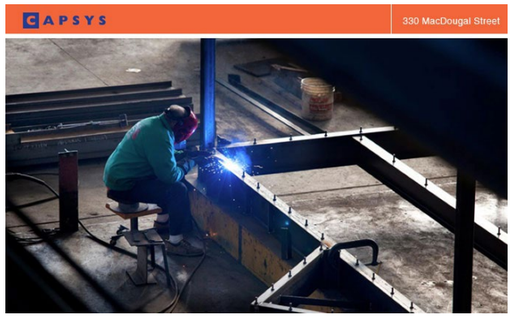
2 http://simplexhomes.com/Bio-Patrick_Fricchione_Jr.asp

Il successo di Simplex Homes dimostra la necessità di innovazione a livello di organizzazione aziendale e diversificazione al fine di mantenere la sostenibilità economica nei mercati difficili.
Tuttavia, questo salto di scala e complessità sta sfidando Simplex Homes ad acquisire nuove conoscenze del settore delle costruzioni commerciali e aggiunge ulteriore rischio finanziario, che Simplex e molte altre società sono disposte a correre, mentre il mercato più ampio inizia un inevitabile adeguamento da alloggi individuali e unifamiliari verso alloggi urbani più densi. La produzione di unità abitative per questo mercato richiede un modulo ripetitivo di alta qualità e Simplex Homes sta esplorando modi per aumentare la propria capacità di automazione e produzione attraverso l'implementazione di attrezzature edili più tecnologiche.

Capsys

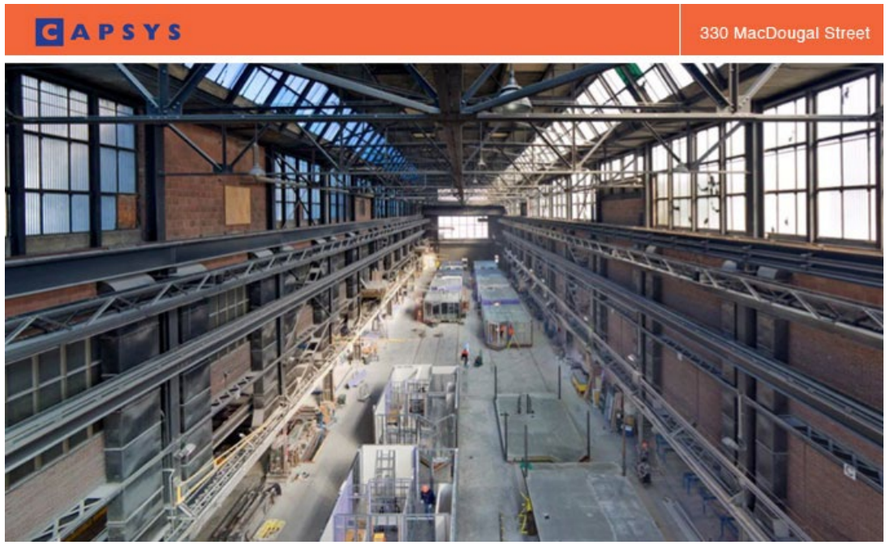
Sviluppo

Capsys Corp. fu fondata nel 1996 per realizzare 700 abitazioni per il progetto Nehemiah Housing Development Fund Company. Da allora ha prodotto circa duemila unità modulari destinati a diverse tipologie di edifici, dalle case singole a condomini ed hotel.

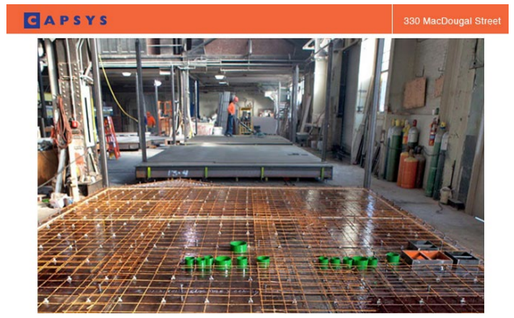


Preparazione dello chassis, fase di saldatura del telaio strutturale – da http://www.capsyscorp.com/process.php#

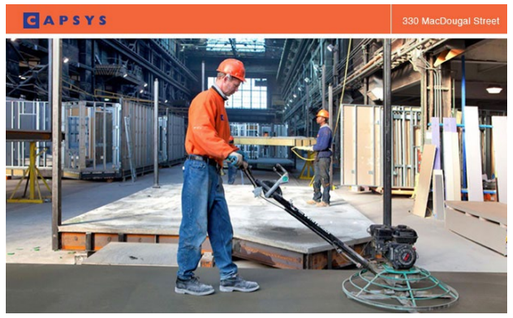
La qualità dei loro prodotti è garantita dal fatto che all'interno dell'azienda è presente un team di ingegneri dedicato alla progettazione ed ingegnerizzazione dei moduli da realizzare. L'azienda è quindi un membro attivo fin dalle fasi di progettazione, essendo in grado di adattare le strutture modulari ai disegni progettuali di edifici residenziali di media altezza.
L'azienda ha la propria sede nel Brooklyn Navy Yard, a New York City, in uno stabilimento di circa 7000 metri quadri, nel quale produce in modo efficiente sistemi costruttivi modulari per tutta la nazione.



Lo stabilimento Capsys a Brooklyn, di circa 7000 mq – http://www.capsyscorp.com/process.php#



Casseratura per il getto del solaio – http://www.capsyscorp.com/process.php#

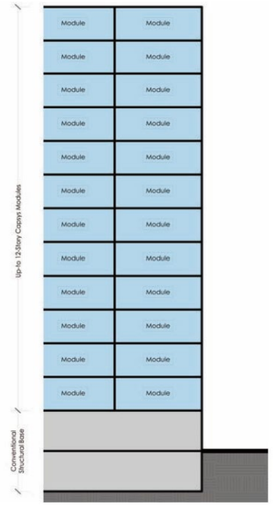


Rifinitura superficiale del getto del solaio con elicottero – da http://www.capsyscorp.com/process.php#

La vicinanza ad un molo in acque profonde consente a Capsys di spedire i moduli in tutto il mondo via mare; se la distanza del cantiere è invece inferiore ad 800 kilometri le consegne al sito avvengono via camion.

Sistema strutturale

Capsys costruisce i propri moduli a partire da un telaio spaziale in acciaio, che viene saldato in stabilimento all'inizio della catena produttiva.
Questo sistema fa sì che ogni modulo sia autoportante e possa essere installato in cantiere a contatto diretto dei blocchi sottostanti. Le costruzioni realizzate con il sistema strutturale Capsys, con telaio in acciaio strutturale, pavimenti in cemento e pareti con struttura in acciaio, possono raggiungere i 12 piani di altezza.



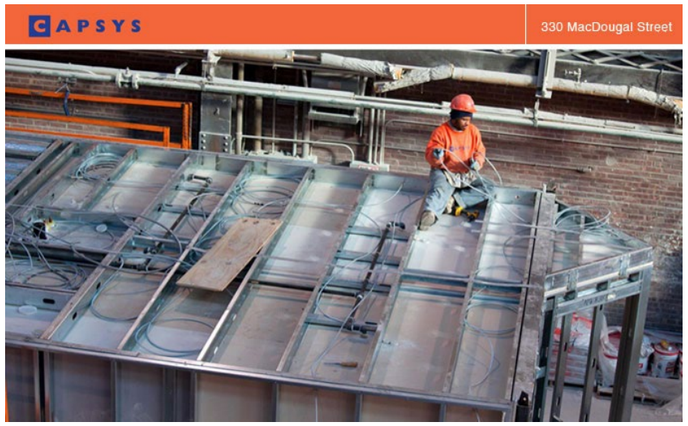
L'uso di acciaio, cemento e cartongesso per la realizzazione delle unità modulari permette all'azienda di realizzare abitazioni ignifughe.

Processo produttivo

Il processo produttivo Capsys è un insieme di procedure e pratiche che l'azienda ha sviluppato per garantire che ogni modulo di ogni progetto segua un percorso realizzativo ben definito, dagli stadi iniziali della creazione alla costruzione finita. Realizzato mediante catena di montaggio, il processo di costruzione adottato dalla Capsys è una sequenza di passaggi, che assicura che tutti i dettagli di progettazione necessari siano eseguiti lungo la linea produttiva.
Il "processo Capsys" si assicura inoltre che ci sia un buon coordinamento tra il team esterno di Capsys e tutte le altre maestranze che intervengono in cantiere al momento dell'installazione dei moduli. L'azienda pone particolare attenzione a questa fase del processo, per assicurarsi che il prodotto finale rispecchi fedelmente i concept iniziali del progettista e le esigenze della committenza.

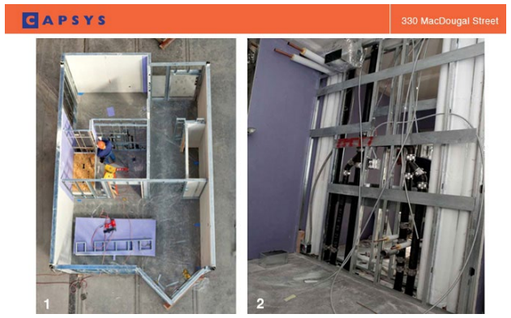
Installazione impianto HVAC – http://www.capsyscorp.com/process.php#

La linea di produzione inizia con la saldatura del telaio strutturale, composto da travi perimetrali in acciaio e travetti più piccoli di irrigidimento.
Successivamente viene preparata la casseratura per il getto del solaio, in cui vengono predisposte le armature e i condotti degli impianti. Il getto, di spessore 8 cm (3 pollici) viene poi trattato per ottenere una finitura liscia.



Installazione sistema elettrico, sprinkler, impianti idraulico, riscaldamento, ventilazione e aria condizionata – http://www.capsyscorp.com/process.php#

All'impalcato principale vengono aggiunte le strutture perimetrali in acciaio, sulle quali sono montate le lastre in cartongesso; allo stesso tempo sono predisposti gli impianti meccanico ed elettrico.
In un'altra porzione della catena produttiva è realizzato il soffitto, anch'esso contenente parti degli impianti, che saranno collegate in cantiere.

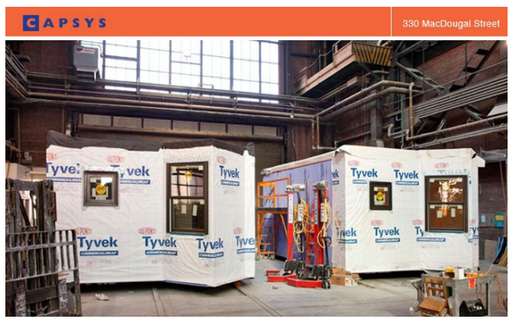


Vista dall'alto di un modulo, con le pareti in cartongesso in fase di montaggio (figura a sinistra); dettaglio degli impianti meccanico ed elettrico (a destra) – http://www.capsyscorp.com/process.php#

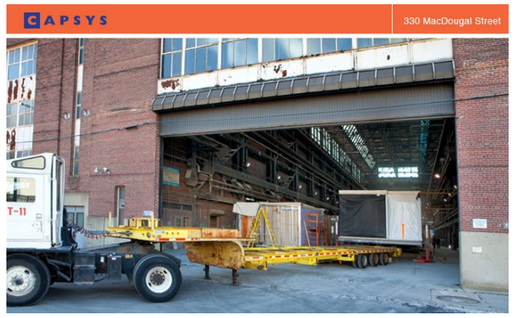
Tutte le lavorazioni necessarie al completamento di ogni modulo sono svolte all'interno dello stesso stabilimento; gli operai si occupano dell'installazione degli infissi e di tutti gli impianti - elettrico, idrico, di riscaldamento e condizionamento dell'aria - i quali dovranno soltanto essere collegati in cantiere.

Verso la fine della catena di montaggio lo chassis viene completato con isolanti ed infissi ed è pronto per essere spedito al cantiere.

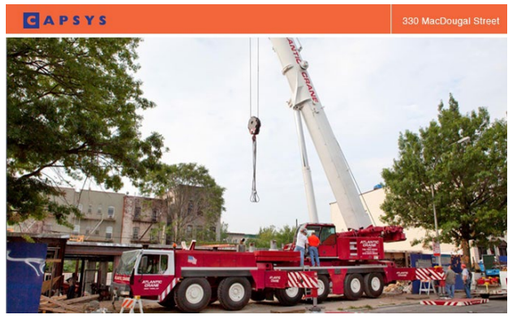
Dallo stabilimento produttivo i moduli sono solitamente spostati in un magazzino di stoccaggio ed imballati in attesa del trasporto. Questo avviene mediante truck appositi per grandi carichi, che hanno un pianale ribassato.
In cantiere il sollevamento dei moduli è eseguito tramite gru capaci di spostare pesi fino a 250 tonnellate e viene utilizzato un sistema rigido in grado di movimentare il blocco senza sollecitare le pareti. L'installazione in cantiere avviene molto rapidamente, di solito nel giro di poche settimane.



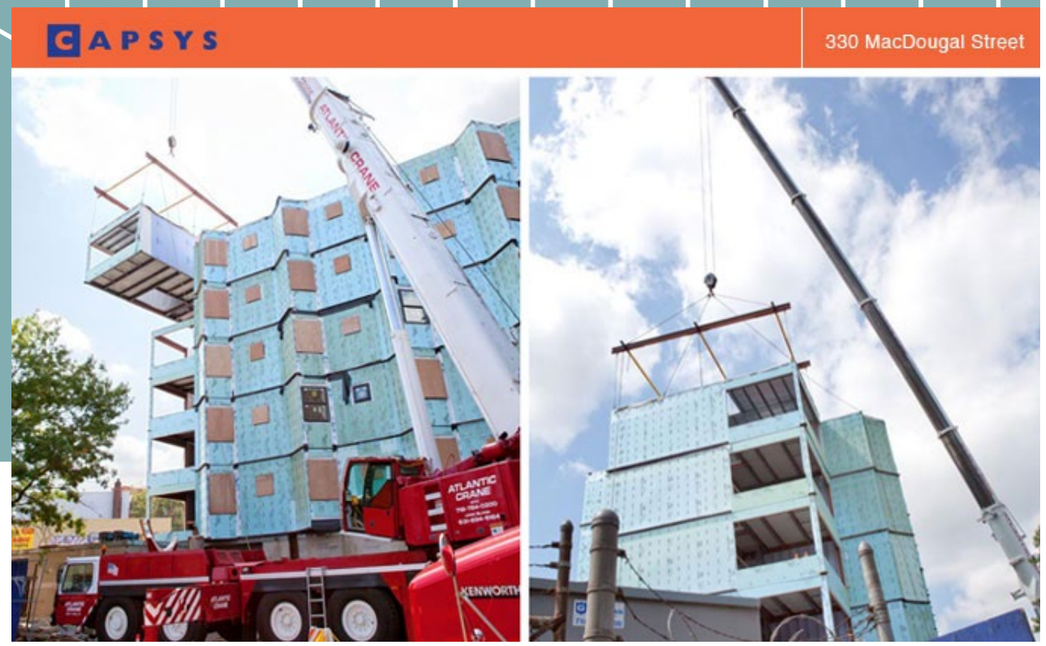
Completamento del modulo con l'installazione degli infissi; fasi finali della catena di montaggio – http://www.capsyscorp.com/process.php#



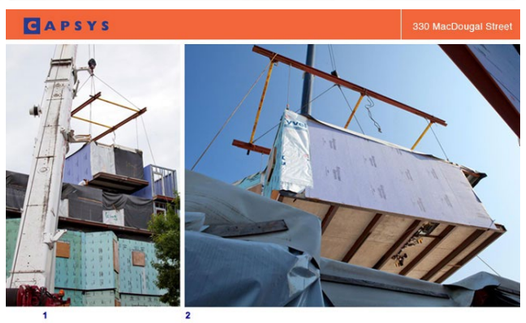
Al termine della catena di montaggio, i moduli sono completi e possono essere imballati e trasportati ad un magazzino di stoccaggio – http://www.capsyscorp.com/process.php#



Autogru con sistema idraulico di sollevamento per la movimentazione delle unità abitative modulari in cantiere – http://www.capsyscorp.com/process.php#



Installazione del modulo d'angolo di un edificio composto da 85 moduli e completato in 12 giorni. Di fianco: dettaglio dell'impalcato in calcestruzzo con gli attacchi dell'impianto idraulico, pronto per l'interconnessione con le terminazioni impiantistiche del soffitto sottostante – da http://www.capsyscorp.com/process.php#



Contesti tecnologici

03

3.1

Processi produttivi

Analisi dei processi produttivi

L'industrializzazione dell'edilizia passa attraverso le innovazioni del processo produttivo.
Il primo approccio è stato quello di rifarsi all'industria automobilistica che parte dall'idea di Henry Ford di introdurre la catena di montaggio.
Uno studio dettagliato delle varie fasi del processo di costruzione consente di individuare gli "spazi" per le innovazioni.
Le fasi selezionate sono:
- planning e progettazione;
- produzione in azienda;
- logistica di consegna;
- installazione definitiva.

All'interno delle quattro fasi sono stati determinati i punti da confrontare nei casi studio selezionati.

Un punto cruciale per l'ideazione e creazione di un edificio è costituito dal processo utilizzato per la sua realizzazione, siccome ha ripercussioni anche e soprattutto sulla qualità complessiva che si vuole ottenere e per i costi di manutenzione.
La necessità di dare una svolta al mondo dell'edilizia ha portato a cercare un modo per prefabbricare e quindi industrializzare i processi costruttivi. Per ottenere un processo produttivo efficiente si è rivolto lo sguardo all'industria automobilistica, rinomata per l'innovazione all'interno dei suoi processi di produzione. Questo tipo di industria ha una storia secolare, che parte dall'idea di Henry Ford di rivoluzionare la produzione automobilistica grazie all'introduzione della catena di montaggio.

Ford sperimentò un nuovo tipo di gestione del lavoro, per il quale non erano gli operai ma i manufatti ad essere spostati nei vari reparti e la manodopera sempre più specializzata. Questa vera e propria rivoluzione ebbe come esito principale la notevole diminuzione dei tempi di produzione e l'aumento esponenziale dei profitti, che furono reinvestiti nel miglioramento continuo delle sue tecniche di produzione, che portarono ad ulteriori guadagni di efficienza e riduzioni di prezzo.

Un primo tentativo di trasferire i metodi di produzione industriale sviluppati da Ford al campo dell'industria edile si ebbe negli anni '20 in Germania. L'obiettivo era quello di fornire case che fossero alla portata di tutti e per farlo si cercò di trasporre le tecniche che avevano portato Ford al successo, al mondo dell'architettura moderna. Nonostante le buone premesse, a causa degli aumenti dei prezzi dei terreni negli anni '30 il tentativo non produsse risultati soddisfacenti.
Un altro impulso importante all'industrializzazione arrivò sempre dall'industria automobilistica, ma questa volta dal Giappone, dove negli anni '50 Eiji Toyoda e Taiichi Ohno iniziarono a sviluppare ulteriormente i metodi di produzione di Henry Ford.
Dopo una visita agli stabilimenti Ford negli anni Cinquanta, Toyoda decise di introdurre nelle sue fabbriche automobilistiche in Giappone i metodi di produzione di massa statunitensi, apportando però numerosi miglioramenti per ottimizzare i processi aziendali incrementando la produttività: grazie alla consulenza di Taiichi Ohno inventa, ad esempio, il sistema Kanban per la reintegrazione delle scorte mano a mano che vengono consumate[1].

Il sistema di produzione messo a punto da Toyoda adottava un approccio diverso rispetto a Ford e mirava a superare i limiti della produzione di massa da lui sviluppata. Il sistema di produzione Toyota (o Toyota Production System) riduceva gli sprechi e i tempi di lavorazione dei componenti, evitando anche lo stoccaggio ed il trasporto. Fu ribattezzato poi "lean production" o "produzione snella" e permetteva una gestione molto più efficiente e flessibile dell'intero processo di produzione.

La lean production offre maggiore produttività e qualità, coinvolgendo direttamente i lavoratori attribuendo loro ruoli di responsabilità nel sistema di gestione per la qualità. Consente anche di gestire più modelli con un'unica catena di montaggio. Per un maggiore snellezza nella gestione, il sistema predilige fornitori che siano il più vicino possibile all'impianto di assemblaggio. La maggiore flessibilità della produzione snella è anche più adatta al settore edile; viene infatti utilizzata da vari produttori di case prefabbricate, tra cui la giapponese Daiwa House Group e De Meeuw dei Paesi Bassi.

Secondo gli studi portati avanti dal professor Ulrich Knaack, dall'architetto Sharon Chung-Klatte e dal ricercatore Reinhard Hasselbach, il processo produttivo può essere suddiviso in 4 fasi principali, che possono dar vita ad una serie di sottocategorie.
La prima fase individuata è quella del "planning e progettazione", alla quale seguono la produzione o prefabbricazione in azienda, la logistica della consegna al sito di cantiere e l'installazione definitiva. Per ottenere una produzione di successo è necessario che in tutte queste fasi siano controllati e perseguiti gli obiettivi di gestione dei costi, dei tempi e della qualità. Si dovrebbe quindi mirare a mantenere bassi i costi di produzione, a creare un'accurata pianificazione dei costi, avere brevi fasi di progettazione e costruzione e rispettare gli standard qualitativi richiesti dalla committenza.

Fase 1: planning e progettazione

La progettazione è un processo mirato a definire tutti i parametri di un edificio, dalla sua destinazione d'uso alla forma che si vuole ottenere, dal suo metodo di costruzione ai materiali da utilizzare. Durante questa fase vengono definiti gli obiettivi di costo, tempo e qualità; tutte le decisioni prese al momento del planning e progettazione possono essere modificate solo in parte nel corso delle fasi successive. Le possibilità di variare i costi dell'intervento diminuiscono man mano che si avanza nello sviluppo del progetto stesso, pertanto è bene considerare tutte le variabili che influiranno nel corso dell'intervento edilizio. Il professor Knaack ha evidenziato in uno schema il modo in cui la possibilità di variare le somme in gioco crolli vertiginosamente all'avanzare dello sviluppo progettuale.

La progettazione è un processo lungo e delicato, i cui effetti si ripercuotono sull'intero processo costruttivo, dal concept iniziale ai disegni di dettaglio. I due processi di progettazione e la successiva costruzione sono strettamente correlati; le decisioni iniziali stabiliscono parte delle successive, ragione per cui è bene formare un team di progettazione che coinvolga fin da subito tutti gli stakeholder che prenderanno parte al progetto.

Anche la fase di progettazione ha subìto l'influenza del mondo della produzione industriale. Le conoscenze riguardanti i sistemi di progettazione

1 *da "Eiji Toyoda, l'uomo che rese grande la Toyota" (https://wheels.iconmagazine.it/auto-classiche/personaggi/eiji-toyoda)*

sono state applicate al settore edile, il quale da alcuni decenni utilizza alcuni software nati come strumenti per il settore industriale. Primi tra tutti i sistemi CAD (Computer Aided Design), che si servono della computer grafica per supportare l'attività di progettazione e hanno l'obiettivo di creare modelli del manufatto da realizzare.

In certi casi i dati di progettazione vengono trasferiti sotto forma di disegni cad per la prefabbricazione controllata da computer di alcuni componenti. I processi di produzione assistita da computer (CAM) sono nati in ambito industriale, ma la loro applicazione si è ben presto estesa al mondo delle costruzioni. I sistemi di progettazione consentono di introdurre i processi CAD/CAM chiusi nei progetti di costruzione. Sono in grado di determinare il processo di costruzione e suddividerlo in fasi iterative. L'utilizzo di questi sistemi può essere vantaggioso perché possono soddisfare più varianti architettoniche, anche se questo può comportare un'influenza sulla gestione dei costi, specie nelle fasi successive dei lavori.

Grande influenza sulla progettazione è legata alla committenza. L'apertura mentale del committente è fondamentale per poter sviluppare la catena costruttiva e mettere a punto un sistema in grado di soddisfare le aspettative in termini di costi e qualità.

In questa fase di dovranno valutare:

- Tipologia della committenza
- Tipologia intervento
- Contesto geografico
- Progetto generale
- Sistema costruttivo
- Logica di sviluppo del progetto e individuazione della factory che produrrà i moduli

Fase 2: produzione in azienda

In contrasto con i sistemi di progettazione vi sono i sistemi di costruzione, primo fra tutti quello modulare, che è stato sviluppato secondo i principi di costruzione e della logistica piuttosto che quelli di progettazione. La sfida in questo senso è riuscire a produrre delle architetture che abbiano una propria identità nonostante il progetto si basi su un sistema di costruzione per forza di cose standardizzato e che sfrutta elementi modulari, le cui dimensioni sono spesso fisse e poco adattabili a dei requisiti specifici. Il progetto del singolo edificio si deve in qualche modo adattare alle dimensioni modulari, lasciando poco spazio a libertà di tipo architettonico. D'altra parte il grande vantaggio di questi sistemi è nel processo costruttivo assai ripetitivo, che consente un più sicuro controllo dei costi, del cronoprogramma dei lavori e della qualità finale, permettendo stime precise di questi tre parametri già dalle prime fasi della progettazione.

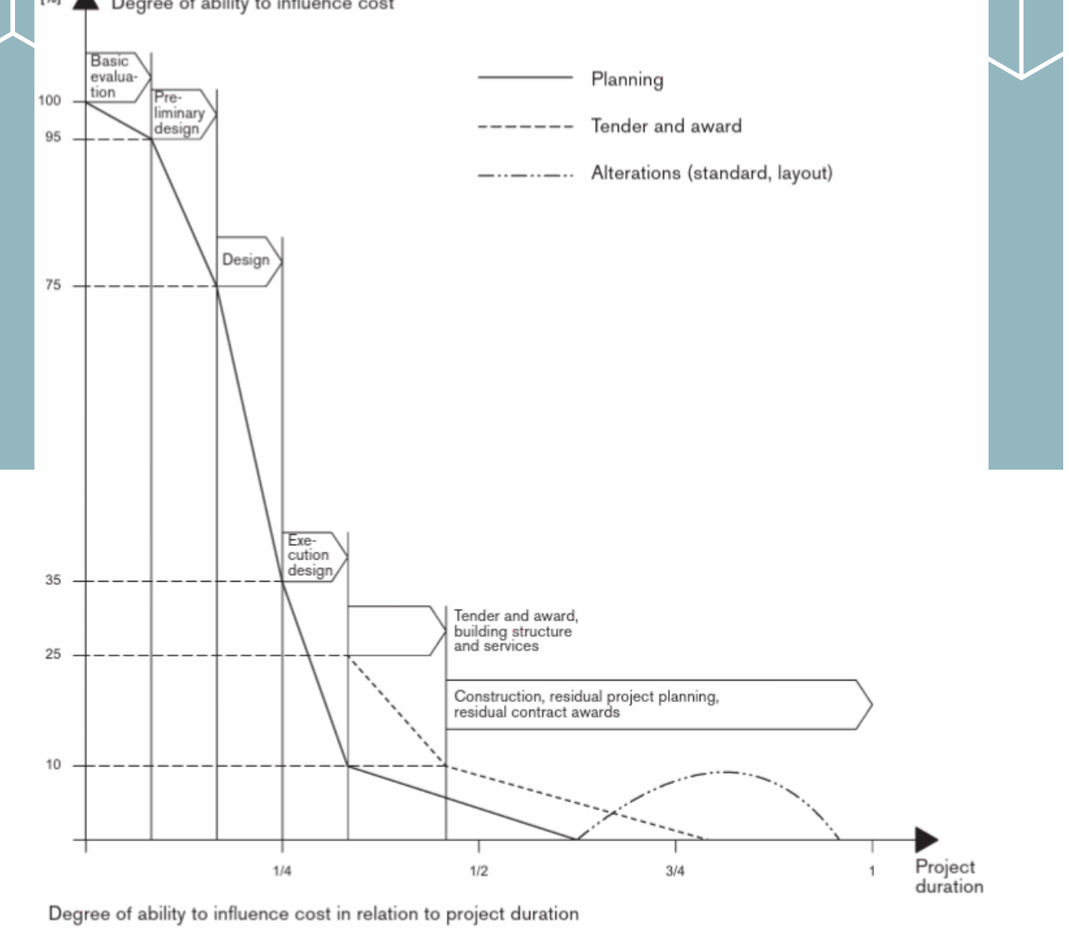
In questa fase si dovranno valutare:

- Scelta della factory
- Contesto geografico della factory
- Grado di sviluppo tecnologico della factory
- Flessibilità della factory
- Ingegnerizzazione del progetto interna od esterna alla factory (o entrambe)
- Integrazione tecnologie avanzate
- Logistica degli approvvigionamenti
- Industrializzazione da parte della factory
- Materiali strutturali
- Materiali coibenti
- Materiali per le finiture
- Organizzazione dello stabilimento
- Organizzazione del processo produttivo

Fase 3: Logistica della consegna al sito di cantiere

Il trasferimento delle componenti prefabbricate dalla factory al cantiere varia molto a seconda di vari parametri, tra cui il luogo in cui sorge l'intervento edilizio, la distanza tra factory e cantiere, i materiali con cui sono stati realizzati i moduli e la loro dimensione. Tutti questi fattori infatti hanno una forte influenza sulla logistica del trasferimento al cantiere. Ogni Stato ha, ad esempio, differenti regole per quanto riguarda il trasporto su gomma di elementi di grandi dimensioni, i quali, al superamento di determinate dimensioni, hanno l'obbligo di viaggiare a bordo di appositi autocarri, ma solo in orario notturno, per evitare intralci al traffico. Regole differenti si applicano nel caso di trasporti via nave, che avverranno all'interno di container e secondo linee guida della compagnia di trasporto merci.

Anche il materiale influisce molto sulla gestione del trasporto: alcuni moduli, specialmente quelli progettati per edifici pluripiano, sono più resistenti e dotati di intelaiature esterne spesso anche controventate che li rendono in grado di resistere a spinte verticali e orizzontali e non hanno quindi problemi ad essere accatastati l'uno sull'altro anche al momento dello stoccaggio.



Degree of ability to influence cost in relation to project duration

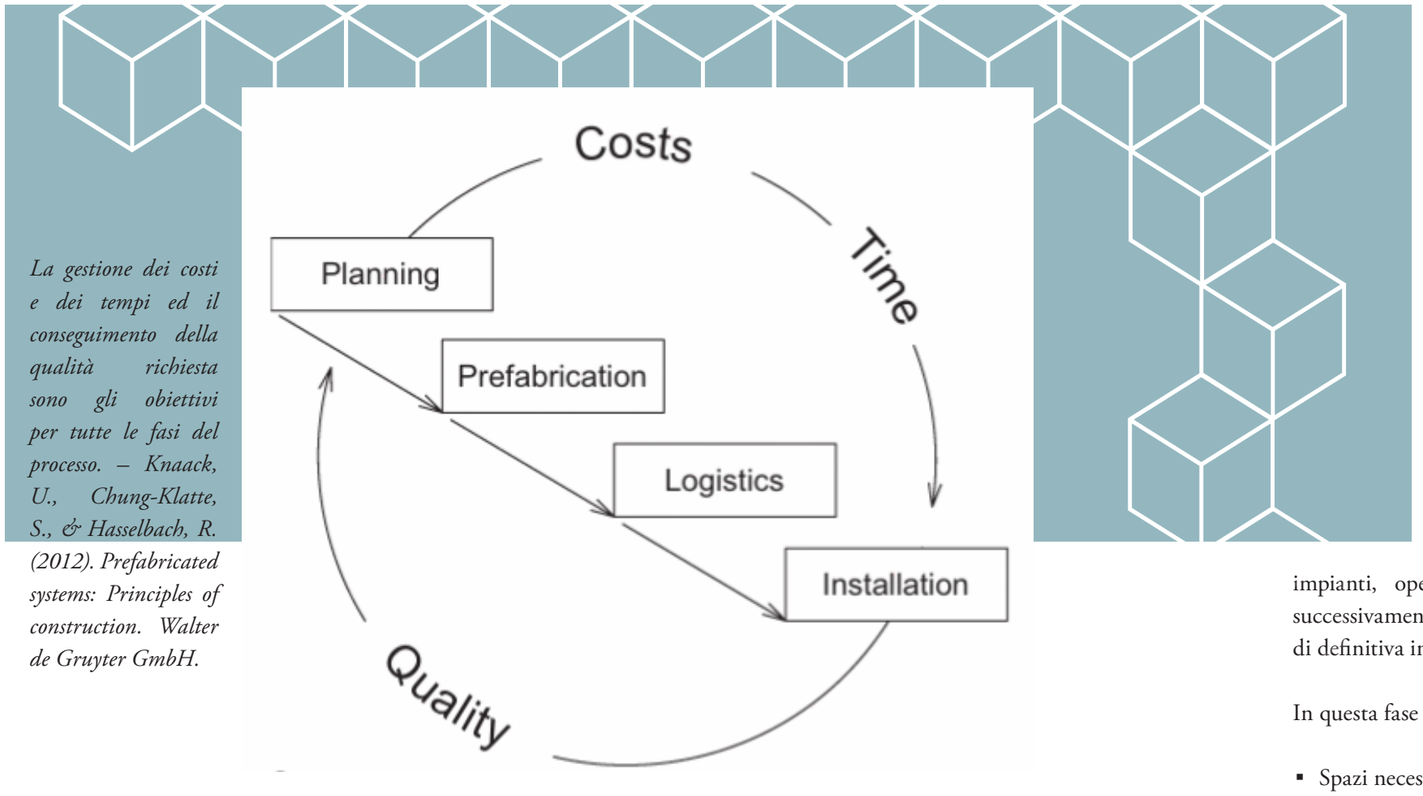
Capacità di influenzare i costi – Knaack, U., Chung-Klatte, S., & Hasselbach, R. (2012). Prefabricated systems: Principles of construction. Walter de Gruyter GmbH.

Altre strutture modulari non possiedono invece capacità di autoportanza strutturale e necessitano di una maggior cura durante gli spostamenti.

La distanza tra sede della factory ed il luogo del cantiere determinerà poi le tipologie di trasporti da utilizzare; in caso di ambiti internazionali, con realizzazioni in contesti del mondo diversi da quelli della azienda di prefabbricazione, si rende necessario lo sfruttamento di mezzi di trasporto diversificati, che saranno valutati caso per caso in base alla convenienza economica.

Un ambito particolare è costituito dalla prefabbricazione o preassemblaggio messi in scena vicino o sul sito di cantiere, internazionalmente definito multi-trade near-site factory. Si deve fare una grande distinzione tra le aziende localizzate e quelle che decidono di delocalizzare la propria produzione. Le factories appartenenti al primo caso sono dotate di uno stabilimento, solitamente di grandi dimensioni, dotato di tutte le tecnologie di cui ogni operaio necessita per portare a termine il processo produttivo di ogni modulo. La produzione viene quindi effettuata localmente, nel luogo in cui ha sede l'azienda, e tutte le lavorazioni saranno svolte al suo interno, fino ad ottenere un modulo tridimensionale completo.
Ci sono factories che preferiscono delocalizzare la propria produzione, creando degli hub più o meno temporanei vicini al luogo in cui sorge l'intervento edilizio che devono realizzare. Si tratta solitamente di aziende che lavorano con materiali semplici, come il calcestruzzo, che non hanno bisogno di tecnologie e personale altamente specializzato per la realizzazione dei propri moduli.

Il costo del trasporto è parte integrante della fabbricazione fuori sede che determina la fattibilità delle applicazioni specifiche. La prefabbricazione richiede un riesame della produttività in ambienti multi-trade.



La gestione dei costi e dei tempi ed il conseguimento della qualità richiesta sono gli obiettivi per tutte le fasi del processo. – Knaack, U., Chung-Klatte, S., & Hasselbach, R. (2012). Prefabricated systems: Principles of construction. Walter de Gruyter GmbH.

In questa fase di dovranno valutare:

- Logistica del trasferimento al cantiere
- Delocalizzazione della produzione vicino al cantiere

Fase 4: Installazione definitiva

Il sito del cantiere deve essere predisposto per ottenere un processo di installazione efficiente, prevedendo i corretti spazi per stoccaggio temporaneo e movimentazione di componenti di grandi dimensioni. Tutto il flusso di lavoro e la movimentazione di ogni singolo componente dovranno essere considerati in anticipo per fare in modo che il lavoro proceda senza intoppi.

Il cantiere di un edificio realizzato con alto grado di prefabbricazione vedrà l'intervento di poca manodopera specializzata, che si occuperà dell'installazione dei componenti già ultimati in stabilimento.
Alcune aziende arrivano ad una prefabbricazione molto avanzata, per la quale i moduli prodotti sono completi in ogni loro parte ed è sufficiente un collegamento di tipo "plug-and-play" degli impianti al momento dell'effettiva installazione in cantiere per avere l'effettiva funzionalità e usabilità del modulo stesso.
Altre tipologie di moduli prefabbricati sono prodotte in maniera meno tecnologica, pertanto necessitano di un completamento, ad esempio delle finiture interne e/o degli impianti, operato dalla manodopera specializzata successivamente alla messa in posa del modulo nel sito di definitiva installazione.

In questa fase di dovranno valutare:

- Spazi necessari allo stoccaggio temporaneo
- Attrezzature per la movimentazione
- Fasi di montaggio

Punti di confronto dei casi studio

Per analizzare obiettivamente e compiutamente i casi studio selezionati come significativi, all'interno delle quattro fasi di cui sopra, sono stati individuati i punti da confrontare:

- Committenza
- Progetto generale - Ideazione
- Ingegnerizzazione
- Logica di sviluppo del progetto
- Industrializzazione da parte della factory off-site
- Organizzazione stabilimenti produttivi
- Definizione sistema produttivi
- Capacità produttiva
- Logistica
- Montaggio in cantiere

3.2

Strumenti digitali

3.2.1
Integrazione e scambio dei dati elaborati con BIM, GIS, Digital Twin, DfMA e Realtà aumentata

Strumenti informatici

Il supporto informatico determinato dall'integrazione di svariati software e relative tecnologie ed algoritmi, unito alla possibilità di simulare facilmente soluzioni alternative, può costiture la base su cui impostare il futuro delle costruzioni off-site.

L'ipotesi di combinare in un'unica piattaforma la simulazione progettuale, produttiva e logistica offre potenziali, non ancora sfruttati, per trovare strategie operative ottimali.
L'integrazione e lo scambio dei dati elaborati con tecnologie digitali quali BIM, GIS, digital twin, DfMA – (Design for Manufacturing Assembly) e Realtà Aumentata, potrebbe costituire l'ambito su cui intervenire per ottenere una riduzione dei tempi e costi ed una semplificazione organizzativa tale da incrementare la diffusione della costruzione off-site.

La tecnologia del "digital-twin" può essere un efficace strumento di coordinazione del team per la gestione della catena degli approvvigionamenti. È un vero e proprio gemello digitale che replica in tutto il modello reale che deve essere costruito; ha le stesse proprietà, contiene gli stessi dati e informazioni e simula i comportamenti dinamici reali.
Il digital twin è una rappresentazione virtuale di un oggetto fisico o di un sistema, utilizzato per comprendere e prevedere potenziali problemi durante il suo ciclo di vita. Può essere usato per simulare diversi scenari reali in modo da prevedere gli eventuali rischi e imprevisti a cui può andare incontro la catena degli approvvigionamenti ed evitare potenziali problemi prima che si verifichino, deducendo informazioni e opportunità utili.

Si avvale del supporto di altre tecnologie, come il GPS (sistema di posizionamento globale), che fornisce in tempo reale i dati relativi all'esatta posizione del modulo che si sta movimentando. Il digital twin raccoglie e analizza i dati ed elabora tutte le informazioni utili di cui tenere conto durante la catena di approvvigionamento nella costruzione modulare; può, ad esempio, calcolare il percorso di consegna ottimale e accurati tempi di consegna.

Nonostante il suo potenziale promettente per la gestione della catena di approvvigionamento, la ricerca esistente sui "gemelli digitali" si trova principalmente nei contesti del funzionamento del prodotto e della gestione dell'officina. Esiste quindi un potenziale non sfruttato per l'utilizzo di un gemello digitale per la logistica, il processo in cui i moduli vengono prodotti in una fabbrica, immagazzinati in un magazzino e quindi consegnati, una componente chiave della gestione della catena di approvvigionamento nella costruzione modulare.

Recentemente, gli studi hanno indicato che un gemello digitale potrebbe consentire una gestione logistica efficiente, ma la loro applicazione è stata limitata alla logistica nelle fabbriche e nei magazzini. C'è ancora una mancanza di conoscenza sull'applicazione pratica del gemello digitale nella logistica per i progetti di costruzione in cui i materiali vengono consegnati da off-site al cantiere attraverso il trasporto. Molte incertezze e rischi logistici non sono stati quindi affrontati, ponendo una barriera importante all'applicazione diffusa della costruzione modulare.

Il digital twin riesce a monitorare gli oggetti in tempo reale, ricavando le informazioni utili dai dispositivi IoT, dotati di sensori fisici che raccolgono dati rilevanti per il modello digitale riguardanti ad esempio la qualità dell'aria o l'umidità. Più queste informazioni sono accessibili, migliore sarà il risultato del progetto.
Altri strumenti affiancano la tecnologia del digital twin e vi è anzi un continuo scambio di informazioni tra le diverse tecnologie. L' uso diffuso del BIM (Building Information Modeling) nell'ambiente costruito potrebbe trarre vantaggio dall'uso di un gemello digitale, siccome potrebbe ricavare da questo alcuni feedback utili per l'aggiornamento del modello.

Allo stesso tempo, il Building Information Modeling è uno degli elementi portanti della tecnologia del digital twin, perché racchiude in sé dati riguardanti la geometria dettagliata, la pianificazione, le quantità e proprietà del modulo. Ai fini della simulazione logistica, queste informazioni si aggiungono a quelle ricavabili grazie al sistema informativo geografico (GIS), capace di fornire dati geospaziali riguardanti il trasporto, ad esempio la regolamentazione e la presenza di traffico.

Il gemello digitale organizza tutti i dati derivanti dalle diverse tecnologie su cui si poggia; raccoglie le informazioni in tempo reale, analizza e simula i contesti per prevedere potenziali rischi logistici e calcolare percorsi di consegna dei moduli alternativi, stimando anche le divergenze sui tempi. Tale rilevamento proattivo dei rischi e una stima accurata delle consegne riducono al minimo le incertezze logistiche, facilitando così un efficace coordinamento della catena degli approvvigionamenti per ottimizzare la realizzazione dei progetti modulari.

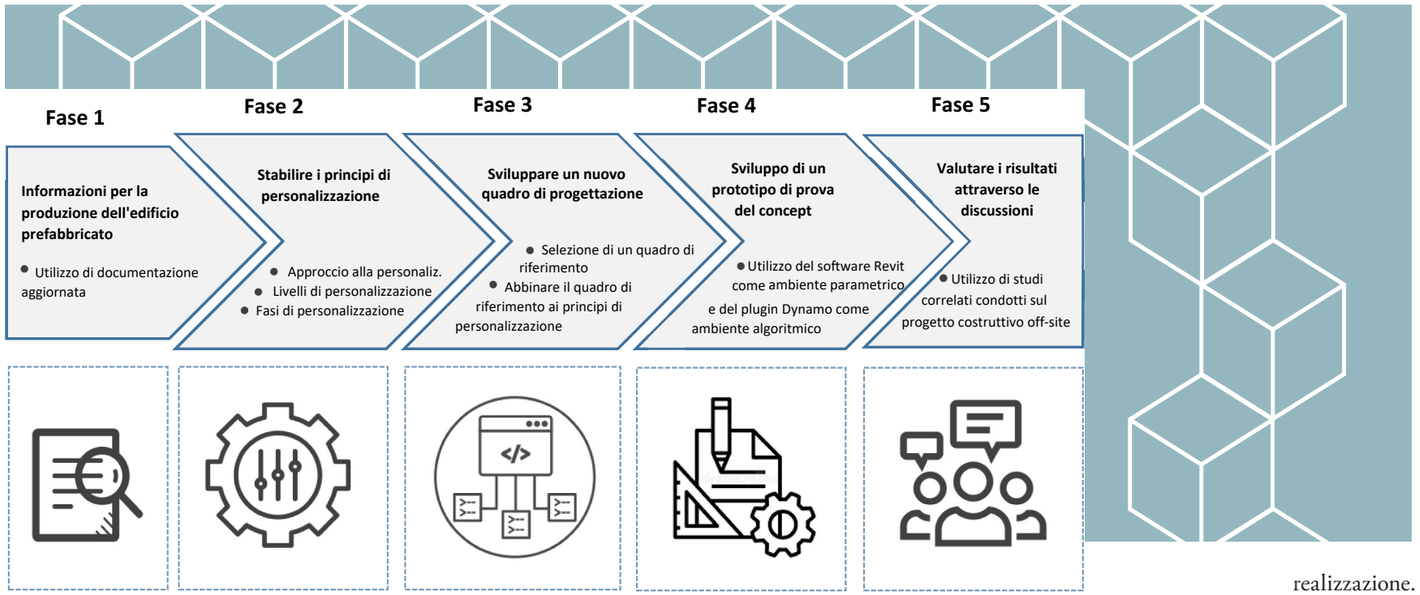
Se il gemello digitale viene applicato nella logistica insieme a BIM e GIS nella costruzione modulare, può monitorare e simulare diversi scenari logistici in tempo reale per prevedere eventuali rischi logistici potenziali e stimare percorsi di consegna e arrivo più accurati tempi per una vera consegna "just-in-time". Inoltre, l'intero processo della catena degli approvvigionamenti (ad esempio, produzione, logistica e assemblaggio) può essere simulato e integrato attraverso il gemello digitale per trovare strategie operative ottimali.
Nonostante questo potenziale, i gemelli digitali sono stati utilizzati principalmente nel settore della ricerca edilizia per la gestione operativa di singoli prodotti (ad esempio, attrezzature, robot ed edifici), lasciando aree non sfruttate per il monitoraggio logistico.

Una ragione fondamentale per questo potenziale non sfruttato è che BIM e GIS dovrebbero essere combinati su un'unica piattaforma per la simulazione logistica, ma sono creati da strumenti diversi con diversi formati di dati. Sebbene recenti ricerche abbiano integrato BIM e GIS con formati di dati interoperabili come le classi di base del settore (IFC) e il linguaggio di markup della geografia della città (CityGML), la

perdita di informazioni durante la trasformazione dei dati si verifica spesso e ha non è stato ancora affrontato in modo approfondito. Se qualsiasi informazione importante (ad esempio, consegna del modulo e pianificazione degli ordini, geometria, condizioni del traffico e condizioni meteorologiche) necessarie per la simulazione logistica viene persa attraverso la trasformazione dei dati nel gemello digitale, i dati potrebbero non essere abbastanza affidabili per la simulazione logistica. Pertanto, è necessario un metodo per eseguire la simulazione logistica in un gemello digitale utilizzando BIM e GIS senza preoccuparsi della perdita di informazioni.

3.2.2
Progettazione parametrica e algoritmica integrata BIM e DfMA

L'edilizia sta innescando dei cambiamenti significativi tra i quali c'è una nuova visione di industrializzazione che comprende tutte le fasi realizzative estendendosi anche alla progettazione architettonica.



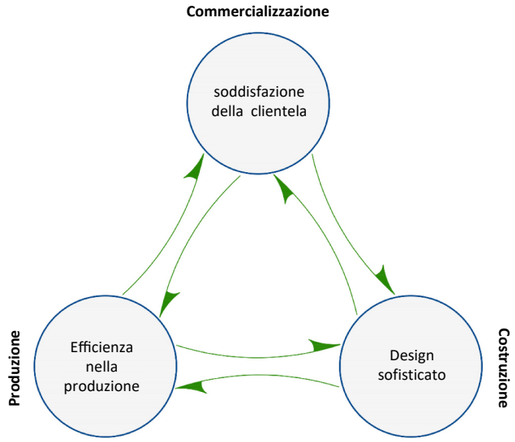
Metodologia e schema di ricerca sequenziale – da Integrated BIM and DfMA parametric and algorithmic design based collaboration for supporting client engagement within offsite construction Automation in Construction, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580521004660. *Elaborazione grafica a cura di F. Muratore.*

Una visione più ampia, in grado di cogliere, ad esempio, gli aspetti della personalizzazione del costruito, potrebbe prevedere invece la formazione di architetti con conoscenze di nuove regole/processi/protocolli per poter sviluppare progetti da realizzare con modalità di industrializzazione avanzata.
Potrebbe muovere in tale direzione l'individuazione di un sistema per supportare e migliorare le strategie di collaborazione, attraverso strumenti digitali, per il coinvolgimento dell'architetto e la partecipazione del cliente all'interno delle costruzioni off-site modulari.
Uno studio sperimentale[1] condotto congiuntamente da ricercatori:

- della Facoltà di Architettura e della Facoltà di Ingegneria Civile dell'Università di Tabriz, Iran;
- della Scuola di Informatica, Ingegneria e Tecnologie Digitali della Teesside University di Middlesbrough, Regno Unito;
- della Scuola di Ingegneria e l'ambiente costruito della Birmingham City University, Birmingham, Regno Unito;
- della Facoltà di Ingegneria e dell'ambiente costruito dell'Università di Johannesburg, Sudafrica;

ha verificato le possibilità di integrare un approccio DfMA (Design for Manufacturing and Assembly) basato sul BIM con una personalizzazione estesa per fornire una strategia, composta da fasi complementari per consentire ai clienti di partecipare al processo di configurazione di edifici prefabbricati ad alte prestazioni.

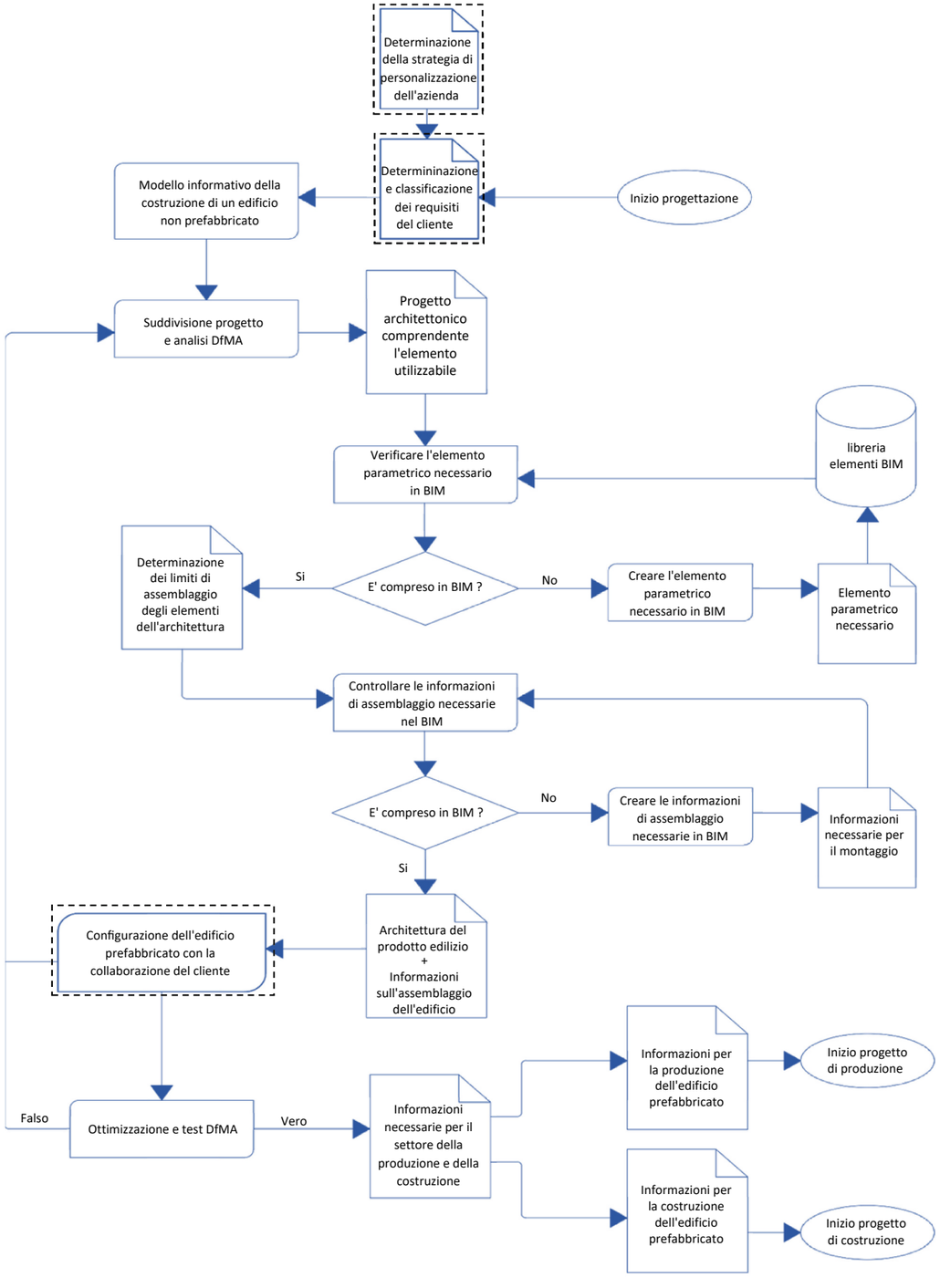
Questo approccio genera una maggiore soddisfazione del cliente aumentando al contempo l'efficienza produttiva e costruttiva. Il modello sviluppato è in grado di facilitare l'uso delle informazioni di costruzione per implementare il quadro pratico di realizzazione.
Nell'ambito delle costruzioni off-site, a causa dei complessi e distintivi processi legati alla catena di approvvigionamento, l'approccio costruttivo ha costantemente presentato diverse sfide di collaborazione tra i diversi stakeholder del progetto (ad esempio progettista, appaltatore e cliente). Le strutture di progetto hanno tradizionalmente tenuto il cliente lontano dal processo di progettazione e costruzione, spesso ignorando preferenze e ambizioni, a scapito del successo della realizzazione.
La strategia di personalizzazione è comunemente utilizzata per aumentare l'interazione tra il cliente e il team di progettazione che non solo gode degli aspetti positivi della produzione, ma soddisfa anche le preferenze del cliente. Tuttavia, date le complessità intrinseche associate agli edifici prefabbricati, tale strategia manca della flessibilità necessaria affinché i clienti possano scegliere i componenti separatamente senza considerare i requisiti tecnici della costruzione personalizzata.



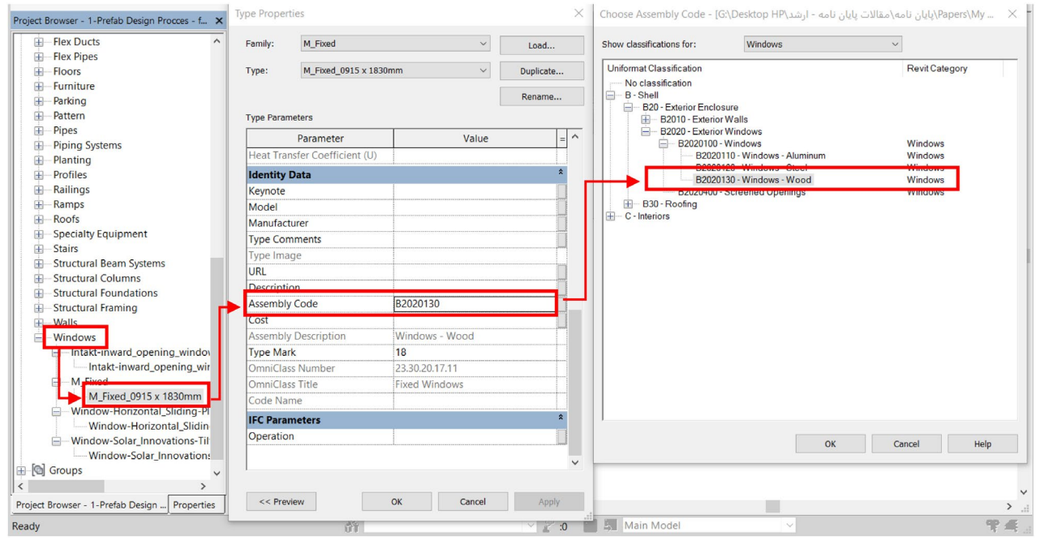
Aree e obiettivi dello studio e relazioni auspicabili – elaborazione grafica a cura di F. Muratore.

La combinazione del modello BIM all'interno dello schema organizzativo fornisce a tutte le parti interessate del progetto le informazioni preliminari necessarie per la configurazione di un edificio. Questo processo collaborativo utilizza una composizione algoritmica in cui le informazioni di assemblaggio correnti sia nel modello BIM che nello schema di processo vengono utilizzate come fattore di controllo nella configurazione. L'ambiente parametrico di Revit e l'ambiente algoritmico del plugin Dynamo sono stati utilizzati per realizzare lo schema di processo.

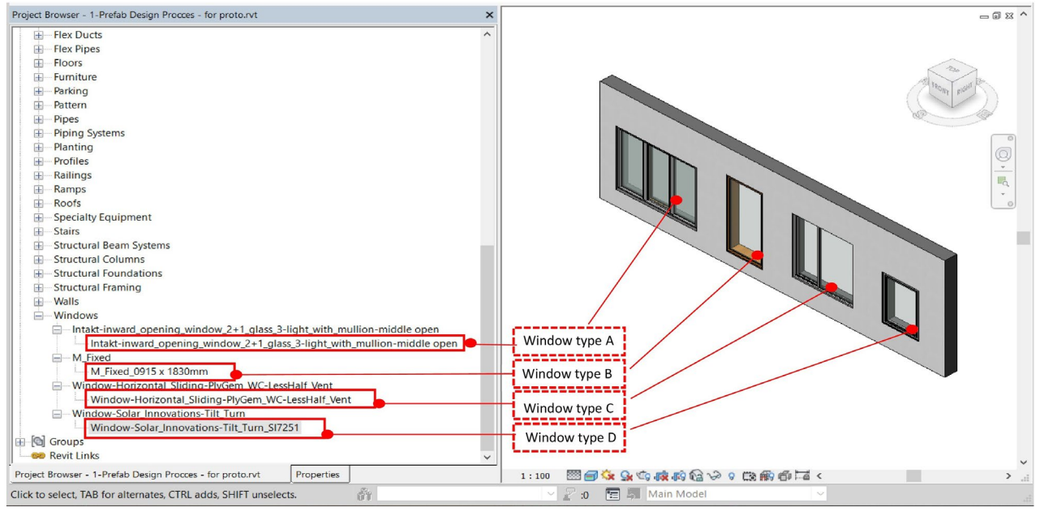
1 Sajjad Bakhshi, Mohammad Reza Chenaghlou, Farzad Pour Rahimian, David J. Edwards, Nashwan Dawood *Integrated BIM and DfMA parametric and algorithmic design based collaboration for supporting client engagement within offsite construction Automation in Construction*, Volume 133, 2022, 104015, ISSN 0926-5805. Available online: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580521004660 (accessed on 20 April 2022).



Schema DfMA sviluppato per raggiungere gli obiettivi della ricerca – da Integrated BIM and DfMA parametric and algorithmic design based collaboration for supporting client engagement within offsite construction. Elaborazione a cura di F. Muratore

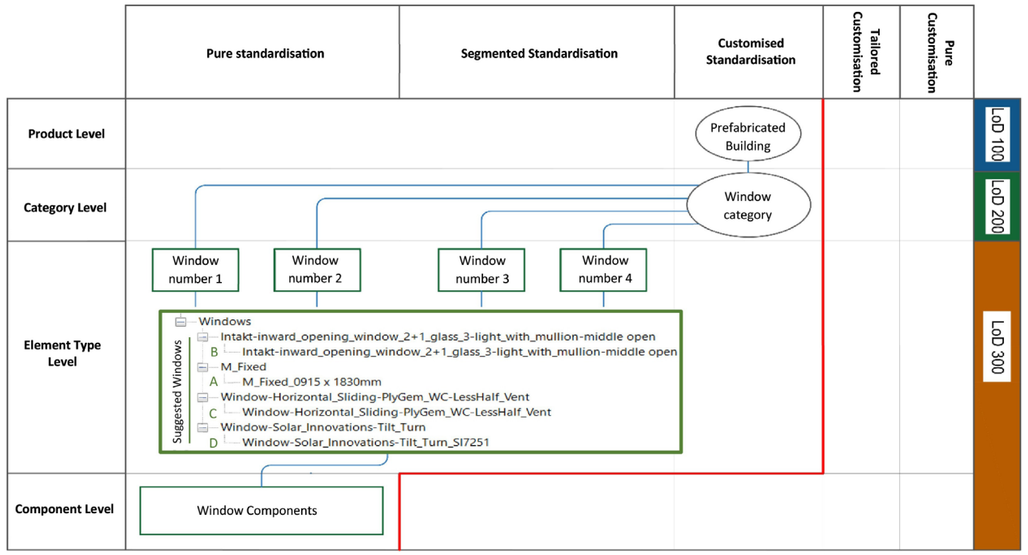


Parametrizzazione delle caratteristiche di montaggio del serramento selezionato – da Integrated BIM and DfMA parametric and algorithmic design based collaboration for supporting client engagement within offsite construction.



Scelta delle possibili tipologie di finestre, seleionate dal programma secondo i requisiti – da Integrated BIM and DfMA parametric and algorithmic design based collaboration for supporting client engagement within offsite construction.

La funzionalità delle strategie è stata verificata sviluppando un prototipo per la personalizzazione delle finestre degli edifici. Gli algoritmi e le metodologie per la progettazione e la configurazione degli elementi si interfacciano con il software Revit utilizzato come interfaccia.



Inserimento dati per creazione del PIM - Prefabrication Information Model – da Integrated BIM and DfMA parametric and algorithmic design based collaboration for supporting client engagement within offsite construction.

La sperimentazione ha focalizzato principalmente l'attenzione su questi punti:

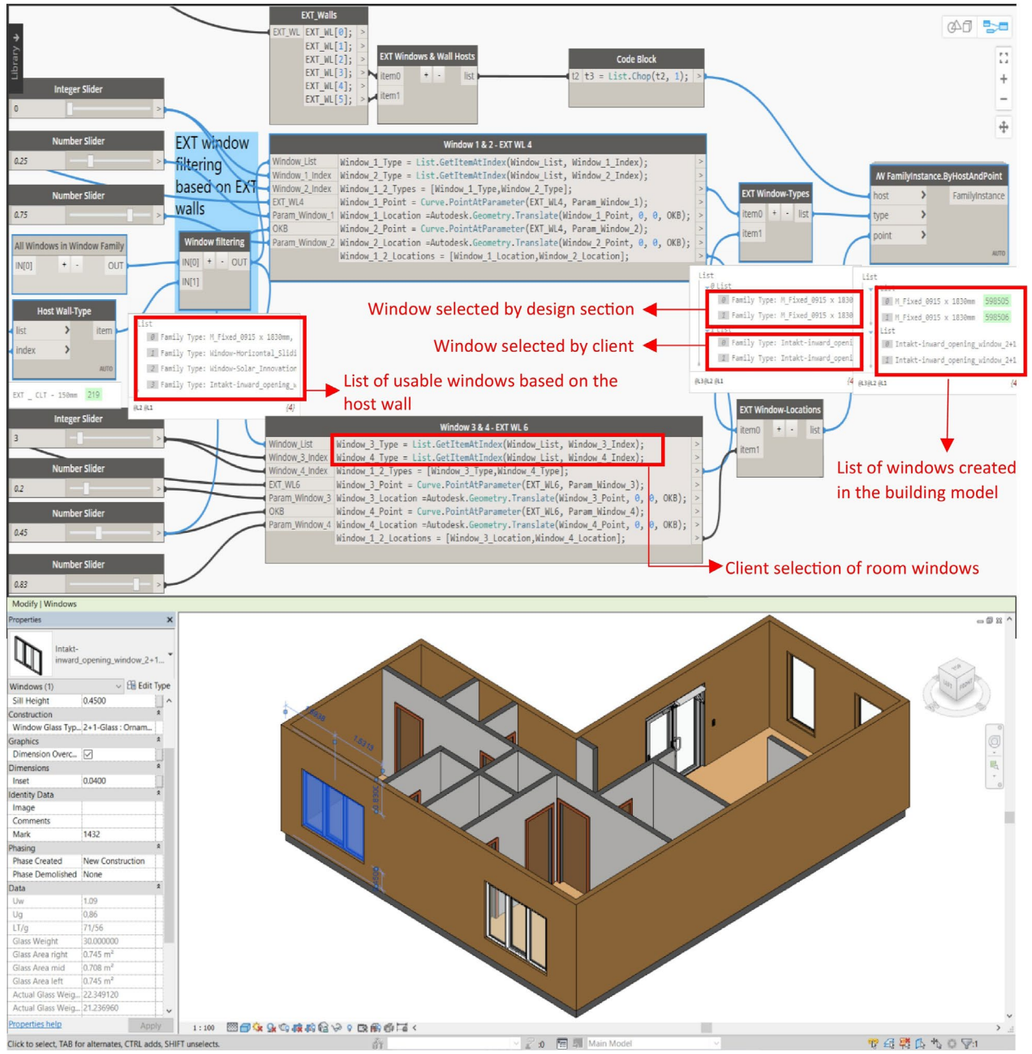
- è stato definito un quadro di lavoro (framework) basato su DfMA e su principi di personalizzazione, consentendo così la contemporanea valorizzazione dei principi di progettazione off-site e della soddisfazione del cliente permettendogli di personalizzare gli elementi e i componenti dell'edificio nella misura consentita dall'azienda;
- il framework proposto per la fase di personalizzazione della progettazione dell'edificio contiene un algoritmo che consente al cliente di partecipare al processo di configurazione in base alle limitazioni dell'assemblaggio;
- il quadro teorico offerto e i relativi algoritmi, utilizzati per il processo di progettazione degli elementi e di configurazione dell'edificio, possono essere utilizzati in modo trasparente tramite l'interfaccia grafica fornita dall'ambiente BIM;
- è stato sviluppato un modello informativo innovativo per la raccolta di diversi tipi di informazioni riguardanti gli edifici prefabbricati e i loro elementi (tra cui la personalizzazione, le informazioni orientate al prodotto e alla costruzione) per mettere in relazione i concetti teorici con questioni pratiche e tecniche associate alla progettazione digitale e all'industria off-site.

Il modello informativo sviluppato nella ricerca (PIM - prefabrication information model), che raccoglie tutte le informazioni relative alla produzione, costruzione e personalizzazione di tutti gli elementi prefabbricati, fornisce ai settori di marketing una comprensione orientata al prodotto e all'edificio. Questo consente di determinare la strategia di personalizzazione dell'azienda, per i prodotti offerti, da una prospettiva più completa e di definire e classificare i livelli accettabili di personalizzazione del cliente in base alla strategia scelta.

Inoltre, i livelli di architettura del prodotto disponibili in questo modello consentono agli esperti della sezione DfA degli edifici prefabbricati di definire tutte le informazioni riguardanti le relazioni funzionali tra gli elementi e i componenti fisici, che possono essere utilizzate nel processo di progettazione. Le informazioni generali sugli elementi e i componenti utilizzati in questa architettura di prodotto possono guidare la progettazione di elementi e componenti dell'edificio durante tutto il processo di progettazione. Le informazioni sull'architettura del prodotto dell'edificio

prefabbricato personalizzato e le informazioni di produzione nel modello BIM possono essere utilizzate come informazioni affidabili per avviare il processo di produzione.
I progettisti possono utilizzare i LoD per determinare il livello di lavoro e la cura necessari per gestire i dettagli di progettazione nel processo di progettazione degli elementi. Al termine del processo di progettazione, i LoD dei diversi elementi e componenti inclusi nell'architettura del prodotto dell'edificio personalizzato possono fornire informazioni affidabili per l'avvio del processo di costruzione.

L'idea di un algoritmo di configurazione è stata sviluppata per utilizzare correttamente le informazioni di assemblaggio e personalizzazione all'interno del modello innovativo per ottenere risultati di alta qualità. Inoltre, i requisiti di assemblaggio degli elementi, determinati nel modello BIM, sono stati utilizzati per automatizzare le scelte del cliente migliorandone la soddisfazione e mitigando il rischio di errori di produzione e assemblaggio.



Algoritmo di configurazione in Dynamo – da Integrated BIM and DfMA parametric and algorithmic design based collaboration for supporting client engagement within offsite construction.

3.2.3
Coordinamento della catena di approvvigionamenti con Digital Twin integrato con dati BIM, sensori IoT e GIS

Uno dei vantaggi delle costruzioni off-site modulari è individuabile nella riduzione della programmazione e dei costi del progetto[1].
Poiché molti progetti si svolgono in aree urbane densamente popolate con spazio limitato per lo stoccaggio dei moduli, gli scostamenti dai tempi programmati inducono dei periodi di inattività.
Ad esempio, se un modulo arriva al sito prima del previsto, il trasportatore subirà dei tempi di attesa; se arriva in ritardo saranno invece i lavoratori sul campo e le attrezzature a dover attendere; il modulo deve essere prodotto e consegnato al cantiere nei giusti tempi[2].
Pertanto, la costruzione modulare richiede un efficace coordinamento della catena di approvvigionamento tra lo stabilimento di produzione, la logistica e il cantiere di costruzione in loco[3].

Tramite l'utilizzo della tecnologia del Digital Twin è possibile sviluppare un modello per la simulazione logistica in tempo reale, in grado di prevedere potenziali problemi e tempi di arrivo accurati dei moduli. Il gemello digitale, una replica virtuale del modulo fisico, aggiorna i dati in base alle informazioni Building Information Modeling (BIM) quasi in tempo reale utilizzando sensori Internet of Thing (IoT). Quindi, l'attività virtuale viene trasferita e sfruttata per la simulazione logistica ad un'applicazione di ricerca dell'itinerario basata su un sistema informativo geografico (GIS)[4].

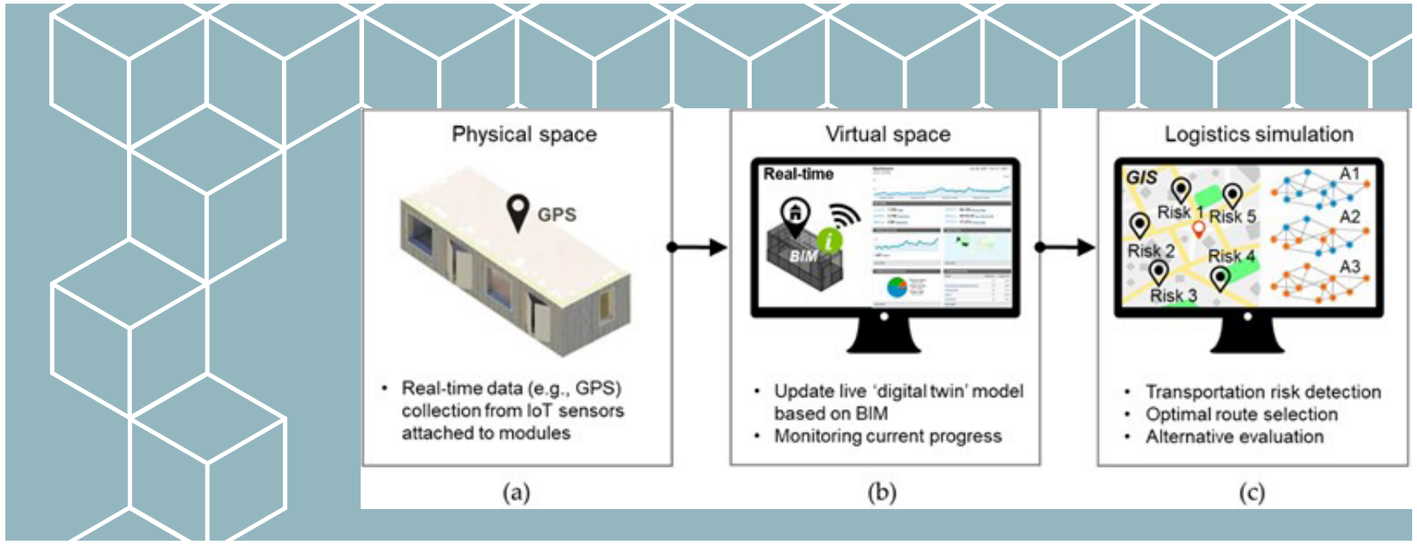
I ricercatori del Tishman Construction Management Program presso il Department of Civil and Environmental Engineering dell'Università del Michigan, USA hanno svolto uno studio con l'obiettivo di sviluppare e testare un sistema di Digital Twin che integri BIM e GIS a livello applicativo per il monitoraggio e la simulazione della logistica in tempo reale nella costruzione modulare.

Il Digital Twin può rappresentare in tempo reale risorse di costruzione modulari (ad esempio, moduli, camion di consegna, lavoratori e altri oggetti di trasporto). Il gemello digitale riceve dati IoT in tempo reale (ad esempio, GPS) da risorse fisiche e aggiorna le sue risorse nello spazio virtuale in base al BIM. Quindi, il gemello digitale può testare diversi scenari logistici dall'analisi predittiva con le risorse virtuali per trovare potenziali rischi e percorsi di consegna ottimali basati su GIS.

Il gemello digitale proposto evita il problema della perdita di informazioni perché non integra BIM e GIS a livello di dati, ma scambia selettivamente solo le informazioni necessarie per il monitoraggio e la simulazione logistica a livello di applicazione.

La struttura del Digital Twin è costituita da tre componenti, come illustrato nella figura sotto.

I dati sensoriali in tempo reale (ad esempio, GPS) vengono raccolti dal modulo che aggiorna il proprio assetto nello spazio virtuale. L'elemento virtuale, sincronizzato, può essere visualizzato nell'ambito del progetto, mostrandone l'avanzamento (ad esempio, la posizione del modulo e lo stato dell'insieme). Quindi, l'asset può essere utilizzato per un'analisi predittiva per prevedere potenziali rischi logistici e trovare piani alternativi.



Struttura Digital Twin per la simulazione logistica in tempo reale in edilizia off-site modulare: (a) raccolta dati; b) aggiornamento delle attività virtuali; c) analisi di simulazione. – Da Lee, D.; Lee, S., Digital Twin for Supply Chain Coordination in Modular Construction. Appl. Sci. 2021, 11, 5909)

Quanto testato ha evidenziato che la struttura suggerita, basata su Digital Twin è in grado di prevedere i rischi logistici quasi in tempo reale e indicato come influisce sugli ETA previsti (tempi stimati di arrivo) e sulla successiva pianificazione del progetto nella costruzione modulare.

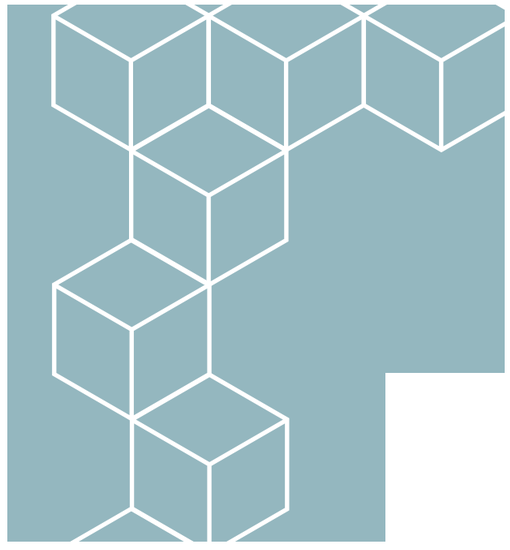
L'idea centrale è quella di creare un asset virtuale basato sul BIM per monitorare i progressi attuali e richiedere selettivamente le analisi necessarie per la simulazione logistica in un'applicazione al di fuori del Digital Twin.

1 Bertram, N.; Fuchs, S.; Mischke, J.; Palter, R.; Strube, G.;Woetzel, J. Modular construction: From projects to products. In Capital Projects & Infrastructure; McKinsey & Company: Summit, NJ, USA, 2019; pp. 1–30. Available online: https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/modular-construction-from-projects-to-products (accessed on 10 April 2022).
2 Choi, J.O.; Bin Chen, X.; Kim, T.W. Opportunities and challenges of modular methods in dense urban environment. Int. J. Constr. Manag. 2019, 19, 93–105. Available online: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15623599.2017.1382093 (accessed on 10 April 2022)
3 Wuni, I.Y.; Shen, G.Q. Critical success factors for modular integrated construction projects: A review. Build. Res. Inf. 2020, 48, 763–784. Available online: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09613218.2019.1669009 (accessed on 10 April 2022).
4 Brenner, B.; Hummel, V. Digital Twin as Enabler for an Innovative Digital Shopfloor Management System in the ESB Logistics Learning Factory at Reutlingen—University. Procedia Manuf. 2017, 9, 198–205. Available online: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978917301579?via%3Dihub (accessed on 10 April 2022).

L'architettura di sistema della piattaforma Digital Twin sperimentata presso il Department of Civil and Environmental Engineering, "Tishman Construction Management Program" dell'Università del Michigan, Ann Arbor, MI, USA è schematizzata nella figura della pagina successiva. Lo schema generale del sistema, con il suo flusso logico, mostra anche come l'analisi dei dati per la simulazione logistica possa essere eseguita senza combinare BIM e GIS in un unico formato di dati.
Il sistema è composto da un front-end web e un back-end. Il back-end contiene un motore grafico Unity (sviluppato da Unity Technologies, San Francisco, CA, USA) per la creazione di contenuti 3D interattivi in tempo reale in grado di recepire i dati BIM. Tramite il motore Unity tutti i membri del progetto possono essere collegati su un'unica piattaforma collaborativa e immersiva per la condivisione delle informazioni in tempo reale con la visualizzazione. Tramite il motore grafico vengono testati diversi scenari derivanti dall'analisi predittiva eseguendo milioni di simulazioni fisiche in parallelo.

Il flusso operativo inizia con l'inserimento nel sistema, da parte del project manager, dei dati BIM necessari per il progetto off-site modulare (ad esempio, geometria del modulo, proprietà dei materiali, consegna e programma di assemblaggio) e parametri di simulazione (ad esempio, velocità di produzione, velocità di assemblaggio e velocità di trasporto). Nel frattempo, i sensori IoT raccolgono dati sensoriali in tempo reale (ad esempio, GPS) dai moduli.
Il motore Unity crea una risorsa in uno spazio virtuale combinando i dati dei sensori BIM e IoT. L'asset virtuale include tutte le informazioni (ad esempio, geometria, posizione corrente e proprietà del materiale) dal modulo fisico. L'asset virtuale stesso può essere utilizzato per monitorare le condizioni o testare le prestazioni della logistica. Le informazioni necessarie per le ricerche di percorsi logistici (ad esempio, peso, geometria, posizione della fabbrica e del sito e posizione dei moduli) possono essere estratte in modo selettivo.

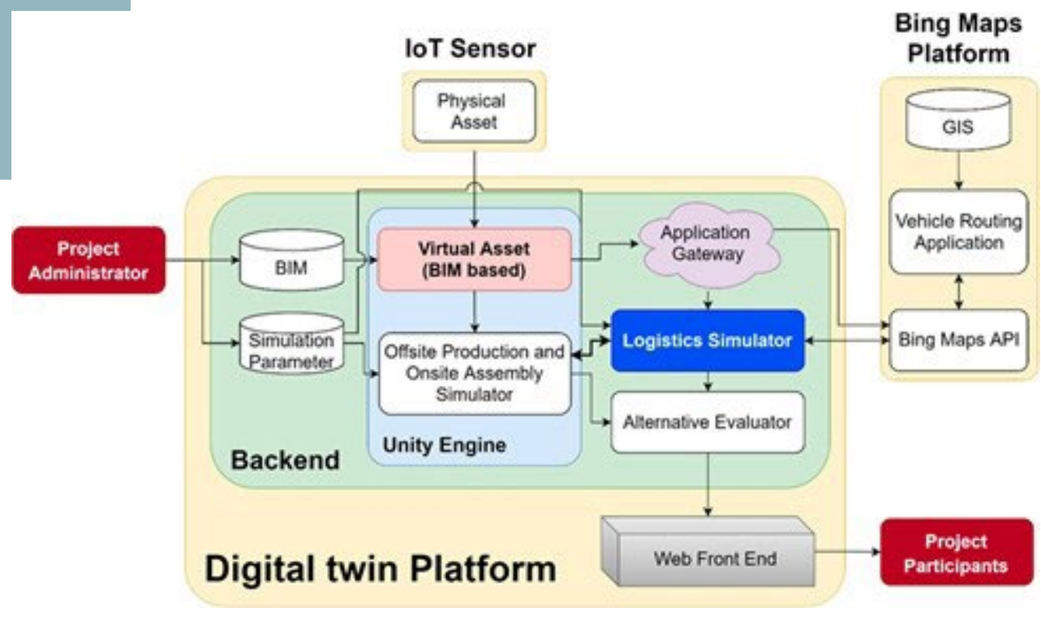
Le informazioni vengono quindi trasferite in tempo reale all'applicazione Bing Maps, attraverso input automatizzato. Bing Maps fornisce un servizio di mappatura Web basato su cloud per attività quali la ricerca di posizioni, della migliore soluzione a livello di tracciato e la visualizzazione del percorso. Bing include anche un'API (Application Programming Interface) che consente agli utenti di creare diversi tipi di applicazioni basate su mappe sulle proprie piattaforme. Ad esempio, quando Digital Twin richiede a Bing Maps di cercare un percorso di consegna che esclude le autostrade, restituisce le coordinate per ogni punto di svolta del camion in base al GIS. Inoltre, Bing Maps offre un vantaggio chiave per il routing modulare dei camion in quanto è in grado di incorporare vincoli di ricerca come pendenza massima, raggio di sterzata minimo, restrizioni di altezza e larghezza e restrizioni di carico massimo[5].



Il back-end comprende due simulatori:

- Il primo dedicato alla produzione off-site e per la simulazione di assemblaggio in loco. Il motore Unity consente la simulazione 3D dettagliata e l'analisi dei dati (ad esempio, test delle prestazioni)[6]. I tempi di produzione dei moduli, i tempi di assemblaggio, i costi e i tempi di inattività delle apparecchiature possono essere simulati in Unity con un modello 3D in tempo reale.
- L'altro simulatore è per la simulazione logistica, è collegato a Bing Maps in tempo reale ed è responsabile della ricerca dello scenario logistico ottimale con percorsi alternativi. Ad esempio, il simulatore logistico invia la posizione corrente e la geometria del modulo a Bing Maps e individua un percorso che non richiede autorizzazioni o pedaggi per il transito. In alternativa, il simulatore può selezionare il percorso più veloce indipendentemente dai pedaggi per consegnare il modulo il prima possibile se i team in loco hanno ultimato il lavoro precedente e sono in attesa del modulo successivo.

Inoltre, l'ETA (estimated times of arrivals) del modulo viene calcolato eseguendo la simulazione logistica in base al percorso fornito da Bing Maps. Utilizzando questi due simulatori, è possibile valutare contemporaneamente tutti i principali processi modulari della supply chain di costruzione, come la produzione di moduli, la logistica e l'assemblaggio in loco. Tale simulazione integrata della catena di approvvigionamento può fornire informazioni importanti per un coordinamento e una collaborazione efficace ed interdipendente tra gli operatori del progetto (Project Participants). Ad esempio, è possibile pianificare una consegna "just-in-time" regolando il programma di produzione e consegna di un nuovo modulo in base alla posizione corrente del modulo e al suo ETA accurato. Quindi, vari scenari logistici derivati attraverso la simulazione possono essere rivisti quantitativamente nel modulo Alternative Evaluator. Infine, lo scenario ottimale può essere visualizzato attraverso il front-end web e consegnato ai Project Participants.



Architettura di sistema della piattaforma Digital Twin per la simulazione logistica. – Da Lee, D.; Lee, S., Digital Twin for Supply Chain Coordination in Modular Construction. Appl. Sci. 2021, 11, 5909.

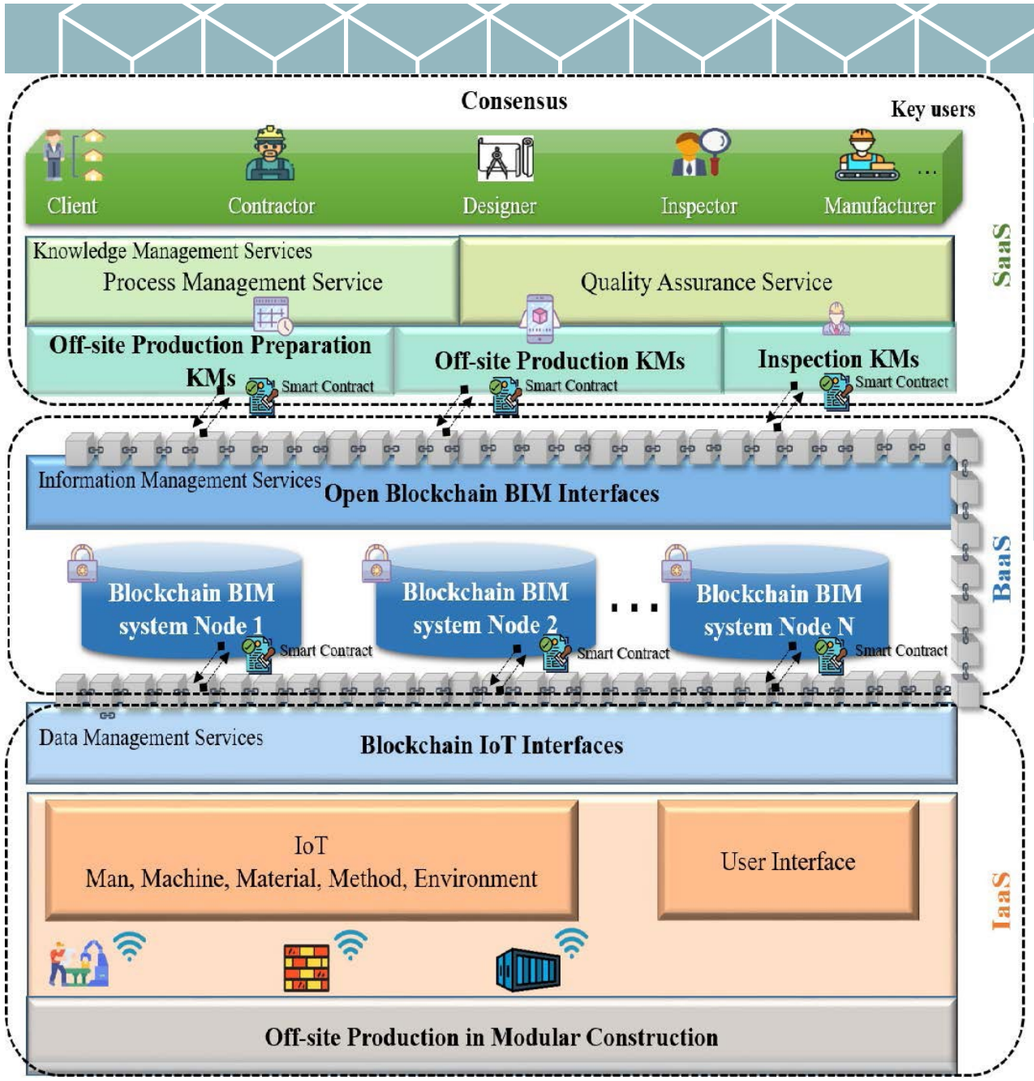
5 *Calculate a Route*—Bing Maps|Microsoft Docs. Available online: https://docs.microsoft.com/en-us/bingmaps/rest-services/routes/calculate-a-route (accessed on 10 April 2022).
6 Unity-Technologies/Unity-Simulation-Docs. Available online: https://github.com/Unity-Technologies/Unity-Simulation-Docs (accessed on 13 April 2022).

3.2.4

Collegamento della blockchain alla piattaforma Internet of Things (IoT)-BIM per la gestione della produzione off-site modulare

La tecnologia riveste un aspetto fondamentale ormai in tutti gli ambiti e la trasformazione digitale induce un continuo aumento del volume dei dati in circolazione.

Per soddisfare la crescente necessità di chiarezza, trasparenza e sicurezza delle informazioni è stata ideata una tecnologia denominata Blockchain che costituisce l'ultima frontiera dell'innovazione in tema.
Grazie alle sue flessibili possibilità, la "catena di blocchi" di dati trova applicazione nella produzione off-site diventando un valido alleato per implementare le logiche dettate dall'Industria 4.0[1].



ID	XaaS	Evidence process	Media of evidence	External interaction
❶	IaaS	Reality → data	Blockchain system	OPM-MC practice
❷	BaaS	Data → information	Blockchain BIM	Existing ERP systems
❸	SaaS	Information → knowledge	PM/QA on end devices	End users

Panoramica della piattaforma IoT-BIM abilitata per blockchain. Nella pagina a fianco l'architettura di sistema a tre strati; sopra le evidenze e interazioni esterne coinvolte nell'architettura di sistema – da Linking permissioned blockchain to Internet of Things (IoT)-BIM platform for off-site production management in modular construction. (https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103573)

Il ricorso alla Blockchain nel processo produttivo dell'off-site modulare consente di conferire a più persone il controllo dei dati, aumentando la velocità di reperimento degli stessi e risolvendo il problema di asimmetria tra le parti. La garanzia di una maggior affidabilità e sicurezza dei dati, lungo tutti i processi produttivi e distributivi, diventa fondamentale per gestire e supportare al meglio approvvigionamenti, logistica e rapporti di filiera[2].

L'impiego della Blockchain, con i suoi relativi vantaggi in termini di qualità e trasparenza, consente:

- la gestione e monitoraggio della supply chain e di tutte le sue singole fasi, dai singoli componenti al modulo finito;
- il tracciamento digitale di ogni spostamento dei materiali per consentire agli addetti ai lavori di accedere a qualsiasi informazione inerente alla spedizione, ottenendo una garanzia di veridicità;
- la codifica di documentazioni e certificati relativi al prodotto, per permettere a chiunque di disporre dell'intera documentazione riguardante lo stesso, rendendola unica, tracciabile e non falsificabile;
- in ambito IoT è possibile la certificazione dei macchinari impiegati lungo la catena produttiva. Tramite il codice identificativo di ogni singolo macchinario è possibile risalire a quelli utilizzati durante la lavorazione, garantendo così la qualità del processo produttivo, che diventa verificabile e dimostrabile.

Uno degli aspetti fondamentali nella catena produttiva di moduli prefabbricati è rappresentato dalle modalità di collegamento delle fasi progettuali con quelle realizzative.
Sono state sviluppate varie piattaforme BIM (Building Information Modeling) abilitate per l'Internet of Things (IoT) per facilitare la gestione della produzione fornendo una migliore visibilità delle informazioni, tracciabilità e una maggiore collaborazione in ambiente di lavoro[3].
Tuttavia, nel complesso, le piattaforme esistenti

1 Li, C. Z., Hong, J., Xue, F., Shen, G. Q., Xu, X., & Luo, L. (2016). SWOT analysis and Internet of Things-enabled platform for prefabrication housing production in Hong Kong. Habitat International, 57, 74-87. https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2016.07.02.

2 Li, C. Z., Chen, Z., Xue, F., Kong, X. T., Xiao, B., Lai, X., & Zhao, Y. (2021). A blockchain -and IoT- based smart product-service system for the sustainability of prefabricated housing construction. Journal of Cleaner Production, 286, 12539. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125391.

3 Linking permissioned blockchain to Internet of Things (IoT)-BIM platform for off-site production management in modular construction - https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103573.

soffrono di due carenze: (a) il problema del “single point of failure" (presenza di punti di vulnerabilità) delle reti IoT e (b) come garantire la provenienza dei dati BIM, modificabili da più fonti[4].

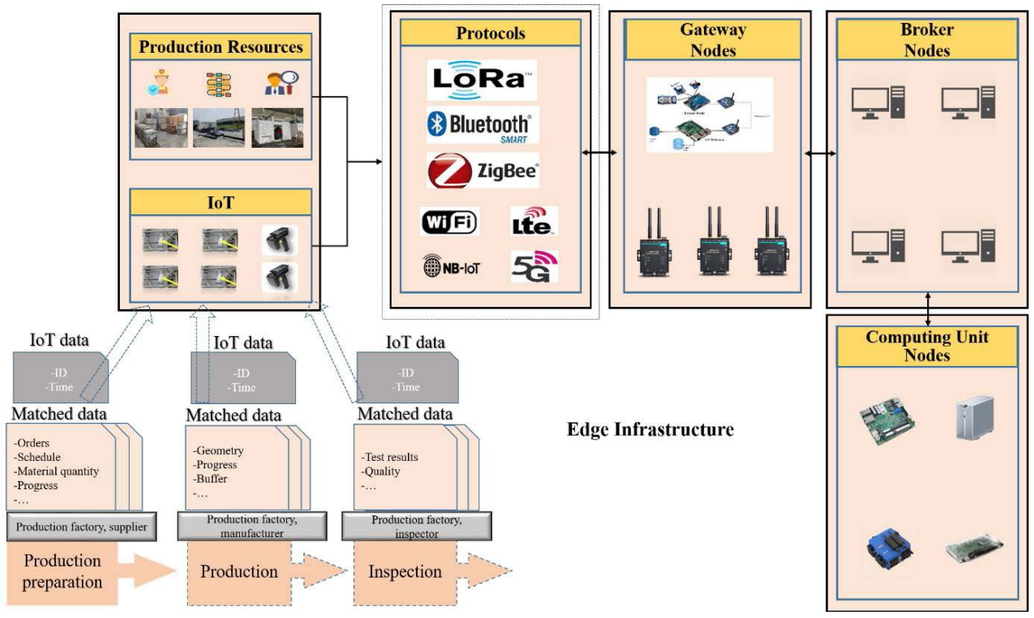
I ricercatori del Department of Real Estate and Construction Management dell’Università di Hong Kong, hanno condotto uno studio per sviluppare una piattaforma IoT-BIM abilitata alla blockchain (BIBP - Blockchain-enabled IoT-BIM Platform) per la gestione della produzione off-site modulare in grado di superare le carenze riscontrate. Viene adottato un metodo di ricerca scientifica per sviluppare un'architettura di sistema BIBP a tre strati. L'architettura del sistema implementato si confronta con la piattaforma BIM collegata con la rete esistente di sensori IoT.

È stato riscontrato che, nella gestione della produzione off-site modulare, la tecnologia BIBP può evitare un “single point of failure” nelle reti dei sensori IoT e garantire la provenienza delle modifiche BIM con una riduzione dei costi relativi ai dispositivi di memorizzazione dati. Il single point of failure è causato da un componente della rete che, se sbaglia, rende l'intero sistema incapace di svolgere le sue funzioni primarie. Ad esempio i dati prodotti dai sensori IoT sono soggetti a “rumore” (contengono errori o valori anomali) che influenzano l'affidabilità delle reti[5].

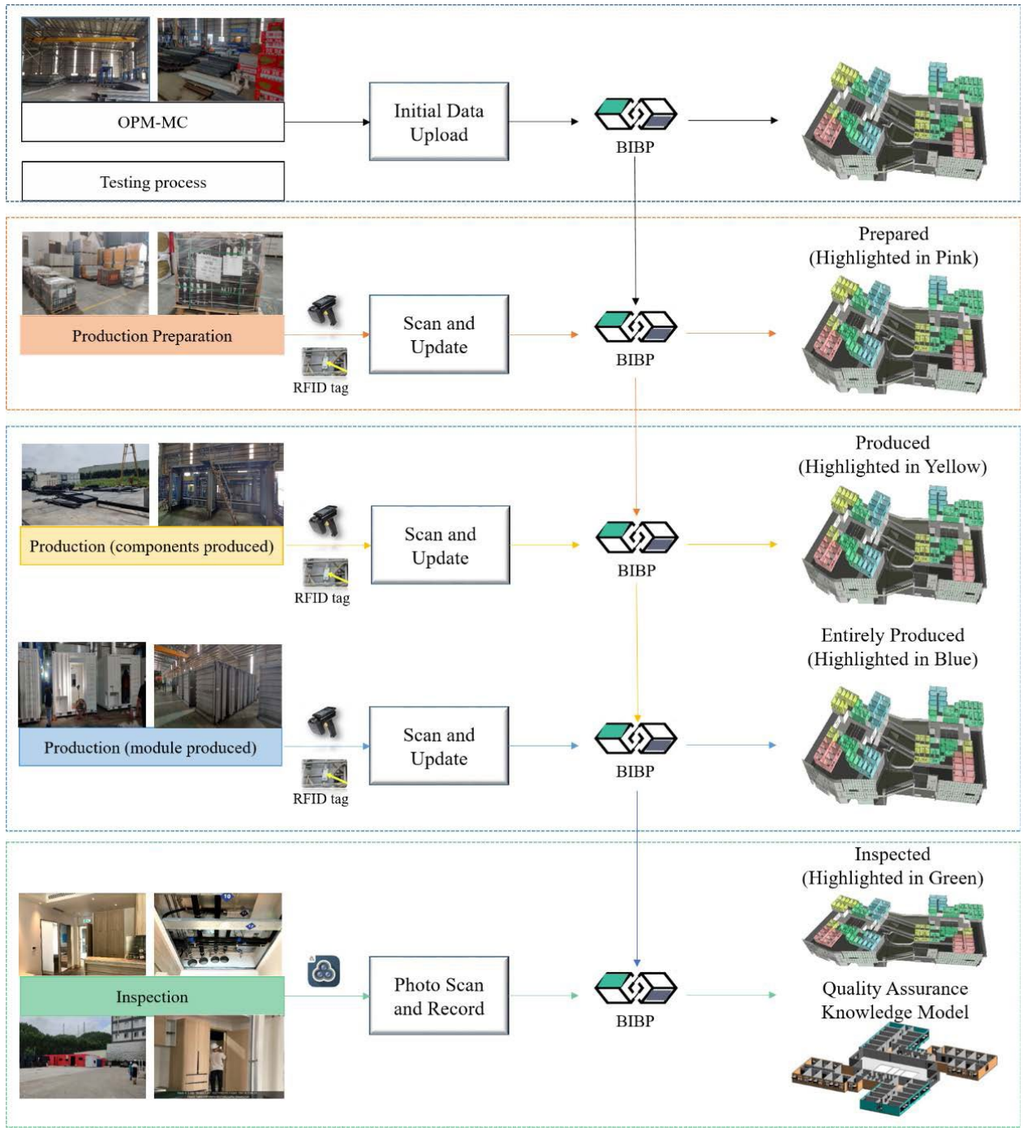
L'architettura di sistema sviluppata dai ricercatori del Department of Real Estate and Construction Management dell’Università di Hong Kong può aiutare l'industria ad andare oltre le applicazioni teoriche per implementare realmente delle reti IoT-BIM idonee al supporto della blockchain.

4 Zhang, Z., Yuan, Z., Ni, G., Lin, H., & Lu, Y. (2020). The quality traceability system for prefabricated buildings using blockchain: An integrated framework. Frontiers of Engineering Management, 7(4), 528-546. https://doi.org/10.1007/s42524-020-0127-z

5 Zhou, J. X., Shen, G. Q., Yoon, S. H., & Jin, X. (2021). Customization of on-site assembly services by integrating the internet of things and BIM technologies in modular integrated construction. Automation in Construction, 126,103663. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103663



Funzionamento di un modulo IoT – da Linking permissioned blockchain to Internet of Things (IoT)-BIM platform for off-site production management in modular construction. (https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103573)



Processi per il test con la piattaforma IoT-BIM abilitata per blockchain – da Linking permissioned blockchain to Internet of Things (IoT)-BIM platform for off-site production management in modular construction. (https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103573)

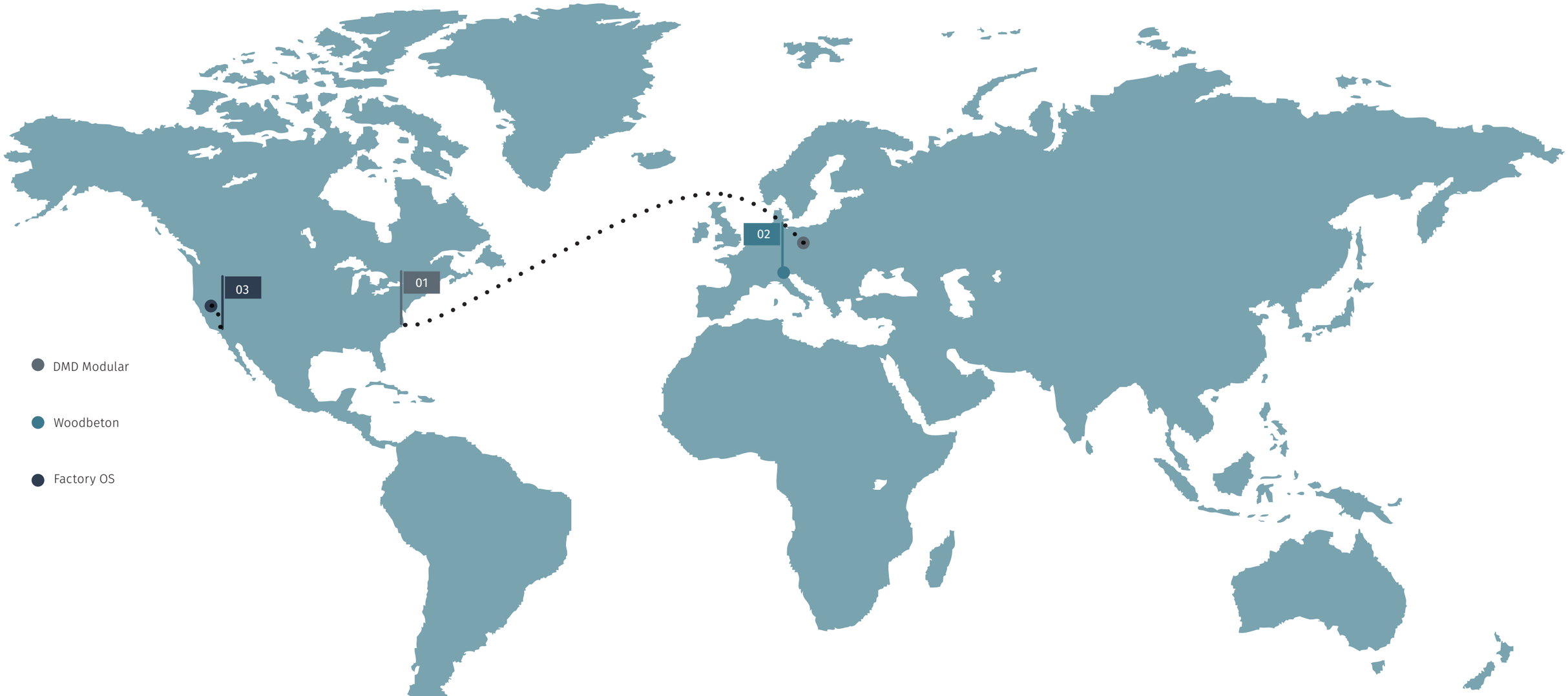
Casi studio
di architetture off-site modulari

04

4.1
Localizzazione dei casi studio di architetture off-site modulari

01

Caso studio: AC NoMad Hotel - New York
Produttore off-site: DMD Modular - Skawina, Polonia
Anno di realizzazione: 2020



02

Caso studio: Moxy Hotel - Linate, Milano
Produttore off-site: WoodBeton - Brescia, Italia
Anno di realizzazione: 2018

03

Caso studio: The Union - Oakland, California
Produttore off-site: Factory_OS - Villejo, California
Anno di realizzazione: 2021

4.2 Caso 1

NoMad AC Modular Hotel

Il nuovo hotel modulare di Marriott che sorgerà nel centro di New York
https://adsknews.autodesk.com/news/skystone-marriott-tallest-modular-construction-marriott-hotel

New York, USA

Grattacielo ad uso alberghiero sito a Manhattan, New York, lungo la Sixth Avenue.

Il progettista dell'hotel è lo studio newyorkese Danny Forster & architecture, mentre il committente del progetto è Marriott International.

Il progetto è composto da 168 moduli prefabbricati, ognuno ospitante una camera dell'albergo.

I moduli prefabbricati hanno dimensioni di 7,6 m x 3,56 m e hanno un'altezza di m 3,20.

NASCITA DEL PROGETTO

Come avviene solitamente per molte altre costruzioni, il promotore immobiliare (real estate developer) ha indetto un concorso, che in America viene detto «R.F.P.» ovvero «Request for proposals».

Marriott INTERNATIONAL

Request for proposal

DANNY FORSTER DESIGN STUDIO

Lo studio «Danny Forster & architecture» ha presentato la propria proposta e ha vinto la commessa per il progetto.
Inizialmente non era un edificio modulare, ma lo sviluppo del progetto iniziò ad avere alcuni potenziali spunti interessanti che hanno portato a pensare all'hotel come un ottimo candidato per un'edilizia prefabbricata e quindi modulare.
Questo perché era già dall'inizio un edificio molto simmetrico, con tutti gli spazi dedicati al pubblico raggruppati nei primi piani e la torre con le camere concepita come un volume molto puro dall'attacco alla sommità. Tutti elementi che hanno indotto lo studio a pensare all'hotel in termini off-site. Questa possibilità è stata presentata alla committenza, Marriott International, che ha accolto entusiasticamente la proposta, anche perché sposava pienamente gli intenti di riduzione del tempo medio necessario per costruire e aprire un hotel in Nord America.
Alla fine della fase schematica di progettazione, il futuro hotel è stato convertito in un progetto modulare ed è

iniziata la fase esecutiva.

CONCEPT

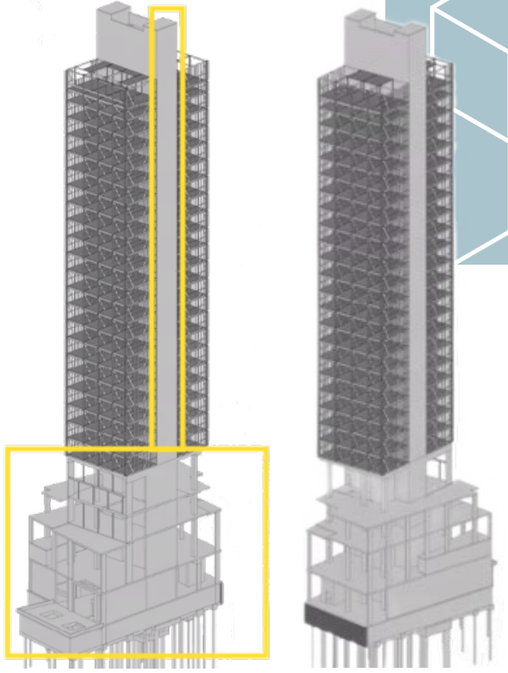
L'edificio si sviluppa su 26 piani in cui trovano posto 168 camere, coperte da un tetto piano con bar e terrazza. Il basamento che occupa 4 livelli complessivi (uno interrato e tre fuori terra), ha una pianta irregolare poiché è inserito nel lotto in aderenza agli edifici laterali.
In esso sono localizzati i servizi, l'ingresso con la reception, una sala conferenze a gradoni (che funge anche da collegamento del piano terra con l'interrato), varie sale riunioni e spazi comuni, il ristorante e un lounge bar affacciato su una terrazza aperta.

I collegamenti verticali sono garantiti da due scale e da 3 ascensori (che nella torre si riducono a due), raggruppati al centro.

La torre di 21 piani che si eleva dal basamento, realizzata con moduli off-site, si presenta con il lato affacciato sulla Sesta Strada ruotato rispetto all'asse viario.

Questa particolarità deriva dalla necessità di addossare il lato sinistro al prospetto cieco dell'adiacente grattacielo e dalla conseguente ortogonalità dettata dalla costruzione modulare.
Il blocco che costituisce la base, il collegamento con la strada, è in calcestruzzo armato, così come il nucleo centrale. In un edificio completamente modulare è una scelta ragionata quella di avere tutte le parti «non-ripetibili» quindi strane o uniche costruite con tecnologia tradizionale.

Modello 3 D - schema dei rapporti con i fabbricati adiacenti – Foto da https://www.dannyforster.com/project/ac-nomad/



Schemi strutturali. Danny Forster & architecture – immagini originali ottenute tramite zoom call

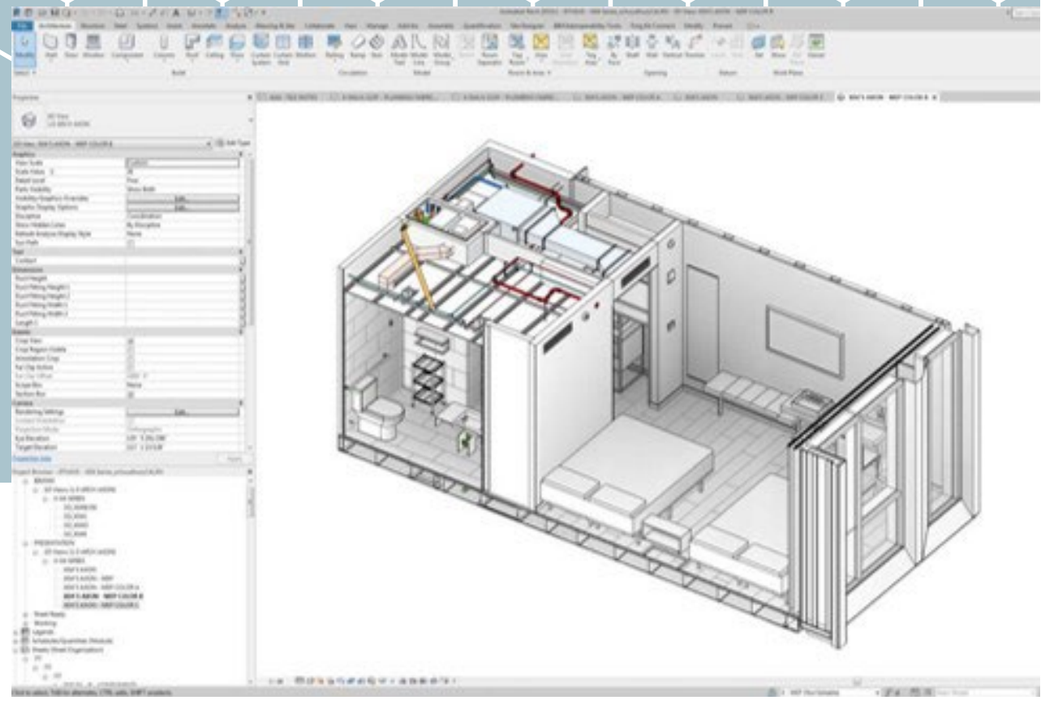
Con questa idea è stata progettata la porzione di attacco a terra in modo tradizionale e quella con le parti ripetibili utilizzando dei moduli.

«In an all-modular building you kind of want to put the spaces that are not repeatable, that are very unique or strange, traditionally».
Danny Forster

Lo schema che descrive l'edificio vuole proprio sottolineare la differenza tra la base dell'hotel, che rappresenta New York, e la torre con le camere per gli ospiti, la Polonia.
Hanno volutamente reso visibile la differenza tra le porzioni tradizionali (cemento armato sia per il basamento che per il nucleo centrale) ed il resto, costituito da moduli prefabbricati.

ORGANIZZAZIONE PROGETTUALE

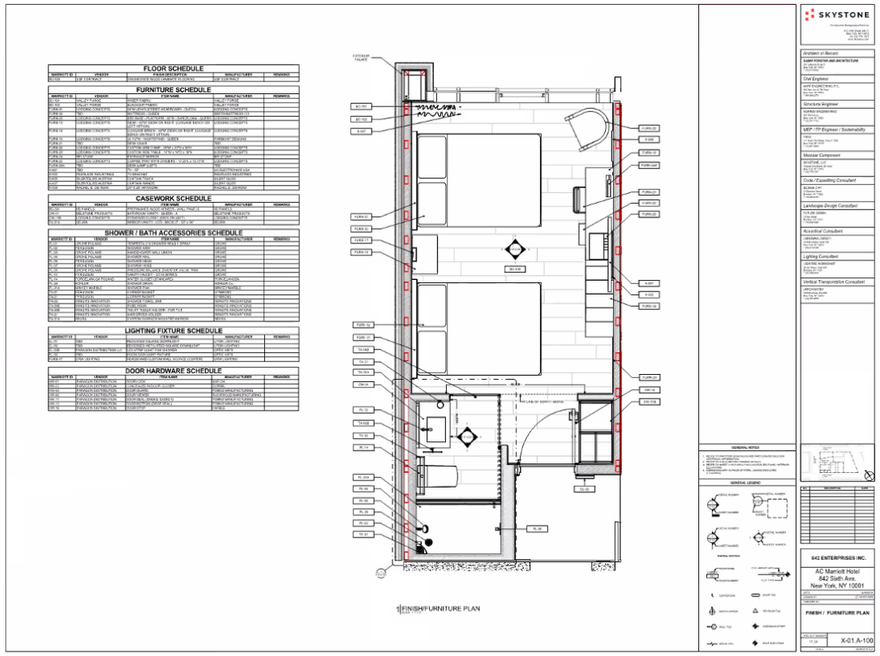
Il progetto dell'edificio è stato sviluppato con il programma Autodesk Revit.
L'utilizzo dell'ambiente BIM ha permesso allo studio DannyForster&architecture lo scambio dei file progettuali con Epstein Group, che ha curato tutte le fasi di ingegnerizzazione ed organizzazione del montaggio ed assemblaggio delle componenti.
Ogni singolo elemento presente nei moduli è stato pensato e progettato in ogni sua parte.
Tutto è specifico per questo progetto e ha pertanto bisogno di essere personalizzato.



«Every piece of steel for the cage, every connection, all the interior design, all of the furniture, all of this has to be just…designed by us, there's no factory that has this line around.
It needs a very high level of documentation, very detailed, but you have to create fabrication drawings for the manufacture, because everything has to be done by the architect». *Danny Forster*

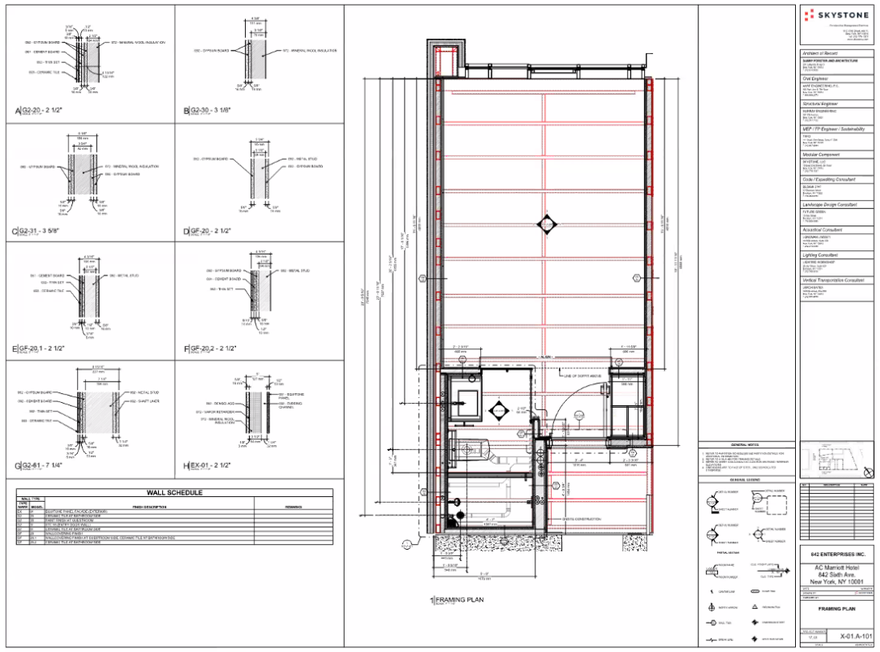
CURIOSITÀ

L'hotel prende il nome dal quartiere in cui sorge, detto NoMad (da **Mad**ison Square **No**rth). È un quadrilatero che si estende tra Lexington Avenue e la Sesta Strada.

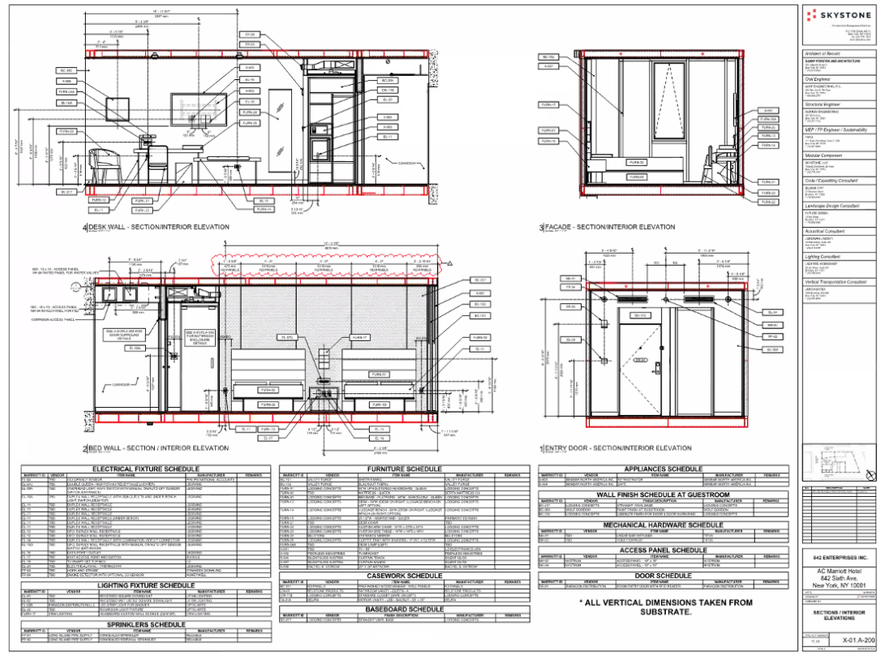


Pianta del modulo, con abachi ed indicazioni relative all'arredo – Danny Forster & architecture

Un colloquio avvenuto via Zoom nel dicembre del 2020 direttamente con il progettista dell'hotel ha offerto l'opportunità di allegare alcune tavole progettuali, condivise dall'architetto durante il collegamento. Queste fungono da supporto per illustrare le modalità organizzative attuate dallo studio newyorkese.



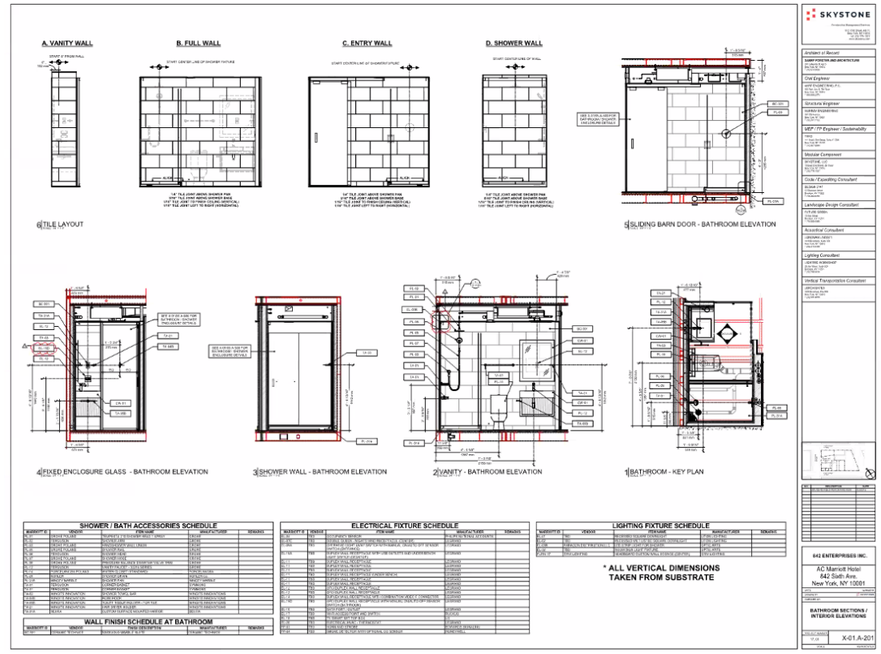
Pianta del modulo, con abachi ed indicazioni relative all'arredo. – Danny Forster & architecture



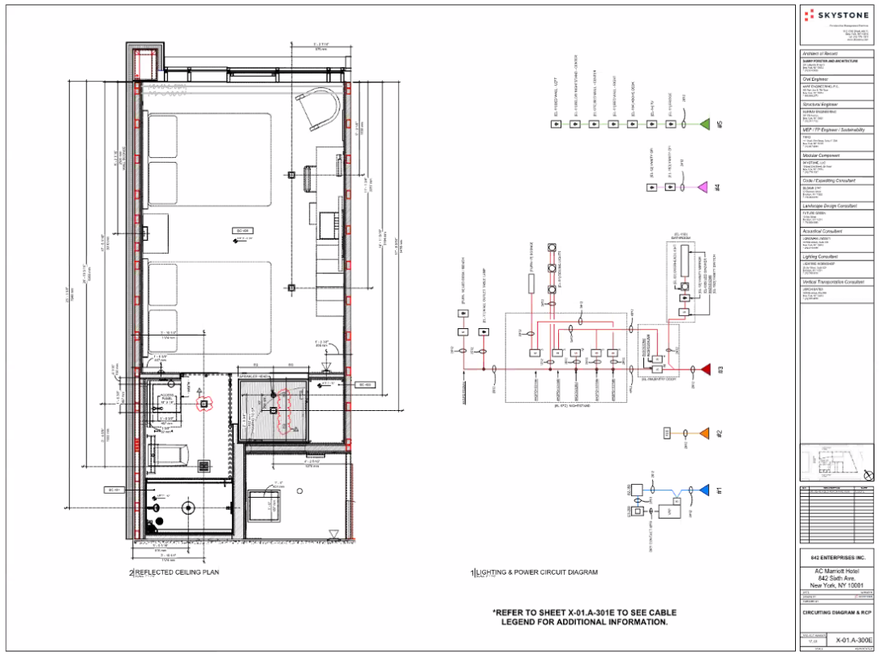
Schemi ed abachi impianti tecnologici e finiture – Danny Forster & architecture

Schemi ed abachi relativi a:

- Impianto elettrico;
- Impianto di illuminazione;
- Impianto sprinkler antincendio;
- Arredo;
- Scatole di derivazione impianti;
- Finiture delle pareti;
- Serramenti interni;
- Attrezzature tecnologiche.

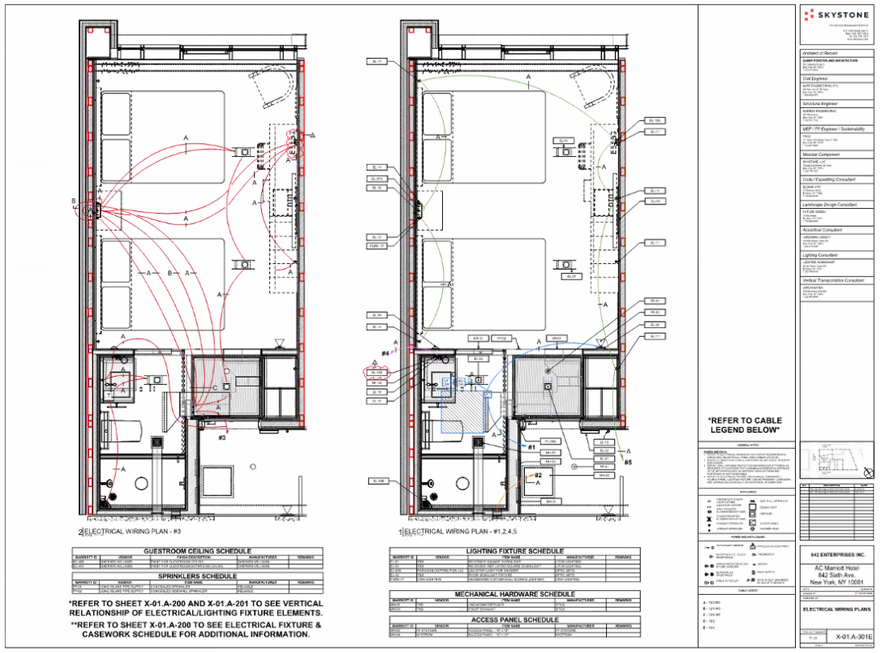


Schemi ed abachi rivestimenti pareti bagno – Danny Forster & architecture

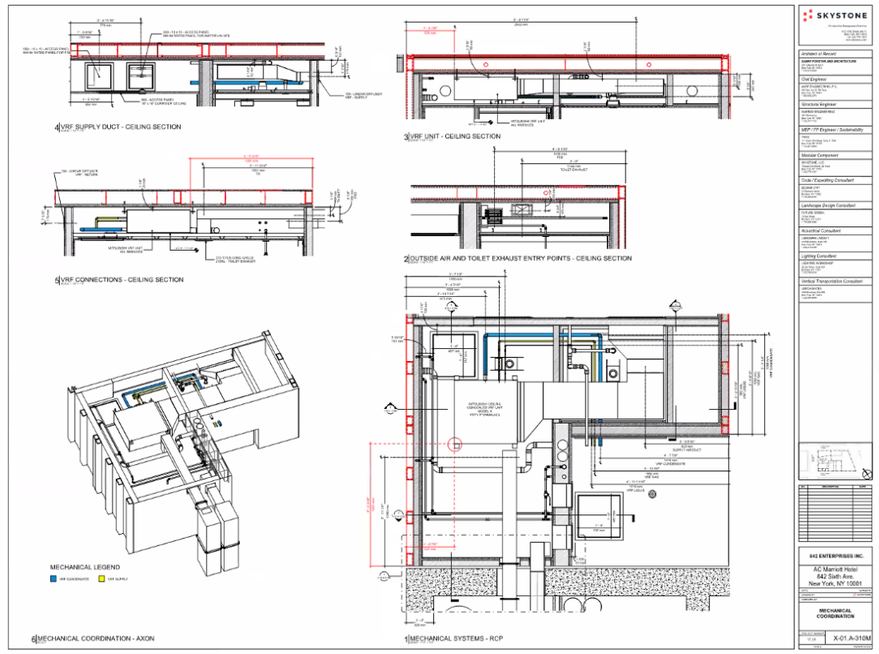


Pianta del soffitto con schema elettrico – Danny Forster & architecture

Rispettivamente: pianta del soffitto del modulo con schema elettrico monofilare in alto e pianta del modulo con cablaggi ed abachi degli impianti elettrico, di illuminazione, sprinklers antincendio e apparecchiature meccaniche nell'immagine in basso.



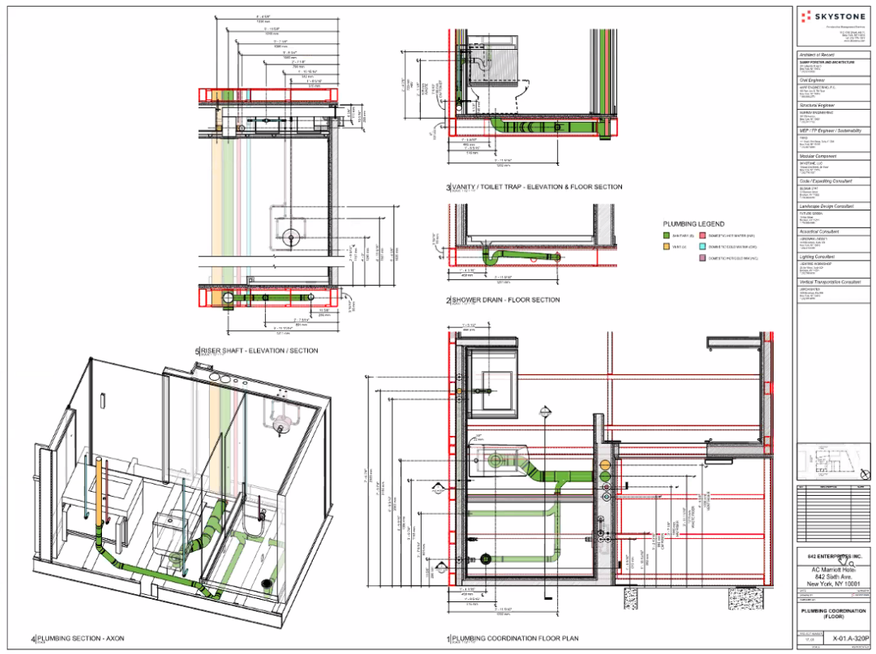
Pianta cablaggi con abachi – Danny Forster & architecture



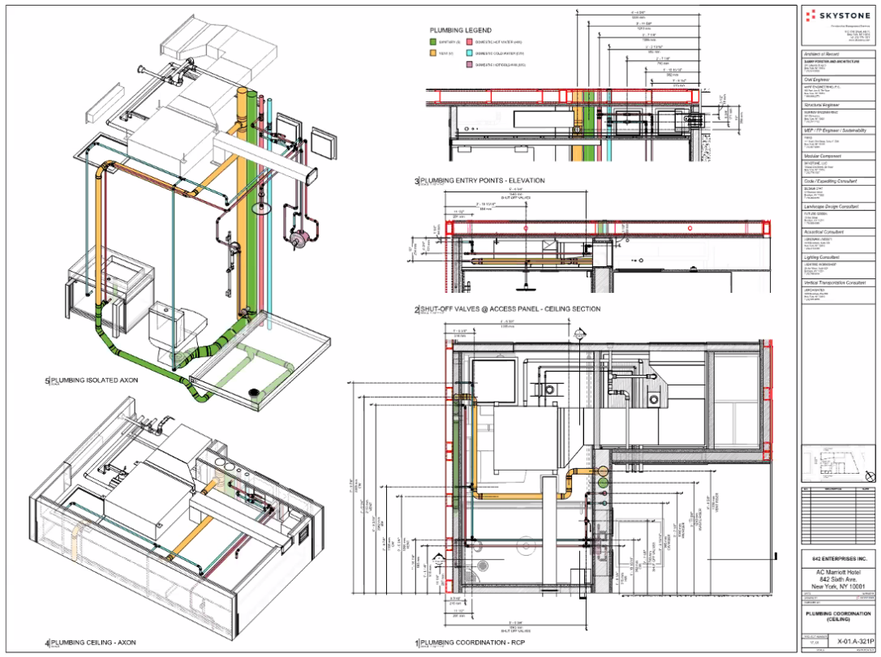
Dettagli costruttivi degli impianti di aerazione – Danny Forster & architecture

La tavola in alto rappresenta alcune sezioni e dettagli costruttivi degli impianti di ventilazione meccanica e di climatizzazione VRF (Variable Refrigerant Flow).

Sotto alcuni dettagli costruttivi, sezioni e pianta del bagno che evidenziano il funzionamento dell'impianto idraulico.



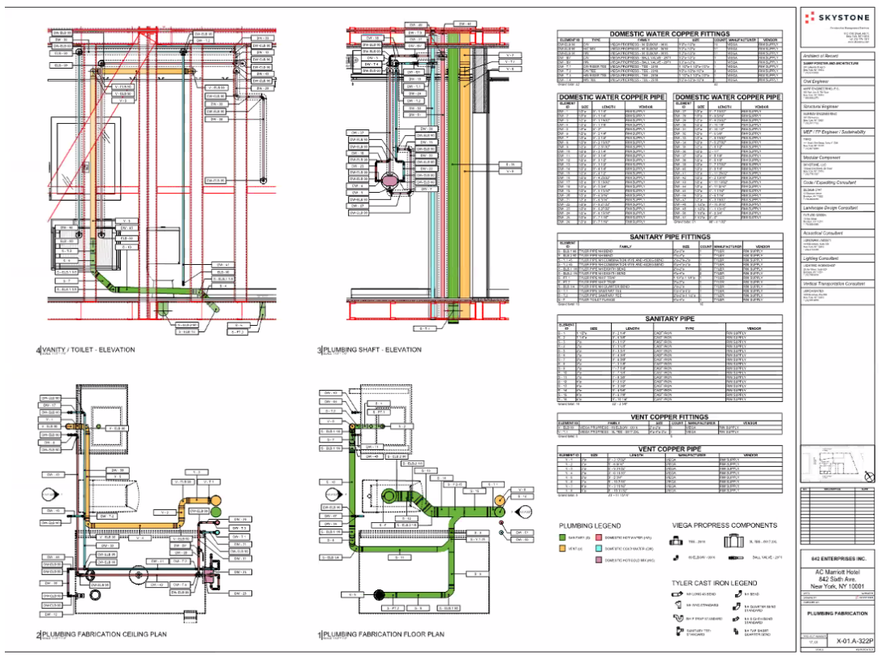
Dettagli costruttivi dell'impianto idraulico – Danny Forster & architecture



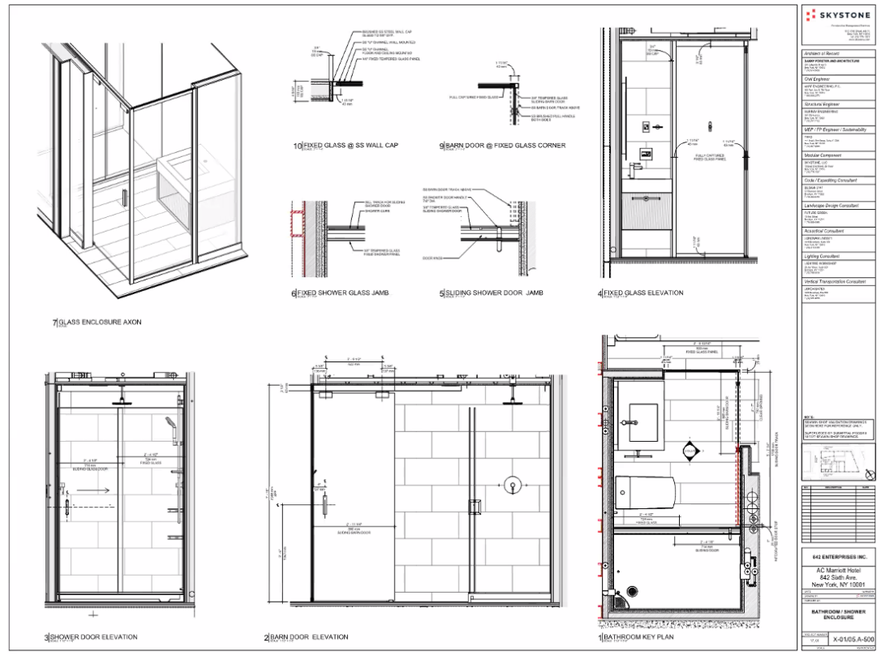
Dettagli costruttivi, sezioni e pianta del bagno – Danny Forster & architecture

La tavola sopra illustra i dettagli dell'impianto idraulico con una pianta dei controsoffitti contenenti le tubature.

In basso invece abachi e disegni di dettaglio delle tubature necessarie per l'approvvigionamento di acqua calda sanitaria.



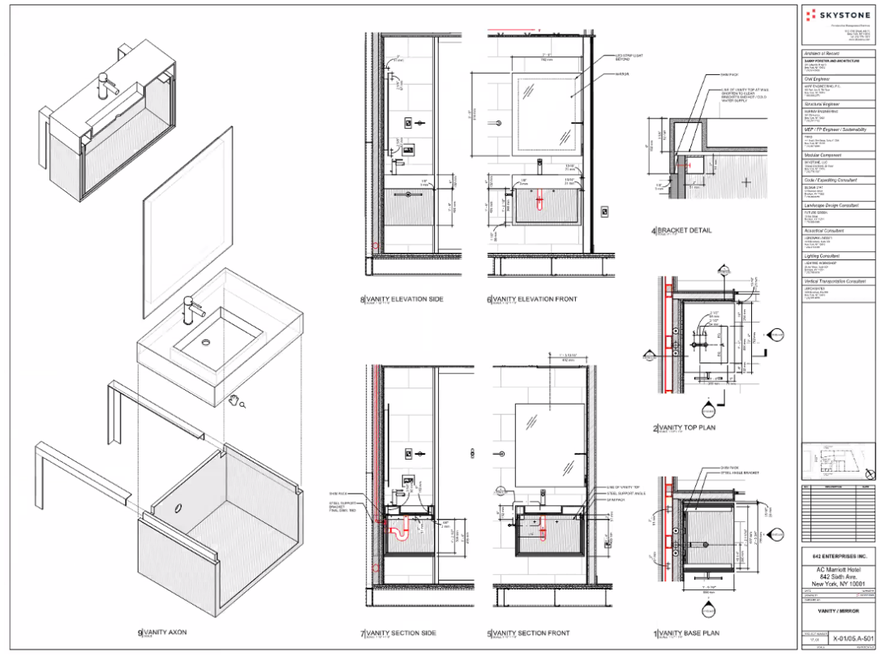
Dettagli che evidenziano il funzionamento dell'impianto idraulico – Danny Forster & architecture



Dettagli costruttivi del bagno e delle sue componenti – Danny Forster & architecture

In alto schemi e dettagli costruttivi, prospetti e pianta del bagno con focus sulla progettazione del box doccia presente all'interno dei moduli.

La tavola in basso contiene dettagli costruttivi e prospetti delle pareti attrezzate del bagno.



Dettagli costruttivi del bagno e delle sue componenti – Danny Forster & architecture

STRUTTURA

L'organizzazione strutturale, partendo dal basso, comprende un elemento stabilizzante costituito dal piano interrato, in setti di cemento armato realizzati on-site, impostato su piastre di ripartizione dei carichi e pali di fondazione.
Fuori terra, per i primi tre piani, l'ossatura a telaio spaziale in cemento armato realizzata on-site si sviluppa sull'intero lotto ed ospita gli ambienti comuni e di servizio.

Il quarto piano è occupato dal terrazzo che realizza lo stacco tra la parte dei servizi e la sovrastante torre che ospita le camere. Per sottolineare tale aspetto il piano terrazzo risulta privo di pilastri lungo il perimetro. La funzione di trasferimento al nucleo centrale dei carichi perimetrali trasmessi dai piani sovrastanti è perciò affidata ad un transfer (elemento a forma trapezoidale).
Dal transfer si innalza il nucleo torsio-rigido realizzato in setti di calcestruzzo on-site che ospita i vani scala ed ascensori e concretizza l'ossatura stabilizzante per i 21 piani con i moduli prefabbricati.

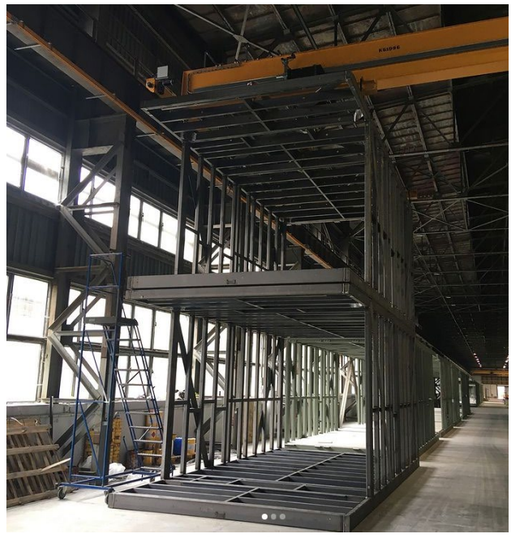
I moduli off-site, dal punto di vista strutturale sono strutture spaziali autoportanti realizzate con gabbie reticolari in profilati d'acciaio.

Porzione di spaccato prospettico in corrispondenza del transfer – da https://www.dannyforster.com/project/ac-nomad/

STRUTTURA – funzionamento dei moduli

La struttura portante dei moduli è costituita da un telaio spaziale realizzato con profilati di acciaio saldati tra loro.
Le gabbie strutturali dei moduli posizionati sul perimetro sono leggermente diverse da quelle dei moduli centrali, in quanto presentano anche dei controventi ad X, sempre in acciaio, in aggiunta alla struttura a griglia.
La foto nella pagina a fianco è dell'agosto 2018 e rappresenta la prima prova di sovrapposizione effettuata sulle ossature modulari direttamente nella fabbrica di produzione.
La costruzione delle strutture portanti in acciaio è stata affidata ad una azienda polacca, STP ELBUD Sp. z o.o., specializzata nella produzione di organismi in acciaio. Si trova vicino a Cracovia, a soli 30 km dall'azienda DMDmodular Sp. z o.o., che realizza tutti gli interni dei moduli.

Le strutture portanti realizzate da STP Elbud – https://www.skystone.com/gallery



La prima prova di carico, realizzata il 10 agosto 2018 nel capannone dell'azienda STP ELBUD. – Da: Instagram, dannyforster

CANTIERE

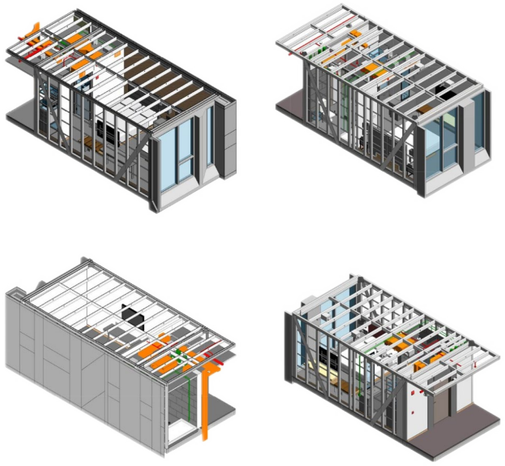
Luogo: 842, 6th Avenue, New York.
Nel gennaio del 2018 sono stati avviati i lavori di demolizione di un vecchio edificio di 7 piani, per fare spazio alla nuova costruzione.
Tra la fine del 2019 e l'inizio del 2020 nel lotto ormai vuoto sono state gettate le fondazioni dell'hotel. Il getto è stato completato appena prima della pausa dovuta all'insorgere della pandemia da Coronavirus.
Inizialmente previsto per la Primavera del 2020, il completamento dell'opera ha subito una battuta d'arresto a causa della pandemia che ha interessato l'intero pianeta a partire dai primi mesi dell'anno.
L'ultimo modulo prefabbricato è partito infatti dalla Polonia, sede della ditta che si è occupata della produzione, il 26/11/2020 per essere installato al ventiseiesimo piano dell'hotel a New York City.
Danny Forster (progettista dell'hotel) tuttavia racconta che il team è stato in grado di continuare il lavoro anche durante la pandemia. Ciò è stato possibile anche perché la fabbricazione modulare è abbastanza adatta al distanziamento sociale, siccome permette di lavorare in spazi separati. Questo è sicuramente un aspetto positivo: all'interno di una fabbrica si riesce ad avere un maggior controllo sulla sicurezza piuttosto che in un ampio cantiere.
L'impatto della pandemia quindi si è notato di più nei progetti non ancora realizzati, che sono stati

L'edificio preesistente e la sua demolizione (sopra). Fase iniziale del cantiere (in basso) – Foto: da «dannyforsterarchitecture» su instagram, maggio 2020

messi definitivamente in pausa a causa delle gravi perdite che il settore alberghiero ha subìto.

L'ultimo modulo prefabbricato lascia lo stabilimento polacco di produzione – Da «dmdmodular» su instagram, novembre 2020

MODULI PREFABBRICATI



Tipologia 1 *Tipologia 2*

Assonometrie di progetto delle due tipologie di modulo – Danny Forster & architecture zoom call

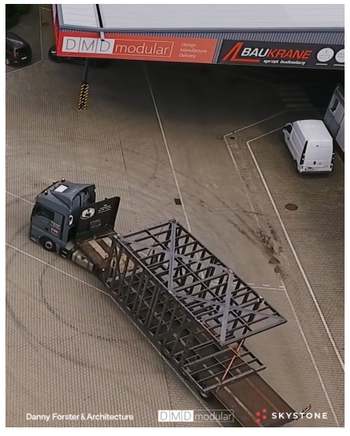
L'obiettivo in ogni costruzione di tipo modulare è quello di ridurre la complessità e incrementare l'ottimizzazione dell'intero processo costruttivo.
Questo è ciò che ha portato l'architetto Danny Forster, progettista dei moduli prefabbricati, a pensare due sole tipologie di camera.
Queste saranno alternate e specchiate attorno al nucleo centrale, per creare il disegno della pianta.

La struttura portante dei moduli è costituita da una griglia di acciaio che dà forma e rigidezza al modulo. Viene prodotta dalla ditta polacca STP Elbud, su progetto di Danny Forster Architecture.

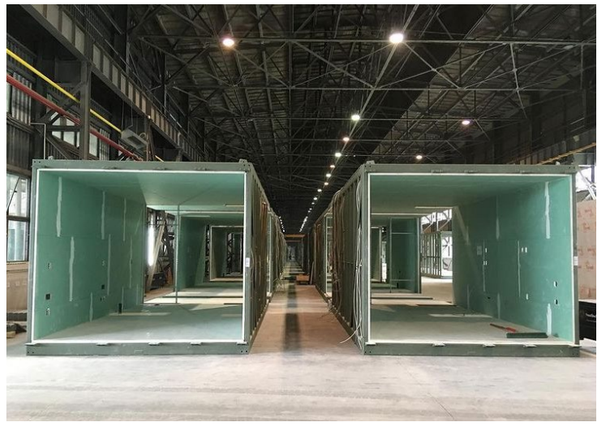
PRODUZIONE DEI MODULI

La produzione dei moduli off-site è stata affidata a tre ditte polacche specializzate rispettivamente nella costruzione di strutture in acciaio (STP Elbud), nella produzione di facciate continue in alluminio e vetro (Aluprof) e nell'approntamento di moduli abitativi prefabbricati (DMD Modular).

Uno degli elementi vincenti della filiera polacca di produzione è la sinergia che esiste tra le varie aziende, che sono solite collaborare tra loro per ottenere risultati di alto livello.
Le strutture in acciaio, dopo essere state testate, vengono spedite dallo stabilimento



L'arrivo delle celle strutturali in DMD Modular. – Da: https://www.youtube.com/watch?v=yfTEv4XcdZk



Primi allestimenti dei moduli presso la DMD Modular. – Da: https://www.businessinsider.com/worlds-tallest-modular-hotel-new-york-city-marriott-2019-4?IR=T

STP Elbud di Cracovia all'azienda DMDmodular di Skawina, (distante meno di 30 km) che si occupa della realizzazione degli interni.

Nello stabilimento di Skawina si organizza la realizzazione dei moduli partendo dal rivestimento delle strutture d'acciaio con le pannellature di tamponamento.

Il lato di affaccio verso l'esterno di ogni modulo viene completato con una facciata continua di alluminio e vetro. Questo elemento viene prodotto nello stabilimento Aluprof di Bielsko-Biała, distante circa 70 km da Skawina, sede della DMDmodular dove le facciate vengono unite ai moduli in preparazione.
Particolare importanza è stata riservata alla tenuta agli agenti atmosferici sia degli elementi componenti la facciata continua che ai dettagli di unione di quest'ultima al resto della struttura.

La foto in basso, scattata presso lo stabilimento Aluprof nell'agosto 2018, rappresenta la fase di test del mock up della facciata continua con moduli sovrapposti, in cui sono state simulate condizioni atmosferiche estreme per verificarne la congruità alle specifiche progettuali.

Test della facciata continua verifica della tenuta agli agenti atmosferici presso lo Stabilimento Aluprof – Da «dannyforster» su instagram, agosto 2018

Nello stabilimento di Skawina della DMDmodular l'ossatura in acciaio completa di facciata continua viene ultimata con tutti gli elementi, fino ad arrivare al modulo off-site pronto per la spedizione e successivo montaggio in cantiere.

Le fasi di assemblaggio, visto che si tratta comunque di una produzione in piccola serie, non vengono effettuate in linea.
Per poter attuare le stringenti specifiche progettuali, ogni singolo modulo viene completato integralmente in tutte le sue componenti con lavorazioni a flusso continuo.

Allestimento di un modulo presso lo stabilimento DMD modular. Test delle componenti dell'impianto di illuminazione. – Da https://dmdmodular.com/projects/tallest-modular-hotel-ac-hotel-by-marriott/.

Le strutture vengono rivestite con le necessarie pannellature di tamponamento, inseriti tutti gli impianti tecnologici, fino ad arrivare alle finiture più dettagliate ed ai complementi d'arredo.

CAMERE

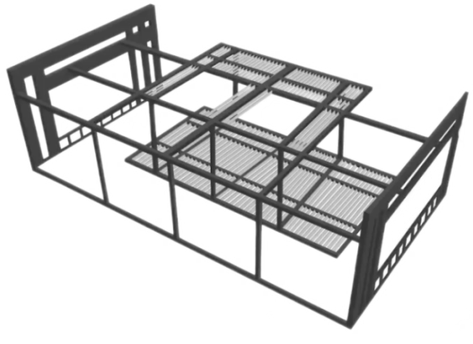
Le due tipologie di modulo sono state accostate e combinate secondo lo schema a fianco.
Le «king rooms», ovvero le camere matrimoniali, sono poste al centro e specchiate.
Agli angoli trovano spazio le camere più ampie: «double queen rooms» con doppio letto matrimoniale e una per le persone con disabilità motoria.

ROOF BAR

A completamento della torre di 21 piani ospitante le camere dell'hotel, all'ultimo piano è stato progettato il «roof bar».
Anche questi ambienti sono stati realizzati mediante moduli off-site prodotti in analogia a quanto attuato per le camere.
La gabbia strutturale dei moduli per il «bar sul tetto» è stata appositamente riprogettata per adeguarla alle necessità specifiche di affaccio. La costruzione scatolare off-site estesa anche a questo piano, ha consentito di completare la costruzione mantenendo lo schema statico di tutta la torre.

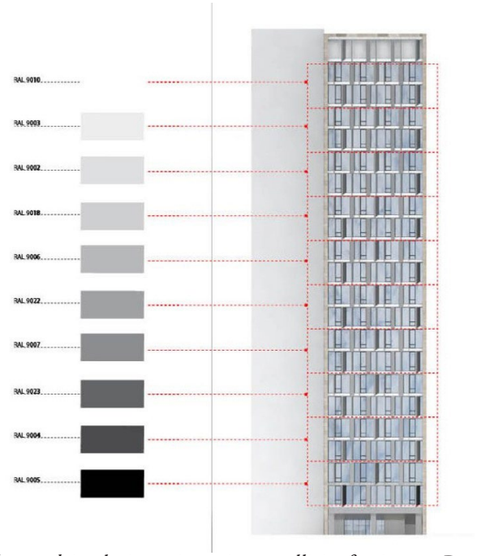
Pianta piano tipo ospitante le camere dell'hotel in evidenza la dislocazione delle varie tipologie – Da: https://www.dannyforster.com/project/ac-nomad/

Sotto e a fianco: Schema strutturale e render 3D dell'ultimo piano, ospitante il roof-bar – Da «dannyforsterarchitecture» su instagram, maggio 2020.



MATERIALI

L'intento progettuale era quello di valersi della tecnologia modulare, senza far apparire la torre dell'hotel come un insieme di elementi prefabbricati. L'idea era quella di creare un edificio che fosse singolare, non solo una sovrapposizione di «scatole».

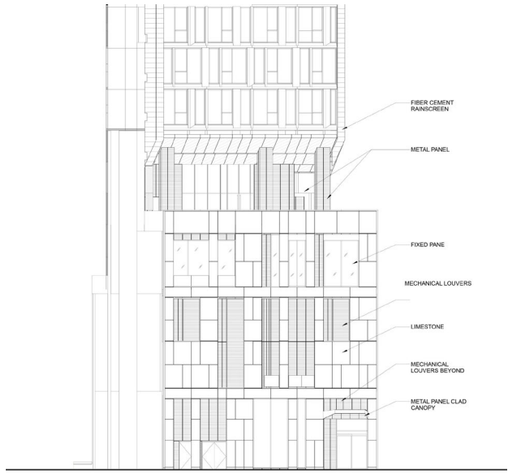


Schema dei colori usati per i pannelli in facciata – Da: https://www.dannyforster.com/project/ac-nomad/.

Per contribuire all'uniformità, si è ricorso a pannelli in alluminio posati seguendo tonalità di grigio degradanti verso il chiaro man mano che si sale, soluzione che contribuisce a slanciare ulteriormente la torre.

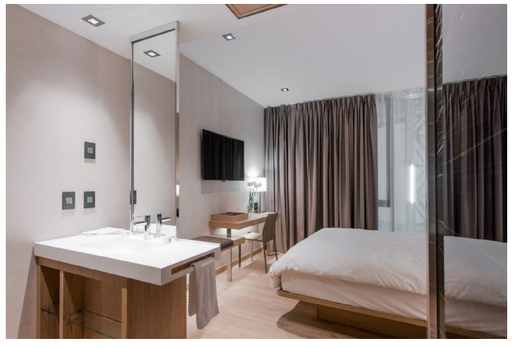
Per ottenere la sfumatura sono stati utilizzati dei pannelli metallici che, seguendo lo schema in figura, variano dal nero intenso (RAL 9005) dei piani inferiori dell'hotel al bianco latte (RAL 9010) della sommità. Tra gli altri materiali utilizzati in facciata troviamo la pietra calcarea, pannelli in fibro-cemento che rivestono la facciata ventilata e delle griglie metalliche come finitura del basamento della torre.

L'obiettivo era rendere l'interno del modulo assolutamente uguale ad una normale camera d'albergo, seppure di alto livello. Una volta entrati, ci si dimentica di essere all'interno di un modulo prefabbricato perché tutti i rivestimenti sono curati nei dettagli e i materiali sono comunque tradizionali.



Schema delle pannellature in alluminio che rivestono l'hotel – Da: https://www.dannyforster.com/project/ac-nomad/.

Troviamo quindi pannelli di legno chiaro come rivestimento per le pareti, pavimentazione in vinile, vetro, vinile, cartongesso per alcune pareti divisorie interne e complementi d'arredo in legno, progettati su misura.



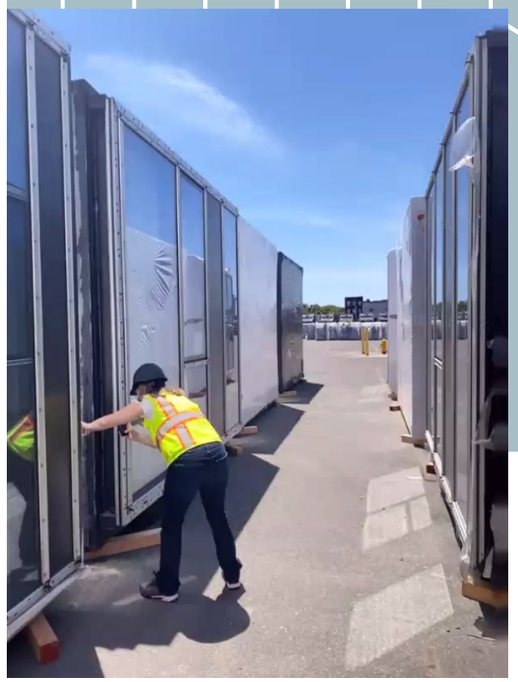
Allestimento interno di una delle camere per gli ospiti – Da https://www.dannyforster.com/project/ac-nomad/

TRASPORTO

I moduli prefabbricati devono affrontare un lungo viaggio, dal momento che sono prodotti e assemblati interamente in Polonia, per essere utilizzati in una costruzione localizzata a New York.
Partendo dal porto di Danzica, i moduli arrivano a Brooklyn, New York City. Qui si trova il «Red Hook Marine Terminal», una struttura di trasporto merci intermodale che include un terminal per container.
Uno dei motivi per i quali la larghezza dei moduli è attorno ai 3 metri (12 piedi) è che è un'ottima dimensione per il trasporto via nave; i blocchi vengono infatti disposti affiancati nella stiva.

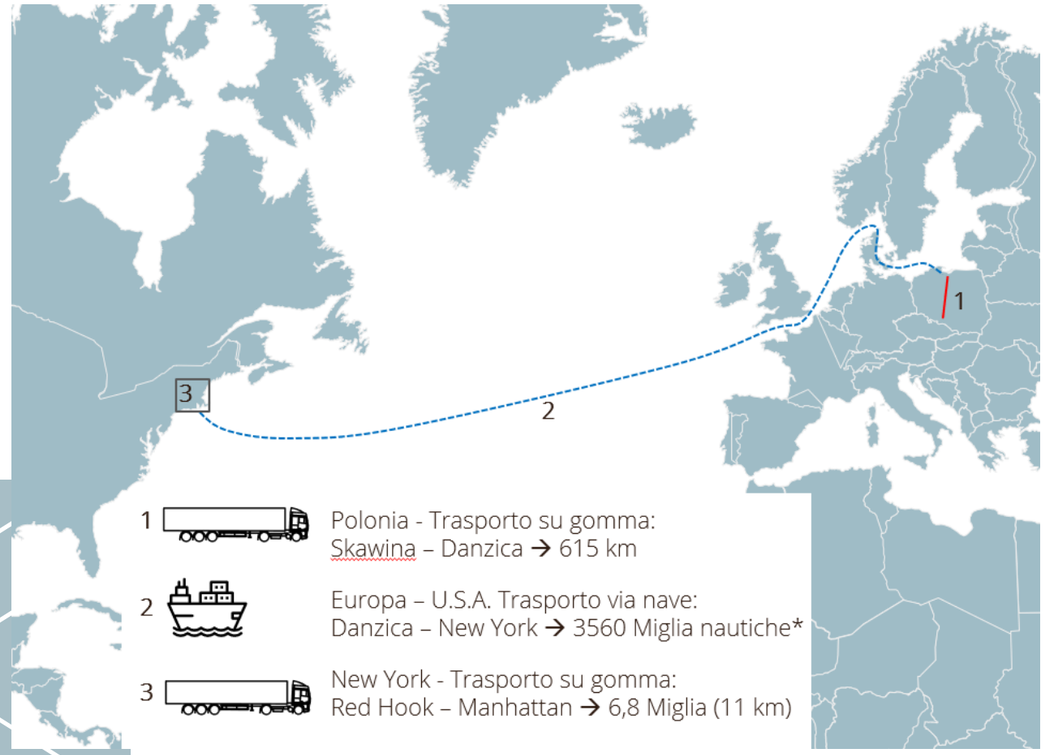
Il percorso viene coperto dai truck in circa 30 minuti e, in ossequio alle leggi americane, avviene in orario notturno.

Fasi di stoccaggio dei moduli nel porto – Danny Forster & architecture



Controllo dei moduli nel porto durante lo stoccaggio (a sinistra) e carico degli stessi nella stiva della nave che li trasporterà oltreoceano – Danny Forster & architecture zoom call

Il terzo punto evidenziato sulla mappa nella pagina seguente rappresenta la parte terminale del lungo viaggio; è lo spostamento a New York City, da Red Hook Marine Terminal a 842, 6th Avenue.



Schema relativo all'intero viaggio dei moduli dell'AC Hotel. Il trasporto si snoda su tre fasi: dall'azienda polacca di produzione al porto di Danzica (1), il tragitto via nave attraverso l'Atlantico settentrionale (2) e il trasferimento dal porto di New York al sito del cantiere (3). – Elaborazione grafica a cura di F. Muratore.

**Distanza calcolata tramite: https://www.nauticando.net/servizi-per-lanavigazione/navigazione-waypoint/*

Nell'immagine a fianco vi è una delle camere dell'hotel nel momento in cui viene movimentata tramite apposita gru. Fa parte di uno dei primi carichi spediti via nave mercantile dallo stabilimento di Cracovia, Polonia, verso New York nel luglio del 2020, quando sono ripartiti alcuni spostamenti grazie alla fine del primo lockdown.
Con il primo viaggio sono stati trasportati 44 dei 184 moduli prefabbricati dalla Polonia al Red Hook Terminal di Brooklyn.
I moduli sono stati quindi stoccati nel porto di Red Hook a Brooklyn, in attesa di essere trasportati al cantiere, a mezzo di truck. Quotidianamente sono stati fatti 8 viaggi per trasportare gli 8 moduli necessari per completare un piano dell'hotel. I trasporti, della durata di 26 minuti, sono stati fatti in orario notturno, secondo le leggi americane, per evitare intralci al traffico.

Fase di scarico di uno dei moduli nel porto di Brooklyn. Dopo un viaggio via nave di 3560 Miglia nautiche (circa 6600 km) raggiungerà il sito del cantiere, sulla 6th Avenue.

Caso 1
NoMad AC
Modular Hotel

Scheda produttore moduli off-site:
DMD Modular

Lo stabilimento di produzione della ditta DMDmodular si trova a Skawina, una città situata pochi chilometri a sud di Cracovia, in Polonia. La struttura è composta da un moderno impianto di produzione di 11500 metri quadri completamente attrezzato e appositamente progettato per la produzione off-site, il quale può produrre fino a 150 moduli al mese, completamente finiti ed arredati.

La loro proposta ha permesso all'azienda una rapida crescita, con un approccio di esportazione globale, che li rende attivi sia sul mercato nazionale che in quello internazionale, avendo alle spalle collaborazioni con Germania, Austria, Olanda, Gran Bretagna e Stati Uniti.

Processo produttivo

L'azienda DMDmodular utilizza la tecnologia costruttiva a telaio modulare in acciaio per la creazione dei loro moduli. Sono prodotti di alta qualità e costruiti in poco tempo; essendo interamente completati in stabilimento permettono di ridurre le tempistiche di cantiere fino al 70 % rispetto ad una costruzione tradizionale.

Il team interdisciplinare di lavoro riunisce conoscenze di architettura e interior design, ingegneria civile e addetti alla produzione, nonché gestione e logistica. I diversi anni di esperienza nella costruzione di edifici modulari per il settore privato e pubblico, sia in Polonia che all'estero, rendono DMDmodular una delle aziende più specializzate nella costruzione modulare off-site. Questo fa sì che i moduli abitativi vengano interamente prodotti da un'unica azienda, senza la necessità di delegare altre operazioni ad altre ditte presenti sul territorio. DMDmodular è inoltre attenta alla qualità dei propri manufatti, che produce secondo il sistema di gestione della qualità ISO 9001:2016 e che sono garantiti con marchio CE.

Gestione

La ditta si occupa di molte fasi, che vanno dalla pianificazione e progettazione, sia strutturale che degli interni, alla costruzione e fornitura di attrezzature ed apparecchiature per varie tipologie di struttura, che spaziano dalle normali abitazioni agli hotel, dalle abitazioni per anziani agli alloggi per studenti.

Il loro scopo è quello di fornire soluzioni modulari in cui tecnologia, qualità e bellezza si fondono come un'entità integrale. Si impegnano quindi a sviluppare soluzioni nuove e innovative al fine di creare edifici sostenibili migliorando continuamente i propri prodotti.

Un modulo standard può variare da 2,3 a 3 metri di larghezza e da 6 a 12 metri di lunghezza, ma le dimensioni possono anche essere maggiori, in modo da adattarsi a ciascun progetto.

Maggiori le dimensioni, maggiore sarà di conseguenza il costo di trasporto, che dovrà essere considerato come eccezionale e dovrà seguire regole più restrittive.

Flow chart processo costruttivo caso 1 - NoMad AC Modular Hotel

COMMITTENZA

Marriott International

Obiettivo: costruire l'hotel modulare più alto al mondo in una delle più grandi destinazioni del mondo come simbolo di

Bandisce un concorso, «R.F.P. - Request for proposals», per la commessa del progetto.

no

si

PROGETTO GENERALE - IDEAZIONE

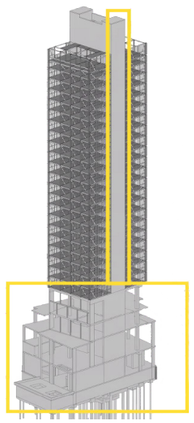
Vincitore: Danny Forster & Architecture - New York

Definizione progetto generale; localizzazione: New York 842, 6th Avenue, Manhattan **(NoMad - Mad**ison Square **No**rth)

INGEGNERIZZAZIONE

Danny Forster & Architecture - New York + Epstain Global - Chicago

Il blocco che costituisce la base, il collegamento con la strada, è in calcestruzzo armato, così come il nucleo centrale. E' stata una scelta ragionata quella di avere tutte le parti «non-ripetibili» o uniche costruite con tecnologia tradizionale. Con questa idea è stata progettata la porzione di attacco a terra in modo tradizionale e quella con le parti ripetibili utilizzando dei moduli 3D prefabbricati.



LOGICA DI SVILUPPO DEL PROGETTO

Scelta del costruttore generale e del produttore

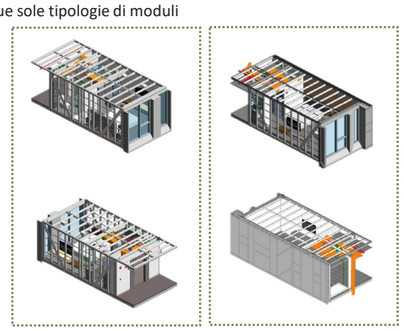
no

sì

Costruttore generale: SkyStone Group - New York, USA

Produttore off-site: DMD Modular - Skawina, Polonia

Due sole tipologie di moduli



INDUSTRIALIZZAZIONE DA PARTE DELLA FACTORY OFF-SITE

La filiera produttiva può contare sulla sinergia tra tre aziende, localizzate a poca distanza l'una dalle altre, che sono solite collaborare tra loro per ottenere risultati di alto livello. Infatti le strutture in acciaio sono costruite dalla STP Elbud, le facciate continue in alluminio e vetro sono prodotte dalla Aluprof e l'approntamento dei moduli abitativi prefabbricati viene eseguito dalla DMD Modular.

Le due tipologie di camera saranno alternate e specchiate attorno al nucleo centrale, per creare il disegno della pianta.

ORGANIZZAZIONE STABILIMENTI PRODUTTIVI

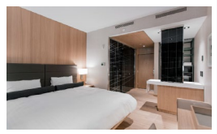
Nello stabilimento di Skawina della DMDmodular l'ossatura in acciaio completa di facciata continua viene ultimata con tutti gli elementi, fino ad arrivare al modulo off-site pronto per la spedizione e successivo montaggio in cantiere.
Le fasi di assemblaggio, visto che si tratta comunque di una produzione in piccola serie, non vengono effettuate in linea.

Per poter attuare le stringenti specifiche progettuali, ogni singolo modulo viene completato integralmente in tutte le sue componenti con lavorazioni a flusso continuo.
Le strutture vengono rivestite con le necessarie pannellature di tamponamento, inseriti tutti gli impianti tecnologici, fino ad arrivare alle finiture più dettagliate ed ai complementi d'arredo.

DEFINIZIONE SISTEMA COSTRUTTIVO

Il sistema costruttivo è a telaio in acciaio a cui sono affidate le funzioni portanti. Per la realizzazione delle 168 camere sono stati realizzati altrettanti moduli, suddivisi in due tipologie, di dimensioni: 7,60 m x 3,56 m; altezza m 3,20.

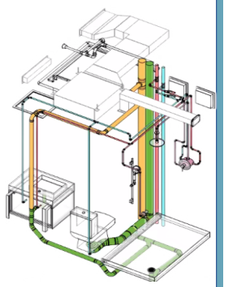
I pannelli d'alluminio che rivestono le facciate, per non far apparire la torre dell'hotel come un insieme di elementi prefabbricati, sono di tonalità di grigio degradanti verso il chiaro man mano che si sale, soluzione che contribuisce a slanciare ulteriormente la torre.
Tra gli altri materiali utilizzati in facciata troviamo la pietra calcarea, pannelli in fibro-cemento che rivestono la facciata ventilata e delle griglie metalliche come finitura del basamento della torre.



I rivestimenti interni sono curati nei dettagli e i materiali sono comunque tradizional. Troviamo pannelli di legno chiaro come rivestimento per le pareti, pavimentazione in vinile, vetro, cartongesso per alcune pareti divisorie interne e complementi d'arredo in legno, progettati su misura.

CAPACITA' PRODUTTIVA

La struttura produttiva della ditta DMD Modular è composta da un moderno impianto di produzione di 11500 metri quadri completamente attrezzato e appositamente progettato per la produzione off-site: può produrre fino a 150 moduli al mese, completamente finiti ed arredati.



LOGISTICA

Spostamento moduli:

Tratto 1
Polonia
Trasporto su gomma:
Skawina - Danzica > 615 Km

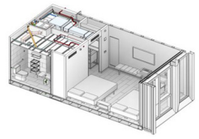
Tratto 2
Europa - USA
Trasporto via nave:
Danzika - New York 3560 Miglia nautiche

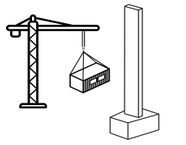
Tratto 3
New York
Trasporto su gomma:
Red Hook - Manhattan 6.8 Miglia (11 Km).

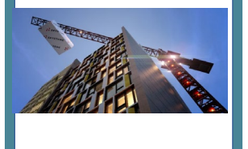
Con il primo viaggio sono stati trasportati 44 moduli nella stiva della nave.
I moduli sono stati quindi stoccati nel porto di Red Hook a Brooklyn, in attesa di essere trasportati al cantiere, a mezzo di truck.
Quotidianamente sono stati fatti 8 viaggi per trasportare gli 8 moduli necessari per

MONTAGGIO IN CANTIERE

Quotidianamente viene ultimato un piano dell'Hotel posizionando 8 moduli, quindi 8 camere.







Fine

4.3 Caso 2

Moxy Hotel

Linate, Milano

Edificio ad uso alberghiero sito nei pressi dell'aeroporto di Linate, Milano.

Il progettista dell'hotel è l'Ing. Giovanni Spatti, mentre realizzazione ed ingegnerizzazione sono della WB Factory (WoodBeton).

I moduli tridimensionali hanno dimensioni di 6,80 m x 2,50 m ed ospitano due bagni e due ingressi.

SCHEDA PROGETTUALE

Dati di progetto

- **Tipologia**: Albergo della catena Moxy Hotel di Marriott
- **Luogo**: Via Circonvallazione Idroscalo, Novegro di Segrate 20090 Italia
- **Numero di piani**: 6 fuori terra per complessivi mq. 7.200 di superficie
- **Numero di camere**: 200
- **Anno di realizzazione**: 2018

Stakeholders

- **Progettista**: Ing. Giovanni Spatti
- **Committenza**: Vastint Hospitality B.V.
- **Costruttori**: WB Factory, sia per la produzione degli elementi off-site che come general contractor.

NASCITA DEL PROGETTO

Il Moxy Milan Linate Airport fa parte della catena di alberghi a marchio Marriott. È la seconda realizzazione in Italia, dopo il Moxy di Milano Malpensa, capofila nel 2014 di una formula di hotel low-cost che da allora si è diffusa presso i principali scali aeroportuali europei.
L'idea generale è dell'imprenditore Ingvar Kamprad, fondatore di IKEA, che nel 2011 decise di entrare nel mondo dell'hôtellerie attraverso la realizzazione di hotel totalmente prefabbricati. Ha immaginato un progetto in cui gli alberghi venissero costruiti come con i lego.

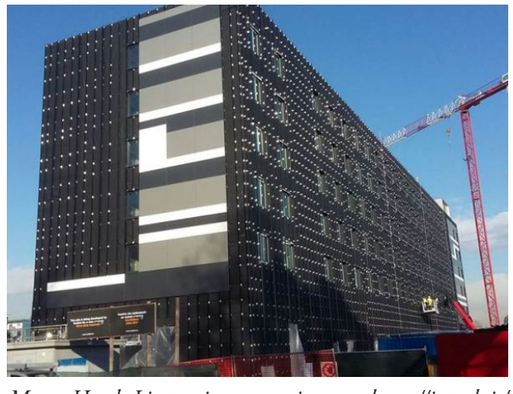
Il concetto viene pertanto sviluppato dalla "Vastint Hospitality B.V.", società che fa parte della "Property Division di Inter Ikea Group"

che definisce la tipologia ed il contesto geografico: Hotel in tutta Europa localizzati in zone strategiche. Vastint è l'abbreviazione di “Vastgoed International", che in olandese significa “Immobiliare internazionale”. Per l’attuazione venne indetto un bando per la ricerca di un interlocutore in grado di ingegnerizzare il progetto. Il bando fu vinto dall’italiana Wood Beton Spa che presentò un brevetto per la prefabbricazione delle camere con elementi bi e tridimensionali in X-Lam dimostrando la capacità tecnica di costruire alberghi con tempi di realizzazione ristretti ma di qualità elevata.

L’obiettivo è stato raggiunto utilizzando nuove tecnologie volte a realizzare un sistema costruttivo industrializzato, che vede l’impiego congiunto di elementi tridimensionali e di elementi bidimensionali in legno, totalmente prefabbricati in azienda, completi di impianti e di finiture.

CONCEPT

Il Moxy di Linate si sviluppa su sei piani fuori terra, per una superficie totale di circa 7.200 mq. Il piano terra ospita la zona hall e i locali a servizio della struttura, mentre i cinque piani soprastanti sono destinati ad uso ricettivo con un totale di 200 camere.
L’idea progettuale che sta alla base del sistema costruttivo è rappresentata dai moduli tridimensionali con strutture in legno lamellare X-Lam con impianti preinstallati (elettrico, idraulico, meccanico, di ventilazione, connessioni plug and play), finiture predisposte (arredi e dotazioni sanitarie realizzate in base alle norme locali) e dotate infine di QR Code per la tracciabilità di prodotti, materiali e lavorazioni.



Moxy Hotel Linate in costruzione – https://ioarch.it/wood-beton-costruisce-il-moxy-hotel-di-linate/

PRODUZIONE DEI MODULI

Per lo sviluppo del progetto e la creazione delle linee di produzione degli elementi è stata fondata una apposita società, la WBFactory, partner della Vastint Hospitality B.V. (collegata alla Marriott International che poi gestirà l’hotel) che ha acquisito il brevetto ed acquistato capannoni per una superficie di circa 62500 mq.

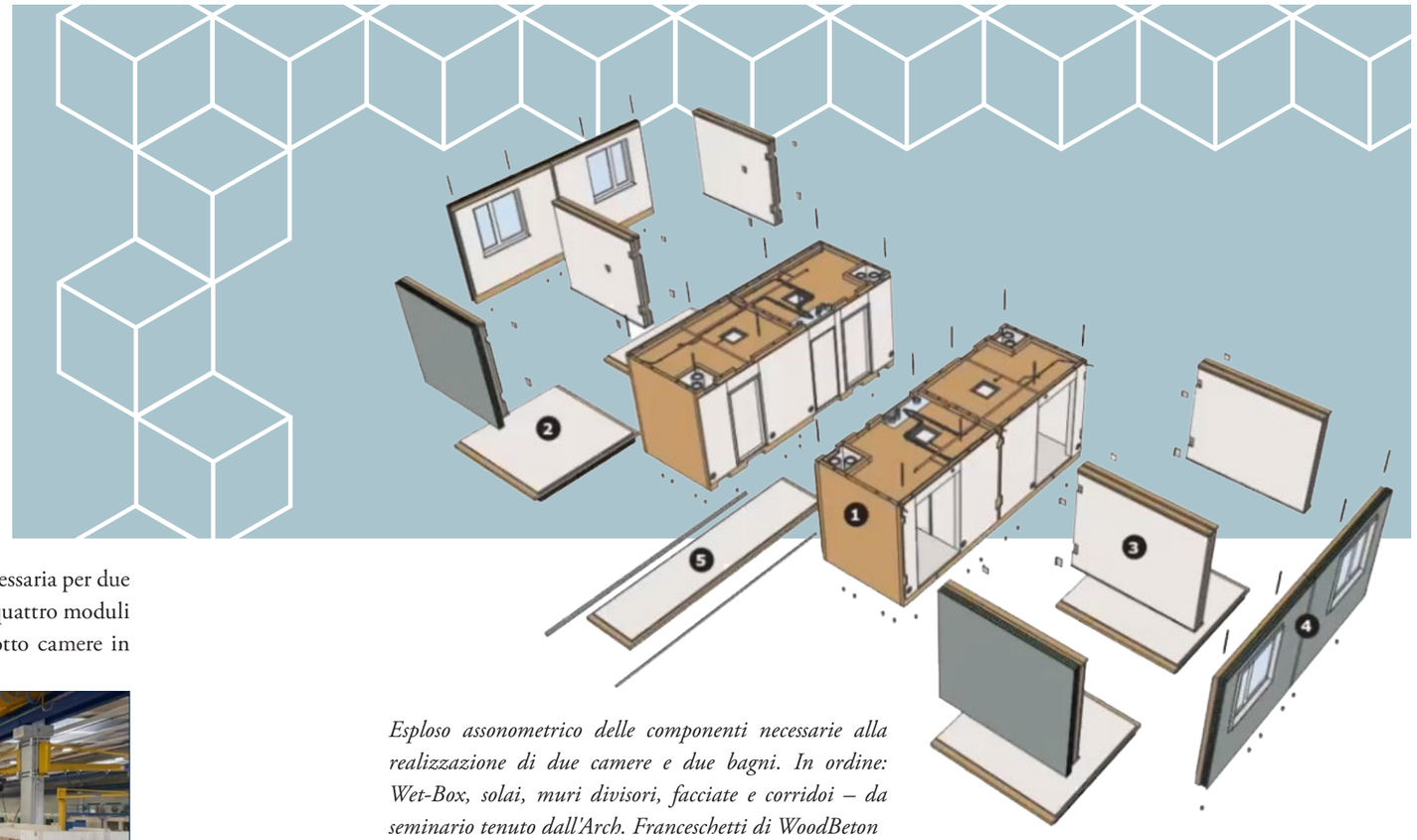
Sistema a carosello per la produzione di elementi bidimensionali – da seminario tenuto dall'Arch. Franceschetti di WoodBeton

All’interno dei capannoni sono state realizzate due linee di produzione dei moduli tridimensionali denominati Wet-Box. Ciascun Wet-Box contiene due bagni completi e l’impiantistica necessaria per due camere. La capacità produttiva è pari a quattro moduli in otto ore di lavoro: l’equivalente di otto camere in otto ore.

Sistema a carosello per la produzione di moduli tridimensionali – da seminario tenuto dall'Arch. Franceschetti di WoodBeton

Accanto alla linea di produzione dei moduli è stato realizzato il reparto pannelli bidimensionali - in cui si producono pareti, solai, facciate, corridoi, coperture di completano delle camere - e il reparto semilavorati, in cui si realizzano i tagli automatizzati.

Il reparto pannelli di WBFactory ha una resa produttiva di 36 pannelli in otto ore: l’equivalente di otto camere in otto ore.
Gli spazi produttivi sono completati da quattro magazzini: materie prime, semilavorati, Wet-Box e pannelli e da un reparto per i tagli automatizzati.



Esploso assonometrico delle componenti necessarie alla realizzazione di due camere e due bagni. In ordine: Wet-Box, solai, muri divisori, facciate e corridoi – da seminario tenuto dall'Arch. Franceschetti di WoodBeton

ORGANIZZAZIONE DEL PROCESSO PRODUTTIVO

La gestione dell’intero processo produttivo è basata su un sistema altamente computerizzato, software Inventor, mutuato dal mondo della meccanica, che consente di “gerarchizzare” ogni singolo componente ed avere una completa tracciabilità, anche a livello di magazzino, degli approvvigionamenti, quindi delle scorte, affinché siano tempestivamente individuabili le criticità.

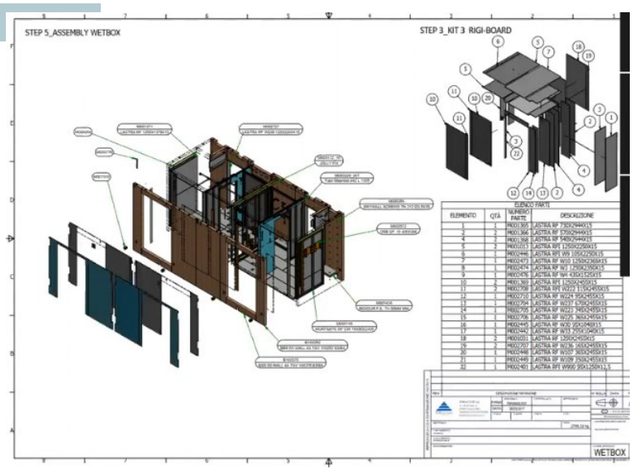
Tutti gli elementi prodotti vengono marchiati con un QRcode che di fatto ne rappresenta la carta d’identità e ne consente il tracciamento per un preciso controllo durante tutte le fasi: dalla produzione al trasporto, al montaggio definitivo.

La produzione adotta un sistema mutuato dall’automotive: è un impianto a carosello dove al posto di un’automobile ci sono le strutture scatolari autoportanti in X-Lam di dimensioni 2.50 x 6.80 m, nelle quali vengono realizzati due bagni e due ingressi.

STRUTTURA

L'hotel è costituito da una struttura portante realizzata con moduli volumetrici in X-Lam che poggia su fondazioni in cemento armato, anch'esse prefabbricate.

I moduli tridimensionali vengono completamente finiti in stabilimento e trasportati in cantiere, sollevati nella loro posizione finale e connessi, strutturalmente e impiantisticamente, agli altri moduli e alle dorsali impiantistiche dell'edificio. A tali moduli, che formano un sistema scatolare, vengono poi connessi altri elementi prefabbricati bidimensionali, ovvero le pareti e i solai. Alla struttura in legno prodotta nello stabilimento WBFactory di Corzano (BS) si affiancano porzioni di strutture prefabbricate in cemento armato quali travi e pilastri della zona hall, vani scala e vani ascensore, realizzati dalla consociata Camuna Prefabbricati Srl.



Esploso assonometrico di un modulo WetBox. Ogni elemento è stato progettato con Inventor, software di progettazione 3D che permette la codifica dei materiali utilizzati.

Il sistema costruttivo tiene conto delle esigenze fondamentali di un hotel, quali il comfort interno e, in particolare, l'insonorizzazione tra le diverse camere e verso l'ambiente esterno (la maggior parte dei Moxy sorge in prossimità di aeroporti), ma anche delle esigenze di performance energetica ormai alla base di qualsiasi nuova realizzazione.

Fondazioni con travi prefabbricate in ca – da seminario tenuto dall'Arch. Franceschetti di WoodBeton

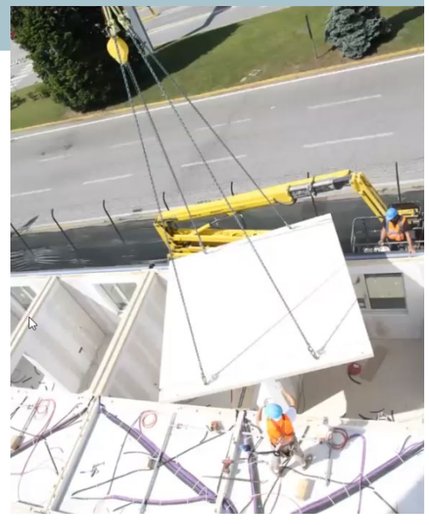
QR Code identificativo degli elementi applicato a ciascun componente prodotto – da seminario tenuto dall'Arch. Franceschetti di WoodBeton

MONTAGGIO IN CANTIERE

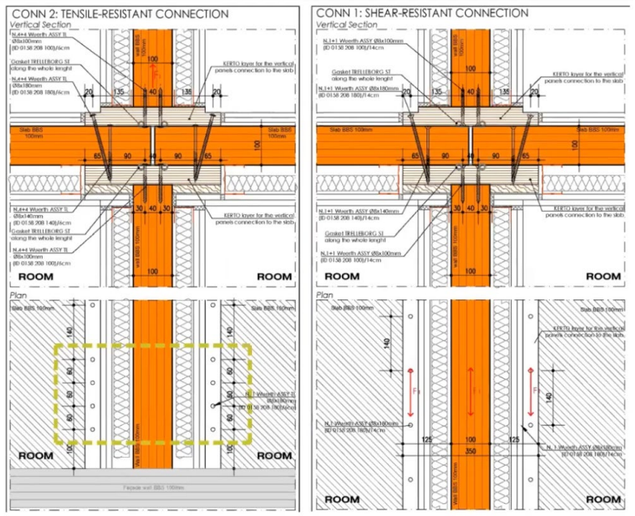
I collegamenti degli impianti elettrici, idraulici e di riscaldamento, sono plug and play e quindi non richiedono una manovalanza specializzata e differenziata per ogni settore impiantistico; l'operatore in cantiere non deve essere necessariamente un elettricista per i collegamenti elettrici o un idraulico per quelli idrici, ma è sufficiente sia in grado di mettere assieme dei connettori dedicati e colorati.

L'organizzazione delle operazioni in cantiere consente di effettuare il montaggio senza l'utilizzo di ponteggi, pur lavorando in piena sicurezza.

Connessioni tra wet-box_f verticali 2.png–

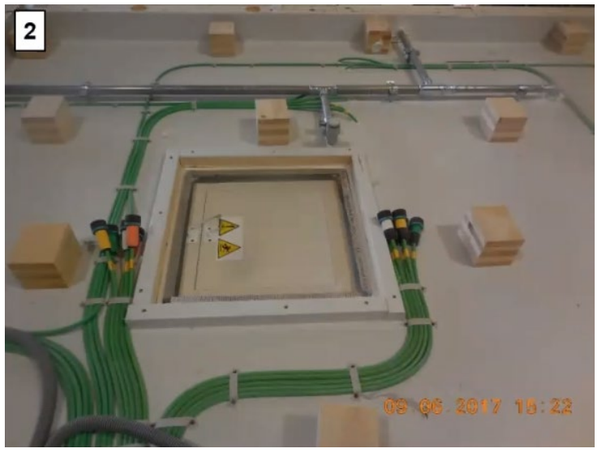


Fasi di montaggio in cantiere di componenti modulari tridimensionali (foto in alto) ed elementi bidimensionali (in basso) – da seminario tenuto dall'Arch. Franceschetti di WoodBeton



Connessioni parete-solaio resistenti a trazione (immagine a sinistra) e a taglio (a destra) – da seminario tenuto dall'Arch. Franceschetti di WoodBeton

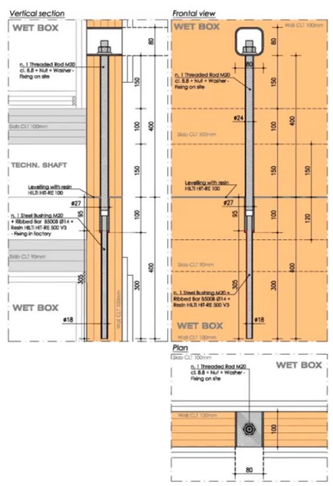
Montaggio senza l'utilizzo di ponteggi – https://ioarch.it/wood-beton-costruisce-il-moxy-hotel-di-linate/

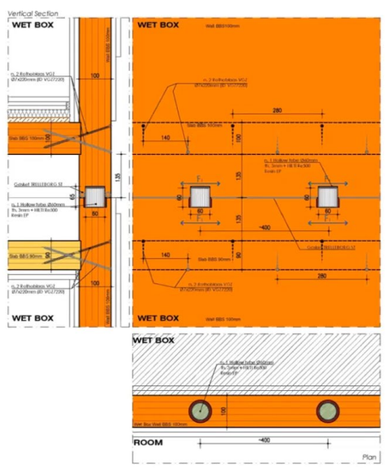


Connessioni plug and play degli impianti – da seminario tenuto dall'Arch. Franceschetti di WoodBeton

PRODUZIONE DEI PANNELLI IN STABILIMENTO E SUCCESSIVO TRASPORTO IN CANTIERE

Produzione e trasporto degli elementi bidimensionali – da seminario tenuto dall'Arch. Franceschetti di WoodBeton





Dettagli delle connessioni tra wet-box adiacenti. A sinistra collegamento resistente alle forze verticali di trazione; a destra collegamento resistente alle azioni orizzontali – da seminario tenuto dall'Arch. Franceschetti di WoodBeton

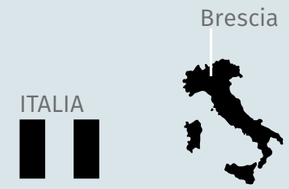
TRASPORTO

Al termine della produzione, i Wet-Box escono dallo stabilimento e raggiungono i cantieri trasportati su camion, treni o navi.

I trasporti sono organizzati con una precisa logica sequenziale: ogni bilico trasporta 2 moduli tridimensionali (che ospitano bagni e ingressi di 4 camere) e il bilico successivo trasporta gli elementi bidimensionali che compongono le rispettive 4 camere. In questo modo le lavorazioni in cantiere procedono secondo quanto programmato.

Caso 2
Moxy hotel

Scheda produttore moduli off-site:



WB Factory - Woodbeton

La Wood Beton Spa nasce nel 1989 come azienda fortemente innovativa proiettata verso lo sviluppo di sistemi costruttivi industrializzati, di prodotti e tecnologie nell'ambito delle strutture miste legno-calcestruzzo, delle grandi opere e degli edifici ad alto risparmio energetico.

Nel 2014 la società Wood Beton dà vita all'azienda WBFactory Srl, azienda altamente industrializzata per la realizzazione di camere per alberghi e bagni prefabbricati in tutta Europa. Le esigenze produttive legate alla prefabbricazione modulare sono state attentamente valutate per la creazione della nuova fabbrica, definendo la movimentazione dei moduli mediante sistemi meccanizzati, stabilendo il numero di postazioni di lavoro e le risorse umane necessarie, i tempi delle singole attività e gli eventuali turni di lavoro. A Corzano (BS) è quindi nata una fabbrica e una linea di produzione con processi a catena, assimilabile alla catena di produzione utilizzata per le automobili.

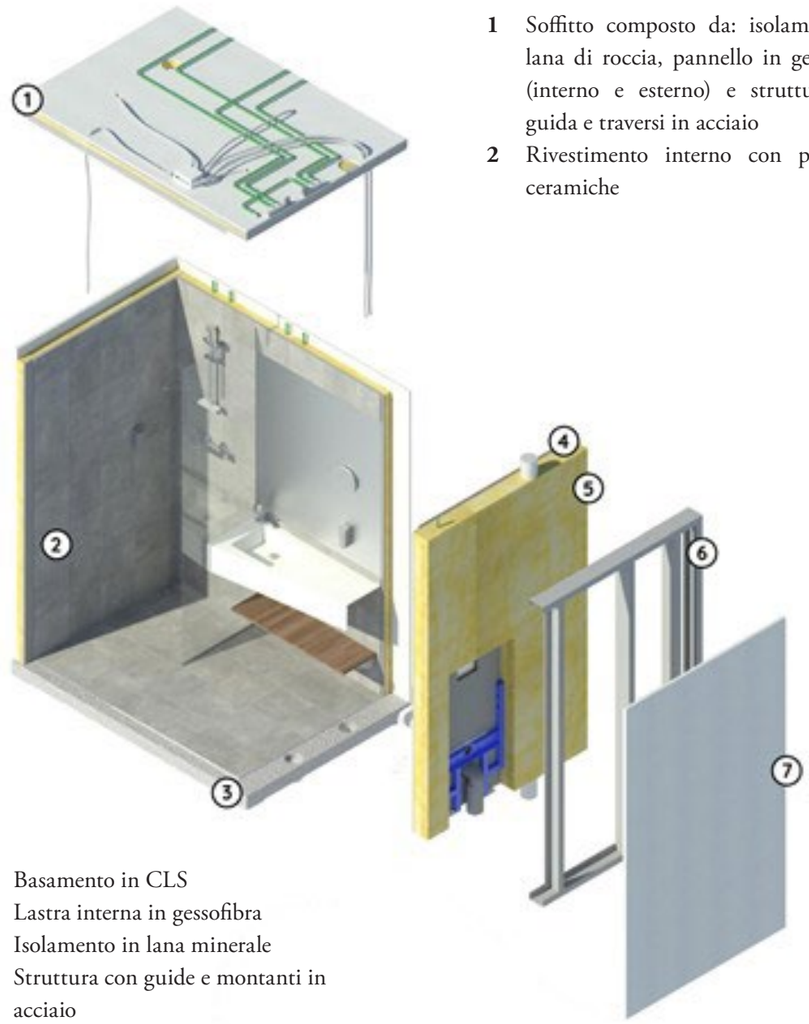
Nel 2019 la Wood Beton inaugura a Lograto (BS) la Divisione Bagni con uno stabilimento produttivo dedicato interamente alla realizzazione di questo prodotto: bagni prefabbricati destinati a settori diversi, dall'alberghiero all'ospedaliero, passando per le abitazioni e gli studentati.
Le cellule bagno, totalmente preassemblate in stabilimento, sono costituite da una struttura leggera in acciaio che permette di ottenere una elevata rigidezza ed un peso contenuto, soprattutto se confrontate con le tradizionali scocche in CLS alleggerito.

La cellula viene consegnata completa di impianti, sia idraulico che elettrico, testati e collaudati secondo le normative del Paese di destinazione. Molto importante risulta essere l'impermeabilità del bagno: a tal proposito, ogni nostra cellula viene sottoposta a severi e rigidi test al fine di verificare l'affidabilità dell'impermeabilizzazione, operazione che viene svolta attraverso un sistema a foglio, e non a membrana liquida.
L'ultimo step della realizzazione del bagno riguarda la posa del pavimento, del rivestimento alle pareti e l'installazione dei sanitari.

Installazione on site
L'utilizzo delle cellule bagno prefabbricate consente una posa e un'installazione facile. I bagni sono infatti consegnati completi di ogni dettaglio: non necessitano di lavori aggiuntivi in cantiere quindi, una volta giunti a destinazione, non resta che posizionarli, connettere gli scarichi, le adduzioni, l'impianto idraulico e quello elettrico. Grazie a ciò, vengono raggiunti elevati standard qualitativi in maniera facile, con un risparmio notevole di tempo rispetto alle tempistiche di un metodo tradizionale.

Bagni "tailor made".
Ogni cellula bagno prefabbricata viene realizzata su misura, con un design che soddisfa ogni esigenza, secondo l'imperativo "massima libertà di scelta".
I clienti richiedono, infatti, progetti personalizzati, con specifiche esigenze: un team, altamente qualificato, segue le richieste, riuscendo a creare cellule bagno uniche ed esclusive nel proprio genere.
Il processo costruttivo prevede la presenza di una persona dedicata, con il compito di pianificare e supervisionare l'intero sviluppo del prodotto: dalla progettazione alla realizzazione, fino alla posa e servizio post vendita.

Ogni bagno prefabbricato prodotto da Wood Beton viene testato e collaudato prima di essere consegnato in cantiere.
Una volta posizionato in sito, l'installazione è molto semplice: vengono collegati e messi in funzione gli impianti della cellula bagno, ovvero quello elettrico, quello idraulico e quello di ventilazione.
Essendo già fornito completo di ogni finitura, l'installazione avviene in tempi brevissimi: in circa due ore il bagno è pronto all'uso.



1 Soffitto composto da: isolamento in lana di roccia, pannello in gessofibra (interno e esterno) e struttura con guida e traversi in acciaio
2 Rivestimento interno con piastrelle ceramiche
3 Basamento in CLS
4 Lastra interna in gessofibra
5 Isolamento in lana minerale
6 Struttura con guide e montanti in acciaio
7 Lastra esterna in cartongesso

Fase di lavorazione di un elemento in legno e calcestruzzo per un ponte nel Regno Unito – Dai canali social dell'azienda Woodbeton

Abitazione a Pirogovo, Mosca, realizzata con pareti in X-Lam, copertura in legno lamellare e bagni Hot&Cold® – Dal sito web dell'azienda: https://woodbeton.it/buildings/

Complesso residenziale Golgi, Artogne (BS). Palazzina costituita da 12 appartamenti disposti su tre livelli, realizzata in soli 35 giorni. La struttura è costituita da pareti Aria®, in legno e calcestruzzo, interamente preassemblate in stabilimento, e copertura in Preconnect®, una soluzione prefabbricata, costituita da travetti inferiori a vista di legno, pacchetto di isolante superiore composto da 16 cm di lana di roccia, 5 cm di ventilazione, pannello OSB e guaina. – Dal sito web dell'azienda: https://woodbeton.it/buildings/

Flow chart processo costruttivo caso 2 - Moxy Hotel

COMMITTENZA

Ingvar Kamprad fondatore di IKEA

Intenzione di entrare nell'hotellerie realizzando hotel costruiti come un Lego

Property Division di Inter Ikea Group

PROGETTO GENERALE - IDEAZIONE

Vastint Hospitality B.V. (Società del Gruppo IKEA)

definizione tipologia e contesto geografico: **Hotel in tutta Europa**

no

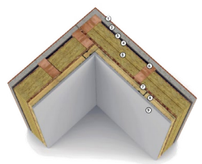
Bando in ambito europeo per l'ingegnerizzazione dell'idea

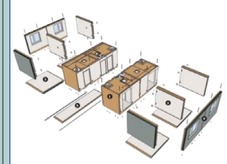
Scelta del partner per l'ingegneriz-zazione e produzione off-site

INGEGNERIZZAZIONE

Azienda produttrice off-site: Wood Beton

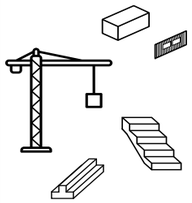
Progettazione di soluzioni tecnologiche innovative: creazione di moduli tridimensionali con struttura in xlam con finiture e impianti già integrati





LOGICA DI SVILUPPO DEL PROGETTO

Costruire alberghi in tempi molto ridotti ma di qualità elevata, con attenzione all'innovazione continua. La strategia commerciale della Wood Beton tende ad un utilizzo congiunto di legno e calcestruzzo, utilizzando quindi la sinergia delle aziende del Gruppo (in totale 600 persone occupate di cui 150 tecnici)



Edificio completamente prefabbricato (anche le fondazioni).

INDUSTRIALIZZAZIONE DA PARTE DELLA FACTORY OFF-SITE

Wood Beton crea un nuovo stabilimento produttivo ad hoc: la WBFactory di Corzano (Brescia)

Le parti in calcestruzzo (vani scale, fondazioni) vengono prodotte negli stabilimenti delle aziende partner del gruppo: Camuna Prefabbricati e Prefabbricati Guerrini in Val Camonica

ORGANIZZAZIONE STABILIMENTI PRODUTTIVI

Lo stabilimento WBFactory, di nuova realizzazione ha permesso di definire con ampia libertà il sistema costruttivo adottando: movimentazione dei moduli con sistemi meccanizzati a carosello e relativa programmazione di postazioni di lavoro, risorse umane e tempi necessari.
Risultati ottenuti:
- l'integrazione di tecnologie avanzate;
- un alto grado di sviluppo tecnologico;
- massimizzazione della flessibilità della factory.

Linea di produzione moduli tridimensionali.
Ogni wet-box contiene n.2 bagni completi e impiantistica completa per 2 camere.
Capacità produttiva: 4 moduli/8 ore, equivalenti a 8 camere/8 ore.

Linea di produzione moduli bidimensionali.
Capacità produttiva pannelli: 36 pannelli/8 ore, equivalenti a 8 camere/8 ore.

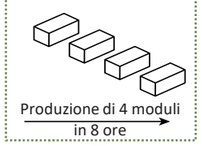
DEFINIZIONE SISTEMA COSTRUTTIVO

Sistema altamente computerizzato con utilizzo di software, mutuato dal mondo della meccanica, che consente di avere la piena tracciabilità di ogni singolo componente, anche a livello di magazzino e di approvvigionamento delle scorte, evidenziando le criticità.
I collegamenti degli impianti dei moduli tridimensionali sono plug and play. Ogni elemento tridimensionale è dotato di QRcode.
I moduli di dimensioni 2.50x6.80 ospitano due bagni e due ingressi.

CAPACITA' PRODUTTIVA

Il processo produttivo consente la realizzazione di alberghi da 200 camere in 8 mesi. Ogni 8 ore vengono prodotti 4 moduli che sono esattamente quanti ne vengono montati in un giorno con 8 operai. Le pareti di tamponamento vengono consegnate con i serramenti completi ed i tamponamenti in cartongesso prerasato vengono preventivamente tagliati con macchine a controllo numerico per evitare lavorazioni in cantiere con relativa produzione di scarti e polveri sottili.

Hotel 200 camere in 8 mesi



Produzione di 4 moduli in 8 ore

Montaggio di 4 moduli in 8 ore

LOGISTICA

I trasporti sono organizzati con una precisa logica sequenziale: ogni bilico trasporta 2 moduli tridimensionali (che ospitano bagni e ingressi di 4 camere) e il bilico successivo trasporta gli elementi bidimensionali che compongono le rispettive 4 camere.
In questo modo le lavorazioni in cantiere procedono secondo quanto programmato.

MONTAGGIO IN CANTIERE

Non vengono utilizzati ponteggi, pur lavorando in piena sicurezza.
In un giorno 8 operai montano 4 moduli.

Fine

4.4 Caso 3

The Union

Oakland, California

Edificio residenziale e commerciale sito in zona periferica a Oakland, California.

Il The Union ospita 110 unità residenziali, distribuite tra "studio" (monolocale), "1 bed" (bilocale) e "2 bed" (trilocale).

Il progetto è composto da 85 moduli prefabbricati, poggianti sul "podium", costruito in opera ed adibito a spazi commerciali.

SCHEDA PROGETTUALE

Dati di progetto

- **Tipologia**: Edificio residenziale con piano terra dedicato all'attività commerciale
- **Luogo**: 532, Union Street, Oakland, California
- **Numero di piani**: 6 (di cui 5 ospitanti gli appartamenti + piano terra ad uso commerciale realizzato in c.a.)
- **Numero di appartamenti**: 110 (22 per piano)
- **Anni progettazione/realizzazione**: 2018-2021
- **Moduli off-site**: n. 85, 17 moduli per piano nei 5 piani dedicati agli appartamenti.

Stakeholders

- **Progettista**: David Baker Architects
- **Committenza**: Holliday Company
- **Costruttori**: Factory_OS (moduli prefabbricati), Cannon Constructors North, Inc. (operazioni in cantiere), Bok Modern (lavorazioni lamiera per la facciata)
- **Consulente paesaggista:** Miller Company Landscape Architects

NASCITA DEL PROGETTO

L'edificio sorge in un quartiere periferico nella zona Ovest della città di Oakland, in California, dove la necessità di trovare alloggi a prezzi accessibili interessa una larga parte della popolazione.

Il complesso ad uso misto, situato all'incrocio tra Union, Fifth e Magnolia Street, accoglie più di cento appartamenti di diverse dimensioni, spazi comuni per attività sociali fruibili dai residenti ed un'ampia zona destinata al commercio che comprende tutto il piano terra.

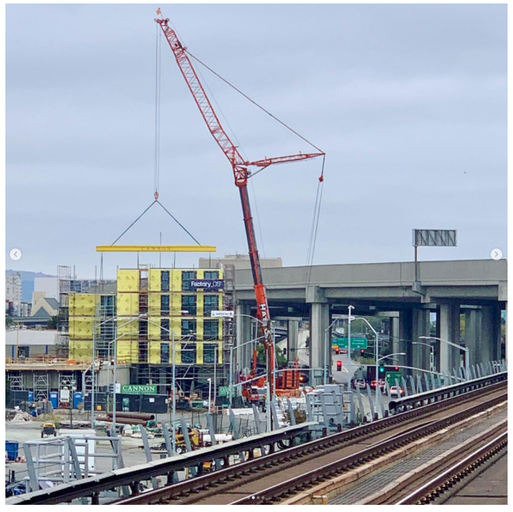
Vista lungo la Fifth Street, con il blocco commerciale visivamente diverso dai piani residenziali – Foto di Matthew Millman (https://www.dbarchitect.com/project_detail/203/The%20Union%20%20.html)

La struttura si propone quindi di trovare una soluzione a due questioni sociali: la mancanza di abitazioni a basso costo ma anche la difficoltà all'accesso al trasporto pubblico. Nei centri urbani degli Stati Uniti si sta puntando verso un aumento dell'utenza delle linee ferroviarie, metropolitane e degli autobus da parte della popolazione, che si sta densificando. Il The Union ospita 110 unità residenziali ed è stato volutamente sviluppato a poca distanza da una delle stazioni della rete ferroviaria che attraversa la città.

Il progetto per The Union è stato concepito fin da subito pensando alla modularità. È un edificio di sei piani, cinque dei quali costituiti da moduli prodotti efficientemente tramite le tecnologie off-site.

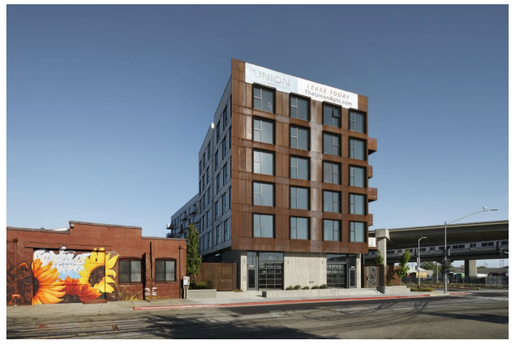
L'azienda che ha prefabbricato i moduli che compongono il The Union è da sempre attenta alle questioni sociali che interessano direttamente non solo la città di Oakland ma tutta la California in generale. Factory_OS infatti si concentra principalmente sulla costruzione di alloggi a prezzi accessibili: circa l'80% di ciò che è stato prodotto dal grande stabilimento di Vallejo è rappresentato da appartamenti a prezzi inferiori al mercato, proprio per soddisfare una grande fetta di popolazione, che comprende persone senzatetto ma anche studenti e lavoratori a basso reddito.

Approntamento del cantiere per la costruzione del The Union, visibile dai vagoni della rete ferroviaria del trasporto pubblico, che passa a poca distanza. – dalla pagina Instagram davidbakerarchitects, Febbraio 2019.



Vista (dalla lenea ferroviaria BART) sul complesso del The Union in costruzione, nella fase di installazione dei moduli abitativi. – dalla pagina Instagram davidbakerarchitects, Agosto 2019.

Questa tipologia di realizzazione ha permesso non solo di erigere una costruzione di queste dimensioni con minori costi ed in un ventesimo del tempo che si sarebbe impiegato utilizzando tecniche tradizionali, ma anche di avere un impatto minimo sulle attività del quartiere.



Vista da Union Street. Si possono notare i rapporti con la zona, prevalentemente costituita da bassi fabbricati e la vicinanza alla linea ferroviaria del trasporto pubblico ed all'autostrada interstatale. – Foto Matthew Millman (https://www.dbarchitect.com/project_detail/203/The%20Union%20%20.html)

CONCEPT

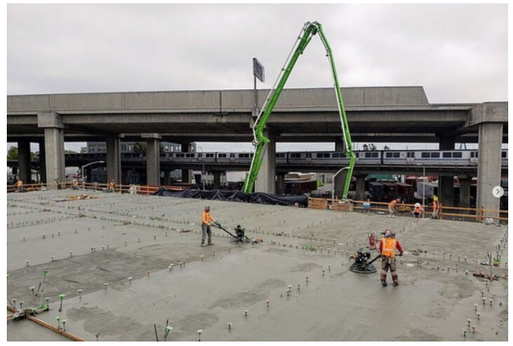
Il "The Union" sorge all'estremità ovest della città di Oakland, in uno degli ultimi isolati prima della zona portuale ed a ridosso dell'autostrada interstatale Interstate 880 ed i binari della BART (Bay Area Rapid Transit). Doveva essere progettato per un lotto stretto e con conformazione ad "L", tra Union Street e la Quinta Strada.

Per sfruttare completamente lo spazio a loro disposizione, i progettisti dello studio di Oakland DB Architects hanno deciso di creare due diversi blocchi e collegarli alle estremità, da cui il nome del complesso.
La porzione più grande dello Union è costituita da un grande parallelepipedo che si innesta con il proprio lato principale lungo la Quinta Strada; alla sua estremità è collegato l'altro volume, costituito da un cubo e di dimensioni minori, leggermente ruotato verso l'incrocio con Union Street.

Tutto il piano terra è adibito a spazio commerciale e funge da "podio" sul quale si innestano i cinque piani di abitazioni. È l'unica porzione dell'edificio a non essere prefabbricata, ma costituita da calcestruzzo armato gettato in opera, i cui lavori hanno avuto inizio ad Aprile del 2019. Lo studio dei progettisti David Baker Architects ha documentato le fasi finali del getto, realizzato con più di 400 metri cubi di calcestruzzo, trasportato in cantiere tramite 73 betoniere.
Subito dopo il completamento e la rifinitura superficiale del podio ha avuto inizio la costruzione della parte residenziale.

Contrariamente a quanto sarebbe avvenuto con una costruzione tradizionale, tutti e cinque i piani sono stati eretti in sole due settimane.

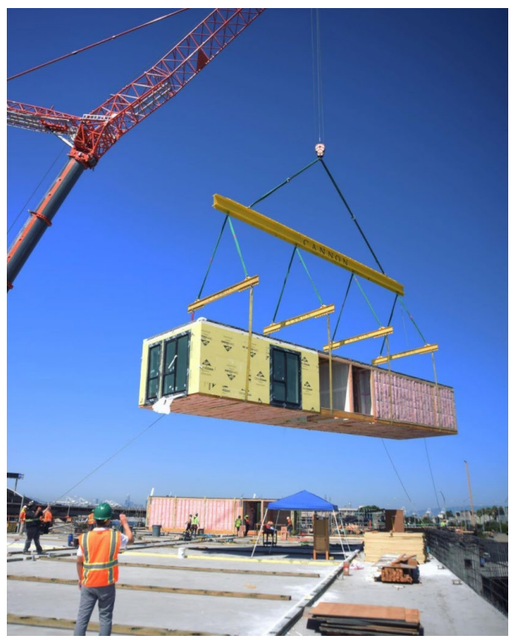
Pianta piano tipo della parte residenziale. – Immagine da David Baker Architects (https://www.dbarchitect.com/project_detail/203/The%20Union%20%20.html)



Rifinitura superficiale con elicottero del getto del podio. – Dalla pagina Instagram davidbakerarchitects, Inizio Agosto 2019.

CANTIERE

La fase cantieristica ha avuto inizio nei primi mesi del 2019, come dimostrano le immagini scattate da un vagone della linea ferroviaria BART, che riprendono il sito del cantiere recintato e pronto ai successivi scavi per le fondazioni del The Union.



Primo giorno di coordinamento dei lavori relativi alle residenze. Sollevamento del terzo modulo da installare sul podio in calcestruzzo. – Da davidbakerarchitects su Instagram, 15 Agosto 2019.

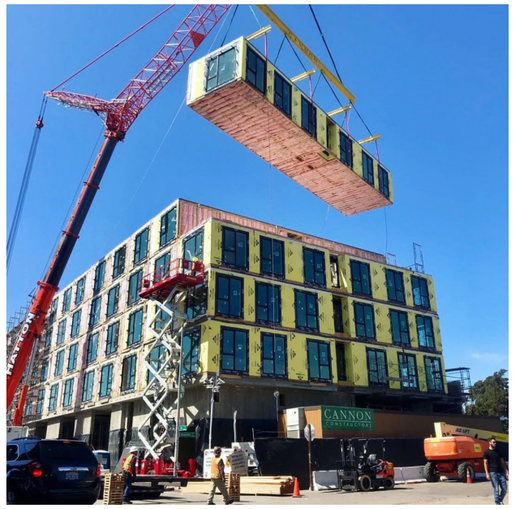
Dopo il getto del piano terra, a metà Agosto 2019 sono iniziati i lavori di installazione delle residenze. I grandi moduli - circa 21 metri di lunghezza per un peso complessivo di 22 tonnellate - sono stati assicurati tramite una speciale struttura ad un'imponente gru, che li guidava verso la loro posizione definitiva.

Ogni elemento è fissato alla struttura di sollevamento tramite quattro punti di appoggio equidistanti, che impediscono al modulo di deformarsi.

Fine della prima settimana di lavori per le residenze, il The Union ha iniziato a prendere forma, raggiungendo il terzo livello. – Da pagina davidbakerarchitects su Instagram, Agosto 2019.

Durante la prima settimana il team Cannon Constructors ha installato i primi 20 moduli; il 18 agosto 2019 il The Union aveva già raggiunto il terzo livello.

Come dimostra anche la sequenza fotografica, i tempi per la messa in opera di tutti e 85 i moduli che compongono la porzione residenziale del The Union sono stati incredibilmente brevi, con l'ultimo blocco installato gli ultimi giorni di agosto.



Installazione in corso del modulo d'angolo, che va a completare il quarto livello del complesso. – Dalla pagina davidbakerarchitects su Instagram, 24 Agosto 2019.

I rivestimenti della facciata e la realizzazione delle altre finiture esterne sono stati affidati all'azienda Bok Modern, che ha sviluppato un sistema in acciaio corten che riveste un intero lato del volume principale e fornisce l'oscuramento per tutte le finestrature.

STRUTTURA

Il complesso poggia su un primo piano che funge da base per le residenze, con struttura in calcestruzzo amato realizzato in opera. Su di esso si innestano i cinque piani costituiti da dei lunghi moduli in legno affiancati l'uno all'altro.
La forma di ogni blocco è fortemente allungata: sono infatti realizzati in modo da contenere due ambienti più il corridoio centrale che separa i vari appartamenti.

Dettaglio del singolo modulo, a sviluppo fortemente allungato – dal sito di Factory OS (https://factoryos.com/)

Installazione dell'ultimo modulo del quinto ed ultimo piano del The Union. – 29 Agosto 2019, pagina davidbakerarchitects su Instagram.

La stanza tipo è di circa 7.6 per 3.6 metri (25 x 12 piedi); per questo motivo il singolo modulo raggiunge gli oltre 21 metri di lunghezza.

Ogni piano del The Union accoglie 22 appartamenti di diverse metrature, per un totale di 110 abitazioni. Queste sono realizzate con 85 moduli prefabbricati, 17 per ogni piano a destinazione residenziale. Oltre alla posizione privilegiata e alle sistemazioni eleganti, The Union vanta un giardino aperto e una terrazza con posteggi per biciclette al primo piano.

ORGANIZZAZIONE PROGETTUALE

Grazie all'uso di moduli prefabbricati, i tempi per la costruzione sono notevolmente ridotti; l'installazione dei blocchi residenziali per gli appartamenti è iniziata nell'estate del 2019 e a fine agosto l'intero complesso era completamente costruito.

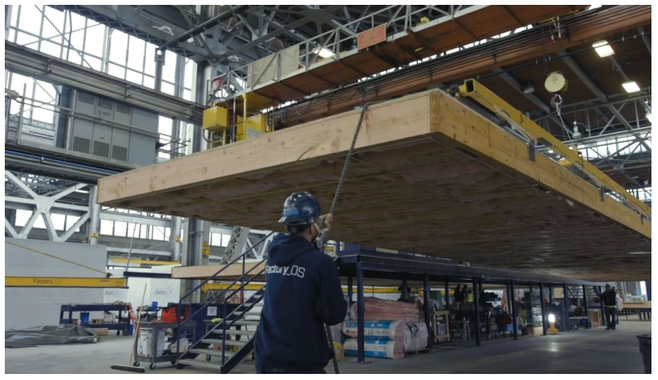
Vista dall'alto sui moduli realizzati da Factory_OS per The Union, già completi dei sistemi impiantistici e quasi pronti per essere spediti al cantiere di Oakland – dal sito dell'azienda Factory_OS (https://factoryos.com/videos/)

Il team di progettazione, David Baker Architects, è stato affiancato da Prefab Logic, il progettista dei prodotti modulari e dal gruppo di project manager modulare costituito da Prefab Logic, DCI Engineers e Fard engineers. Il ruolo di Prefab Logic è stato quello di personalizzare i vari piani del progetto per sfruttare al massimo sia gli spazi distributivi sia l'efficienza della costruzione off-site. L'investitore immobiliare del progetto è invece Holliday Development.

Il produttore dei blocchi abitativi ha una vocazione artigianale, ma guarda molto anche al futuro; è da tempo collaboratore di Autodesk, azienda che produce software per la progettazione, la quale fornisce a Factory_OS applicazioni interattive che guidano i lavoratori nelle varie fasi della linea di produzione.

PRODUZIONE DEI MODULI

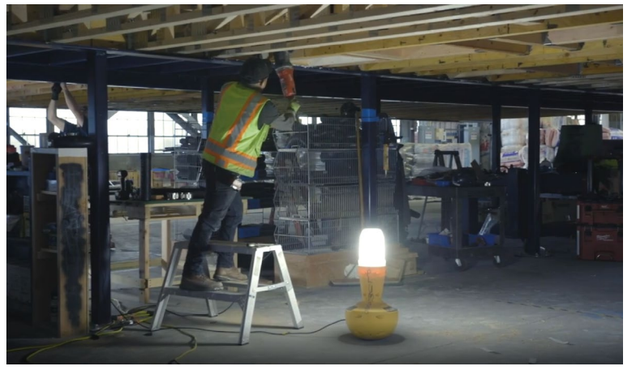
La linea di produzione in fabbrica si ispira alla produzione in serie tipica del settore dell'automotive. Anche Factory OS produce i moduli a partire da uno chassis, sul quale vengono successivamente eseguite le necessarie lavorazioni, dall'interno verso l'esterno del blocco. Il solaio ospita la parte impiantistica, con tubi per i condotti elettrici ed idraulici. A differenza di ciò che avviene in un cantiere tradizionale, la struttura può essere agevolmente sollevata e ruotata, per permettere agli operai di avere un più facile accesso alle porzioni più basse del modulo o effettuare lavorazioni direttamente da sotto.



Movimentazione dello chassis che fungerà da base per il modulo – da Developer builds modular homes in Vallejo, to truck to Oakland and San Francisco, Fox 2, KTVU

Il processo produttivo adottato è suddiviso in 33 fasi concatenate[1] ed è

1 Factory_OS takes on the housing crisis with off-site construction technology, da video https://www.autodesk.com/customer-stories/factory-os-video?linkId=64793142&linkId=65063855&fbclid=IwAR1UIi-naoywPLwV810v96EmPwHcdc4x0hwHQ94urW0hUCbXewkn0i-LHTU



Fase di installazione degli impianti realizzata al di sotto della base del modulo – da Developer builds modular homes in Vallejo, to truck to Oakland and San Francisco, Fox 2, KTVU

L'uso del BIM è parte integrante del lavoro degli operai della Factory_OS. I progettisti inviano i disegni tecnici agli operai tramite BIM 360. Gli addetti all'officina controllano le componenti del manufatto da produrre, le contrassegnano in BIM 360 e rispediscono il modello parametrico direttamente allo studio, che ha quindi il controllo sulla produzione. Questo tipo di processo pilotato dal software aiuta l'azienda ad essere più efficiente e a produrre meno scarti.

particolarmente efficiente, siccome ogni operazione viene effettuata nello stesso grande stabilimento, riducendo così anche le emissioni di carbonio dovute al trasporto, oltre che i costi.

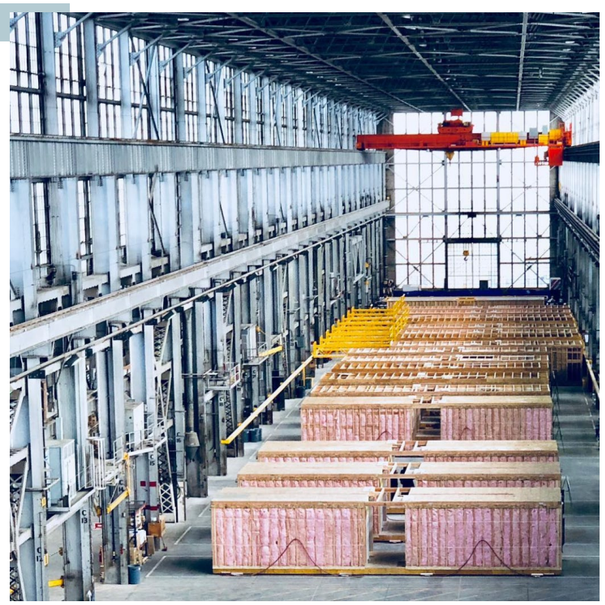
Durante la fase produttiva un importante aiuto proviene dall'uso di strumenti digitali, indispensabili nella gestione della catena degli approvvigionamenti. Dalla fase di progettazione a quella realizzativa, viene generata un'enorme quantità di dati e l'ausilio di piattaforme software come Revit e Dynamo permette una migliore gestione ed efficienza.

Utilizzo della piattaforma BIM 360 lungo la linea di produzione, per avere il controllo in tempo reale delle componenti da realizzare – dal video "Factory_OS takes on the housing crisis with off-site construction technology" (https://www.autodesk.com/customer-stories/factory-os-video?linkId=64793142&linkId=65063855&fbclid=IwAR1UIi-naoywPLwV810v96EmPwHcdc4x0hwHQ94urW0hUCbXewkn0i-LHTU)

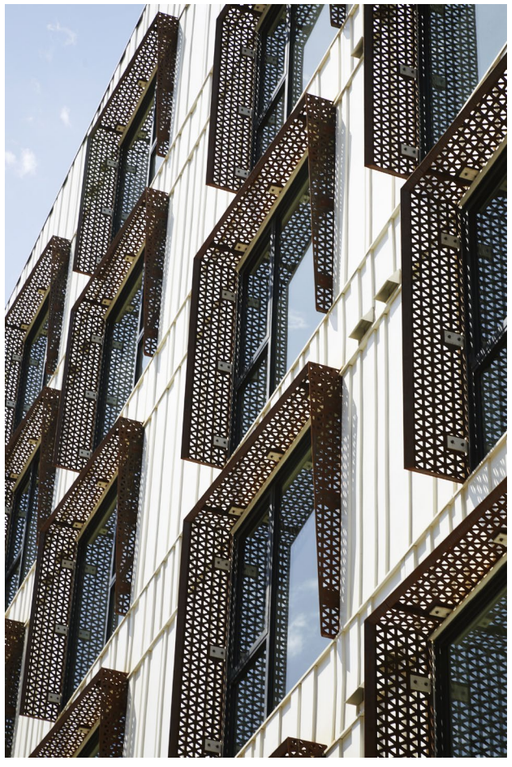
MATERIALI

I moduli, la cui struttura è realizzata tramite telai lignei, vengono spostati lungo la catena di montaggio per mezzo di carri ponte.
Le loro dimensioni sono elevate, con il lato maggiore che supera i 21 metri di lunghezza, ed ospitano due unità abitative. Sono forniti al cantiere completi di finiture interne, come pavimenti in vinile e rivestimenti alle pareti.

Lavorazioni lungo la catena di produzione – dal sito dell'azienda Factory_OS (https://factoryos.com/videos/)

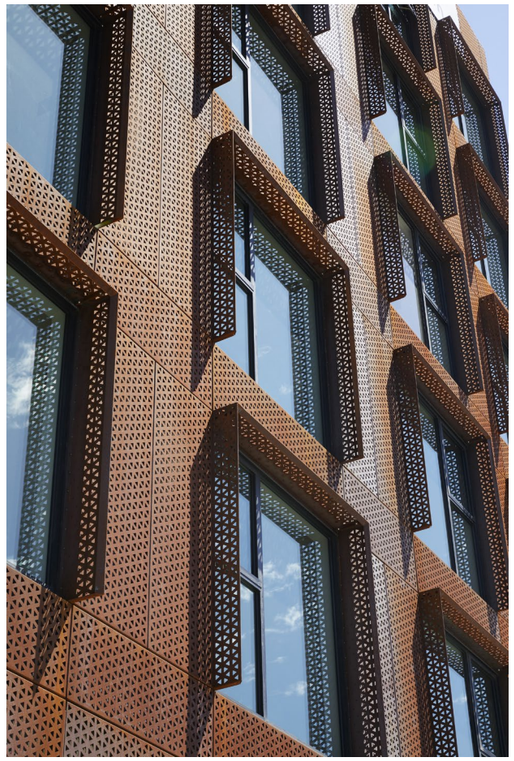


Fase della produzione; visibile il sistema di sollevamento per la movimentazione degli chassis – dalla pagina instagram dell'azienda

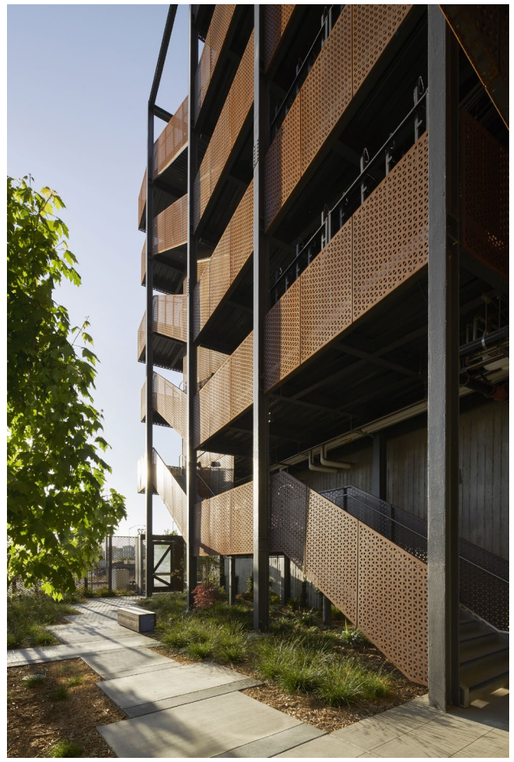


Dettaglio facciata in corten – Foto Matthew Millman (https://www.dbarchitect.com/)

L'aspetto finale del The Union è stato ottenuto grazie ad un rivestimento esterno che è stato appositamente studiato per il progetto dall'azienda BokModern. Sulla facciata Ovest ha predisposto un rivestimento in acciaio corten, composto da alcune porzioni lisce e sistemi di oscuramento mobili in corrispondenza delle aperture.
Lungo le facciate esposte a Nord sono stati progettati dei sistemi di oscuramento fissi e più ridotti che incorniciano le finestre.

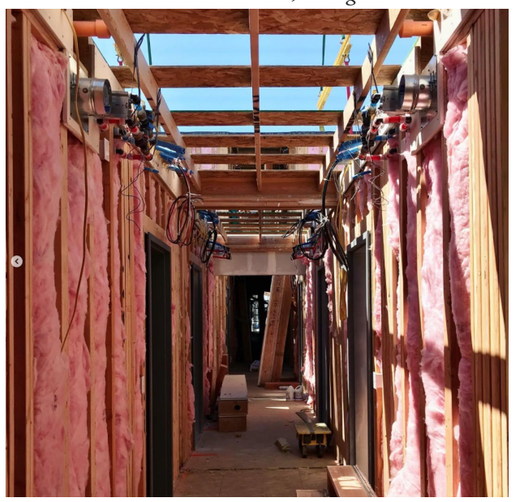


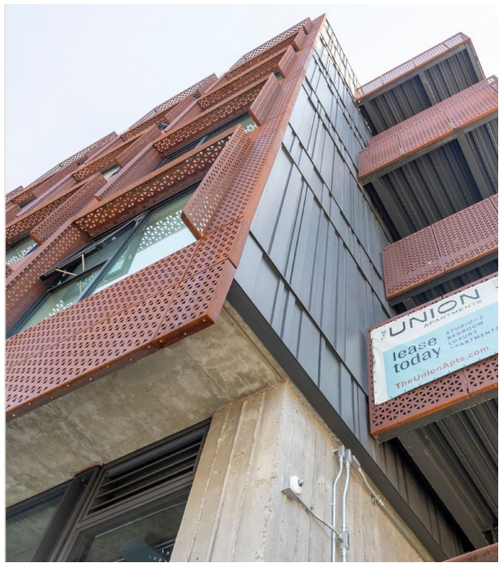
Dettagli dei sistemi di oscuramento fissi attorno alle finestre. Sono presenti sulle due facciate esposte a Sud e Sud-Ovest, che presentano rivestimenti di diverso tipo – Foto Matthew Millman (https://www.dbarchitect.com/)



Dettaglio della scala esterna, che affianca il blocco più piccolo – Foto Matthew Millman (https://www.dbarchitect.com/project_detail/203/The%20Union%20%20.html)

Sotto: sistema impiantistico. A fianco: particolare della facciata in acciaio corten e lamiera che riveste i piani delle residenze – davidbakerarchitects, Instagram

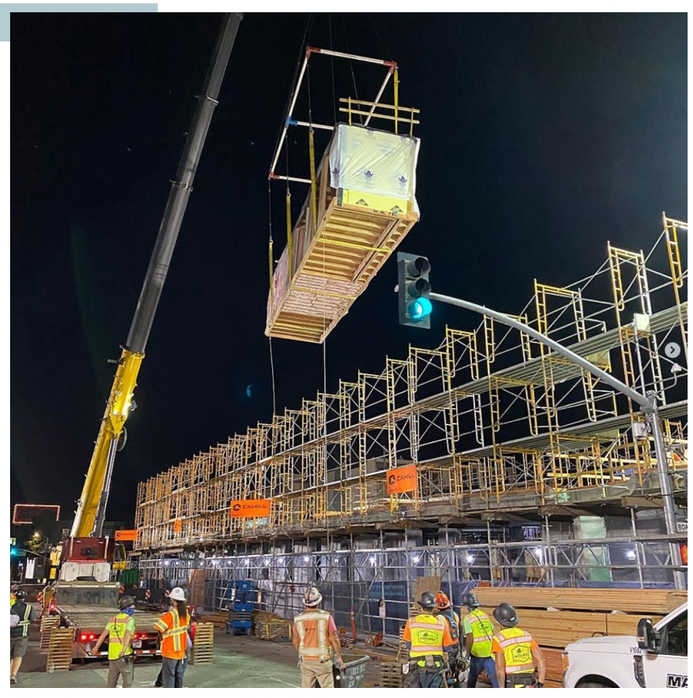




TRASPORTO

L'imponente stabilimento che si occupa della produzione dei moduli, dal telaio esterno agli impianti e fino alle più piccole finiture degli interni, sorge a Mare Island a Vallejo, in California. Qui nell'ex fabbrica di sottomarini della Marina USA, oggi sede dell'azienda produttrice off-site Factory_OS, sono stati realizzati tutti i moduli tridimensionali che vanno a comporre i due grandi blocchi del The Union.

Ogni modulo nasce a partire da uno chassis che viene man mano completato con pareti, soffitti, rivestimenti, isolante ed impianti, per poi lasciare lo stabilimento completamente ultimato, a bordo di camion con pianale che li trasportano lungo le circa 40 miglia che separano Mare Island da Oakland, luogo del cantiere.



Fase di scarico di un modulo dall'autocarro che, in orario notturno, lo ha trasportato dallo stabilimento di produzione al cantiere di Oakland – Da davidbakerarchitects su Instagram.

Il trasporto e lo scarico in cantiere dei moduli avvengono in orario notturno, per non essere di intralcio al traffico automobilistico.

Schema distributivo della distribuzione in pianta delle diverse tipologie di alloggi. Quelli dimensionalmente maggiori si trovano alle estremità del blocco principale e in tutto il volume minore. – Da davidbakerarchitects su Instagram. Elaborazione grafica a cura di F. Muratore.

APPARTAMENTI

I moduli che compongono il The Union non sono tutti uguali. Le piante ideate dal progettista sono infatti di sei diversi tipi, in modo da soddisfare la più ampia fetta di popolazione possibile.

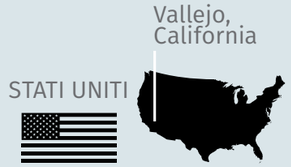
Gli appartamenti vanno dai monolocali di 45 m^2 ad alcune proposte più ampie, di circa 90 metri quadrati (1000 square foot) che comprendono due camere da letto, due bagni e il soggiorno e sono posizionati agli angoli del parallelepipedo principale, oltre che nel volume minore.

Piante delle diverse tipologie di alloggi, di dimensioni comprese tra 45 e 92 metri quadri – da https://theunionapts.com/floorplans/

Caso 3
The Union
West Oakland

Scheda produttore moduli off-site:

Factory_OS



L'azienda Factory_OS si trova a Vallejo, in California. La sua storia inizia con un capannone nel cantiere navale di Mare Island, nel quale vi era l'officina meccanica che si occupò di riparare la flotta americana dopo l'attacco a Pearl Harbor. Oggi ha spostato la propria attenzione sul problema sociale e politico della carenza di alloggi a prezzi accessibili, che affligge l'intero Paese. L'ambizione di riuscire a costruire case plurifamiliari ben progettate e tecnologicamente avanzate in modo decisamente più veloce e con un risparmio sui costi, li ha portati a puntare sul prefabbricato.
Ogni fase della costruzione viene elaborata direttamente in fabbrica, dove viene creato ed assemblato l'intero modulo abitativo, dalle strutture principali alle finiture ed elementi di dettaglio. Quando tutto è pronto viene spedito al cantiere ed assemblato.

Processo produttivo
Il processo di prefabbricazione porta con sé un sostanziale vantaggio: quello di poter continuare a costruire in tutti i periodi dell'anno, con qualsiasi condizione atmosferica. Inoltre è possibile ricorrere a tecnologie all'avanguardia ed effettuare un controllo di qualità sul prodotto finito molto più accurato.
Costruendo all'interno dei capannoni dell'azienda i lavoratori operano in maniera più sicura e lo stoccaggio del materiale al coperto permette di ridurre notevolmente gli sprechi.
Questo vale soprattutto per un'azienda come Factory OS, specializzata nella produzione di moduli la cui componente principale è il legno, che subirebbe un più rapido processo di deterioramento rispetto ad altri materiali come, per esempio, l'acciaio.

Factory OS ha stretto un accordo con il Consiglio Regionale dei carpentieri della California settentrionale, per il quale si impegna ad assumere e formare lavoratori, creando nuovi posti di lavoro. Il Consiglio agisce come una sorta di sindacato o datore di lavoro, al quale sono sottoposti vari lavoratori (come i dipendenti di Factory OS) e che permette di avere abitazioni "union-

made" ovvero realizzate grazie a questa grande collaborazione.

L'azienda Factory_OS è inoltre partner di Autodesk, azienda produttrice di software e servizi rivolti alla progettazione, la quale fornisce programmi e supporto ingegneristico per digitalizzare la progettazione volumetrica della società californiana.

Posizionamento di un modulo a telaio ligneo–Dai canali social dell'azienda Factory OS

In questo modo si snellisce il processo di produzione, ottenendo anche costi inferiori.
In occasione di due grandi incendi che nel 2019 hanno distrutto molte case in California, l'azienda si è messa in gioco per fornire nuove abitazioni nel più breve tempo possibile. La linea di produzione era arrivata a costruire tra i 4 e i 6 appartamenti al giorno, con l'obiettivo di migliorare ancora negli anni successivi.

La spinta verso l'innovazione / l'attenzione per la ricerca

Già ad oggi Factory OS si impegna a tagliare costi e tempi di costruzione, anche del 40-50%; tuttavia sta cercando di investire nel futuro per migliorare ulteriormente i metodi di costruzione dell'architettura modulare prefabbricata.
Il loro obiettivo finale è quello di costruire più alloggi, aumentando la produttività in ogni aspetto, usando materiali più ecologici ed efficienti, cambiando il modo di progettare e coordinandosi al meglio con la parte di costruzione effettuata in cantiere. Per fare ciò è necessario trasformare l'intero settore, cosa che richiede ricerche e scoperte su una scala più ambia del loro modello di business.
Per contribuire a stimolare l'innovazione, Factory OS sta contribuendo al lancio di un Innovation Lab indipendente all'interno del Centro per l'innovazione abitativa dell'Università di Berkeley, ospitandolo direttamente negli spazi dell'azienda. Il nuovo laboratorio avrà così la possibilità di identificare e sviluppare idee che possono modernizzare il lavoro e le tecniche di costruzione industrializzate. Sarà accessibile ad architetti, ingegneri, accademici, sviluppatori e studenti, che insieme studieranno come portare la costruzione off-site a nuovi livelli, in modo da produrre abitazioni in modo più efficiente. Il personale dell'azienda che li ospita avrà il vantaggio di avere subito a disposizione queste nuove conoscenze, per fare da pioniere nell'innovazione e fornire case ad un prezzo accessibile anche per la classe media.

Vista sullo stabilimento di Vallejo, California – Dal sito dell'azienda Factory OS: https://factoryos.com/videos/

Realizzazione della parete di un modulo prefabbricato – Da sito dell'azienda Factory OS: https://factoryos.com/videos/

Fasi dell'installazione in sito di un modulo, effettuata in orario notturno – Dai canali social dell'azienda Factory OS

Flow chart processo costruttivo caso 3 - The Union

COMMITTENZA

Holliday Company

Obiettivo: proporre abitazioni a basso costo, facilmente accessibili con i trasporti pubblici

Definizione modalità e tempi di intervento

PROGETTO GENERALE - IDEAZIONE

Progetto architettonico: David Baker Architects

Definizione dell'area di intervento: OAKLAND, California, in zona periferica con ottimi collegamenti stradali e ferroviari.

Definizione tipologica dell'edificio e delle modalità costruttive.

INGEGNERIZZAZIONE

Scelte del team per l'ingegneriz-zazione e del produttore off-site

Progetto prodotti modulari: Prefab Logic

Gruppo di project manager modulare:
- Prefab Logic
- DCI Engineers
- Fard Engineers

Costruzione in cemento armato in opera del piano terra adibito a commercio che funge da podio su cui si innestano 5 piani di abitazioni realizzate con moduli prefabbricati. La forma di ogni blocco è fortemente allungata: infatti ospita due ambienti ed il corridoio centrale che separa i vari appartamenti.

LOGICA DI SVILUPPO DEL PROGETTO

Scelta del produttore dei moduli off-site e del costruttore

Azienda produttrice off-site: Factory_OS

Rivestimenti facciate:

Montaggio dei moduli in cantiere e realizzazioni on-

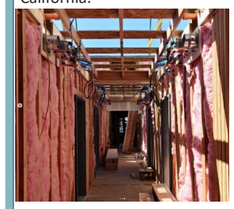
INDUSTRIALIZZAZIONE DA PARTE DELLA FACTORY OFF-SITE

La ditta Factory_OS, con l'ausilio del complesso di strumenti informatici integrati (BIM-DfMA), ha sviluppato il programma di produzione suddividendolo per unità tipologiche.

I moduli prefabbricati hanno telaio portante in legno e sono totalmente completati in stabilimento.
Vengono sovrapposti 5 piani di moduli, 17 per piano, per un totale di 85 moduli. Ogni piano ospita 22 appartamenti per un totale di 110 abitazioni.

ORGANIZZAZIONE STABILIMENTI PRODUTTIVI

Lo stabilimento produttivo iniziale della ditta Factory_OS sorge a Mare Island a Vallejo nel nord della California.
La localizzazione ha determinato una iniziale diffusione dei loro prodotti nell'area circostante. La crescente domanda del mercato ha indotto l'azienda ad impiantare un secondo stabilimento per incrementare la produzione, mentre un terzo impianto produttivo è in fase di progettazione a Los Angeles per servire il sud della California.



La fabbrica di Vallejo impiega centinaia di lavoratori che costruiscono moduli 3D per abitazioni utilizzando un processo in 33 fasi, dalla costruzione del telaio esterno agli impianti, fino alle più piccole finiture degli interni.

Qui nell'ex fabbrica di sottomarini della Marina, sono stati realizzati tutti i moduli tridimensionali che vanno a comporre i due grandi blocchi del The Union.

DEFINIZIONE SISTEMA COSTRUTTIVO

L'approccio costruttivo di Factory OS è un sistema suddiviso in 33 stadi concatenati definiti secondo la massima efficienza, inizia con il telaio in legno e con l'impalcato di base, entro cui vengono posizionati tubi e condotti per impianti idraulici ed elettrici.

I moduli vengono spostati lungo la catena di montaggio per mezzo di carri ponte.
La dimensione tipica dei moduli è di circa 21,00 x 3,60 metri; ciò nonostante possono essere agevolmente sollevati e ruotati, per permettere agli operai di avere un più facile accesso alle porzioni più basse o effettuare lavorazioni direttamente da

L'aspetto finale del The Union è stato ottenuto grazie ad un rivestimento esterno che è stato appositamente studiato

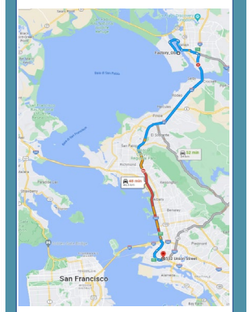
CAPACITA' PRODUTTIVA

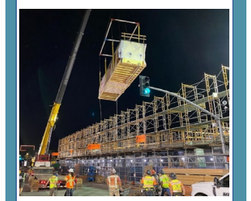
Le capacità produttive dell'azienda sono determinate dalla particolare efficienza del sistema.
Un importante aiuto proviene dall'uso di strumenti digitali, indispensabili nella gestione sia della catena degli approvvigionamenti che della costruzione. Dalla fase di progettazione a quella realizzativa, viene generata un'enorme quantità di dati e l'ausilio di piattaforme software come Revit e Dynamo permette una migliore gestione ed efficienza.
L'uso del BIM è parte integrante del lavoro degli operai della Factory_OS. I progettisti inviano i disegni tecnici agli operai tramite BIM 360. Gli addetti all'officina controllano le componenti del manufatto da produrre, le contrassegnano in BIM 360 e rispediscono il modello parametrico direttamente allo studio, che ha quindi il controllo sulla produzione.

Questo processo integrato, pilotato dai software, che coinvolge l'intera costruzione, dal progetto all'ultimazione dei moduli aiuta l'azienda ad essere più efficiente e a produrre meno scarti.

LOGISTICA

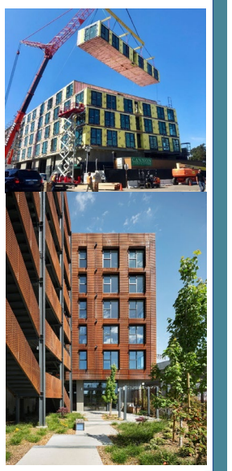
Il trasporto e lo scarico in cantiere dei moduli avvengono in orario notturno, per non essere di intralcio al traffico automobilistico.
Il trasferimento dei moduli dalla produzione (Vallejo) al cantiere (Oakland) distante circa 46 Km, sono attuati con autocarri con pianale ribassato.





MONTAGGIO IN CANTIERE

Il montaggio in cantiere dei cinque piani di abitazioni prefabbricate è avvenuto in sole due settimane.



Fine

Prospettive future

05

5.1

Conclusioni e prospettive future

In contrapposizione a quelle che sono state le fasi sperimentali di approccio alla prefabbricazione che si sono sviluppate dagli anni ‘30 del Novecento fino a fine secolo, mosse principalmente dalla necessità di risolvere in tempi rapidi le carenze di abitazioni, odiernamente l'off-site punta verso l’attenzione al controllo di costi e tempi, ma soprattutto verso il risultato ottenibile in termini di prestazioni e qualità del costruito.

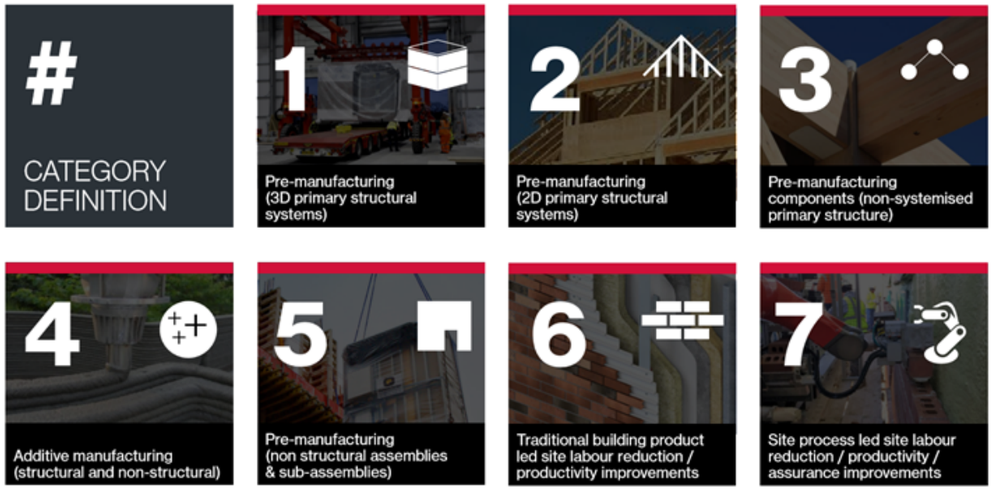
Nel corso del XX secolo le criticità abitative che si sono evidenziate, legate ad eventi storici ed a fattori territoriali, sono state la base su cui si sono innestate idee utopiche o tentativi di attivare dei cambiamenti. In quegli anni la spinta all’industrializzazione era vista essenzialmente come possibile soluzione alle necessità e non direttamente legata all’innovazione tecnologica che si limitava alla trasposizione nel comparto edile di tecnologie derivate da altri settori. Quest’idea di prefabbricazione, sostanzialmente ancorata alla volontà di trasferire metodologie industriali nel comparto delle costruzioni, ha sondato, nell’arco degli anni, svariate proposte economicamente vantaggiose sul piano produttivo ma svincolate dagli interessi e richieste dell’utenza. Si è passati dalla prefabbricazione pesante a quella leggera, dal residenziale all’industriale per seguire degli indicatori di mercato anziché svolte tecnologiche. Tale approccio non ha consentito uno sviluppo tale da incidere significativamente sull’edificato.

In profondo contrasto con quanto sopra, le attuali richieste del mercato dell’off-site non mirano solo a soddisfare una necessità abitativa utilizzando componenti prodotti in serie, ma tendono ad usufruire pienamente dei vantaggi potenziali raggiungibili con la produzione industriale. Ad oggi, complice anche il progressivo impoverimento di manodopera qualificata, appare chiaro che una costruzione prefabbricata modulare può raggiungere standard costruttivi più elevati riducendo le lavorazioni on site.
L’ottenimento di un prodotto industriale, personalizzabile ed avanzato, passa attraverso una serie di aspetti tecnologici che ne facilitano moltissimo la realizzazione ed anzi l’esistenza dei sistemi digitali guida proprio ad industrializzare l’edilizia.
Gli stessi progettisti si sentono spinti ad evolvere i propri pensieri costruttivi verso l’off-site per riuscire a far confluire pienamente nell'organizzazione del processo realizzativo i controlli messi a disposizione da tecnologie come il BIM ed in sintesi ottenere un prodotto finale di qualità.
Si possono ritenere di elevato interesse le indicazioni che traspaiono dagli studi sperimentali sull'utilizzo integrato, nel campo dell'off-site, degli strumenti digitali.

Dal confronto dei casi studio esaminati è emerso come la sinergia tra esperienza del produttore off-site, ricerca universitaria in tema di utilizzo non convenzionale degli strumenti digitali, supporto informatico dell'azienda di software e possibilità di sperimentazione diretta produca un risultato positivo in termini di efficienza.
Ad esempio, è possibile tracciare una connessione tra gli studi sperimentali indicati al punto 3.2.2, "progettazione parametrica e algoritmica integrata BIM e DfMA", e l'operato della Factory_OS che già utilizza i software Revit e Dynamo per attuare un'efficiente integrazione BIM-DfMA, grazie al supporto diretto da parti di Autodesk ed anzi ospita all'interno del proprio stabilimento l'Innovation Lab dell'Università di Berkeley. Il laboratorio ha quindi la possibilità di identificare e sviluppare idee che possono modernizzare il lavoro e le tecniche di costruzione industrializzate verificandone direttamente l'implementazione a beneficio dell'azienda ospitante e dell'intero settore.

Visti i risultati ottenuti con minori costi di costruzione complessivi e maggior soddisfazione della clientela, consente di collocare questa esperienza tra quelle di maggior interesse per lo sviluppo futuro.

L’edilizia sta quindi innescando dei cambiamenti orientati ad una nuova visione di industrializzazione.
L’insieme di sistemi costruttivi non tradizionali che coinvolge la progettazione integrata e l'automazione nella costruzione attraverso tecnologie digitali quali P-DfMA (piattaforma per la progettazione, la produzione e l'assemblaggio), BIM, GIS, Digital Twin e Realtà Aumentata viene indicato con il termine MMC - Modern Methods of Construction. Questa denominazione comprende l’off-site e le costruzioni modulari ultimate completamente in fabbrica, così come i sistemi a pannello e quelli a telaio leggero, sia in legno che in acciaio.



Classificazione dei Moderni Metodi di Costruzione (MMC) secondo le direttive del Ministry of Housing, Communities & Local Government del Regno Unito – da https://www.gov.uk/government/publications/modern-methods-of-construction-working-group-developing-a-definition-framework

Dalla prefabbricazione per necessità alla scelta tecnologica

Dalle fasi sperimentali di prefabbricazione, nate per risolvere situazioni di carenze abitative, la tendenza attuale è orientata alla tecnologia digitale che governa tutti gli aspetti del processo costruttivo, dal progetto architettonico alle fasi di ultimazione in cantiere, in modo interconnesso.

I metodi MMC di approccio alle costruzioni sono stati ormai recepiti a livello governativo in diverse nazioni. Ad esempio nel Regno Unito è il Ministry of Housing, Communities & Local Government stesso che promuove l'adozione di moderni metodi di costruzione attraverso la formazione di un gruppo di lavoro intersettoriale. Il gruppo ministeriale nel 2019 ha sviluppato un nuovo quadro di definizione categorizzato per diverse forme di metodologie di costruzione innovative con l'intenzione di regolare e affinare il termine ' MMC ' definendo l'ampio spettro di tecniche di costruzione innovative applicate nel mercato residenziale, sia attuali che future.

La schematizzazione offre anche l'opportunità di creare set di dati più strutturati per organizzare l'uso di MMC e le sue prestazioni, consentendo così a clienti, consulenti, progettisti, costruttori e investitori, di costruire una base comune di comprensione delle diverse forme di utilizzo di MMC.

Classificazione MMC del Ministry of Housing, Communities & Local Government, UK

- **Category 1 – Pre-Manufacturing - 3D primary structural systems**
  (Prefabbricazione - Sistemi strutturali primari 3D) definita come:
  "Un approccio sistematizzato basato sulla costruzione volumetrica che prevede la produzione di unità tridimensionali in condizioni di fabbrica controllate prima dell'installazione finale. Le unità volumetriche possono essere portate al sito finale sia come strutture base da ultimare in situ, sia complete di tutte le finiture e servizi interni ed esterni già installati, pronte quindi per l'installazione.
  Le unità volumetriche complete destinate ai condomini non si limitano agli spazi degli appartamenti ma possono costituire gli spazi per le aree comuni. Le mini unità strutturali volumetriche possono includere cellule bagno e simili."

- **Category 2 – Pre-Manufacturing - 2D primary structural systems**
  (Prefabbricazione - Sistemi strutturali primari 2D) definita come:
  "Un approccio sistematizzato che utilizza elementi piani per solai, muri e strutture di copertura di materiali diversi, che vengono prodotti in fabbrica ma assemblati nella fase di lavoro finale per produrre una struttura tridimensionale. L'approccio più comune è quello di utilizzare pannelli aperti o telai, costituiti da uno scheletro strutturale nel quale servizi, isolamento, rivestimento esterno e finitura interna saranno installati in cantiere.
  I pannelli più complessi, in genere denominati pannelli chiusi, comportano una produzione più industriale e includono materiali di rivestimento e isolamento. Possono includere anche servizi, finestre, porte, finiture superficiali interne e rivestimenti esterni. Il sistema include prestazioni strutturali per pareti portanti e i pavimenti."

- **Category 3 – Pre-Manufacturing - Non systemised structural components**
  (Prefabbricazione - Componenti strutturali non categorizzati) è definita come
  "Uso di elementi strutturali prefabbricati a telaio ligneo, legno ingegnerizzato, acciaio laminato a freddo o laminato a caldo o calcestruzzo prefabbricato. Sono comprese travi portanti, colonne, pareti, nuclei centrali e lastre che non sono sostanzialmente costruite in situ.
  Questa categoria, sebbene focalizzata sugli elementi della sovrastruttura, includerebbe anche elementi di sottostruttura come travi a cassone, teste di pali, pali guidati e pali a vite."

- **Category 4 – Pre-Manufacturing - Additive Manufacturing**
  (Prefabbricazione - Produzione additiva) è definita come
  "La stampa di parti di edifici, in loco o in fabbrica, in vari materiali e basata su tecniche di progettazione e produzione digitali."

- **Category 5 – Pre-Manufacturing – Non-structural assemblies and sub-assemblies**
  (Prefabbricazione – Assiemi e sottoassiemi non strutturali) è definita come
  "Una serie di diversi approcci di pre-produzione che includono sistemi di muratura non strutturale, insiemi di finitura per le coperture (se non sono parte di un più ampio sistema strutturale), mini unità volumetriche non portanti (a volte denominate "pod") utilizzate per le zone ad alta concentrazione di servizi e più ripetibili, come cucine, bagni e cavedi tecnici.
  Le costruzioni tradizionali in muratura che utilizzano prodotti da costruzione convenzionali come finestre e/o set di porte – che altrimenti potrebbero far parte del processo di fabbricazione nelle altre categorie di prefabbricazione – non dovrebbero essere inclusi come sottoinsiemi o componenti in questa categoria. Qualsiasi struttura in questa categoria è puramente a supporto del sotto-assemblaggio in fase di transito/installazione."

- **Category 6 – Traditional building product led site labour reduction/productivity improvements**
  (I prodotti da costruzione tradizionali hanno portato alla riduzione della manodopera in cantiere/miglioramenti della produttività)
  "Include prodotti tradizionali per l'edilizia prefabbricati in grande formato, configurazioni pretagliate o con giunti semplici per ridurre l'entità della manodopera necessaria in situ per l'installazione."

- **Category 7 – Site process led labour reduction/ productivity improvements**
  (Il processo del sito ha portato alla riduzione del lavoro/miglioramenti della produttività)
  "Questa categoria comprende approcci che utilizzano tecniche di costruzione innovative basate sul singolo progetto che non rientrano nelle cinque principali categorie di pre-produzione (1-5) o di innovazione dei materiali nella categoria 6. Include anche tecniche di lean production, ausili fisici e digitali per i lavoratori, robot da cantiere, esoscheletri e altri dispositivi indossabili, droni e adozione di impianti e macchinari guidati da nuove tecnologie."

Riferimenti
Bibliografia

Aitchison, M. (2018). *Prefab Housing and the Future of Building: Product to Process.* Londra: Lund Humphries.

Ciribini, G. (1984). *Tecnologia e progetto. Argomenti di cultura tecnologica della progettazione*. Torino: Celid.

Davies, C. (2005). *The prefabricated home*. Londra: Reaktion Books Ltd.

Knaack, U. (2012). *Prefabricated Systems : Principles of Construction.* Ulrich Knaack, Sharon Chung-Klatte, Reinhard Hasselbach (a cura di). Basel, Switzerland: Birkhäuser.

Smith, R. E. (2010). *Prefab architecture. A guide to modular design and construction*. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley & Sons.

Smith, R. E., & Quale, J. D. (2017). *Offsite architecture. Constructing the future.* Abingdon, Oxfordshire e New York, Regno Unito e USA: Routledge, Taylor & Francis Group.

Staib, G., Dörrhöfer, A., & Rosenthal, M. (2008). *Components and systems. Modular construction. Design structure new technologies.* Munich, Germany: Birkhäuser.

Zeleny, M. (2005). *Human Systems Management. Integrating Knowledge, Management and Systems.* Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

Riferimenti
Risorse online

Bakhshi S., Chenaghlou M. R., Edwards D. J., Dawood N., Rahimian F. P., (2022), Integrated BIM and DfMA parametric and algorithmic design based collaboration for supporting client engagement within offsite construction. *Automation in Construction*, Volume 133, 104015. Available online at: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580521004660. Accessed on 20 April 2022

Bertram, N., Fuchs, S., Mischke, J., Palter, R., Strube, G., Woetzel, J., (2019) Modular construction: From projects to products. In *Capital Projects & Infrastructure,* 1-30. McKinsey & Company: Summit, NJ, USA. Available online: https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/modular-construction-from-projects-to-products. Accessed on 10 April 2022

Brenner, J. (2019, Novembre 22). The New Marriott In Manhattan Is The World's Tallest Modular Hotel. *Forbes.* Disponibile sul sito web Forbes: https://www.forbes.com/sites/juliabrenner/2019/11/22/the-new-marriott-in-manhattan-is-the-worlds-tallest-modular-hotel/?sh=6156a7fa41a1. Consultato nel Gennaio 2021

Brenner, B.; Hummel, V., (2017). Digital Twin as Enabler for an Innovative Digital Shopfloor Management System in the ESB Logistics Learning Factory at Reutlingen - University. *Procedia Manufacturing*, 9, 198–205. Available online at: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978917301579?via%3Dihub. Accessed on 10 April 2022

Choi, J. O.; Bin Chen, X.; Kim, T. W. (2019). Opportunities and challenges of modular methods in dense urban environment. *International Journal of Construction Management*. 19, 93–105. Available online: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15623599.2017.1382093. Accessed on 20 April 2022

Jackson, C. (2021, Settembre 10). Apartments Built on an assembly line. *The New York Times.* Disponibile su: https://www.nytimes.com/2021/09/10/realestate/prefabricated-modular-apartments.html. Consultato il 13 Maggio 2022

Le Capsule di Kurokawa. (2022, Aprile 10). *Domus*. Disponibile su: https://www.domusweb.it/it/dall-archivio/2010/12/21/le-capsule-di-kurokawa.html. Consultato il 16 Maggio 2022

Lee, D., Lee, S. (2021, Giugno). Digital Twin for Supply Chain Coordination in Modular Construction. *Applied Sciences, 11 (5909).* Disponibile in: https://doi.org/10.3390/app11135909. Consultato nel Gennaio 2022

Peluso, S. (2021, Luglio 05). La Nakagin Capsule Tower rischia la demolizione. *Domus.* Disponibile online su: https://www.domusweb.it/it/notizie/2021/07/02/nakagin-capsule-tower-demolizione.html. Consultato il 03 Novembre, 2021

Roth, R. (2019, Agosto 26). Housing development erected in West Oakland in 10 days. Disponibile sul sito web di KTVU Fox 2: https://www.ktvu.com/news/housing-development-erected-in-west-oakland-in-10-days. Consultato nel Giugno 2022

Richard, R.-B. (2012). Industrialized building systems for housing the "palette" of options. Acsa Fall Conference Proceedings. Available at: https://www.acsa-arch.org/chapter/industrialised-building-systems-the-palette-of-options/. Accessed 24 March 2022

Safdie, M. (1967, Febbraio). Habitat '67 - Towards the Development of a Building System. *PCI Journal*, 60 - 66. Disponibile in https://www.pci.org/PCI_Docs/Publications/PCI%20Journal/1967/February-1967/Habitat%2067%20-%20Towards%20the%20Development%20of%20a%20Building%20System.pdf. Consultato il 28 Aprile 2022

Wuni, I. Y.; Shen, G. Q. (2020). Critical success factors for modular integrated construction projects: A review. Build. Res. Inf. 2020, 48, 763–784. Available online: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09613218.2019.1669009 (accessed on 10 April 2022).

Yuyu, N. Y., Avant Garde, the confrontations towards the mainstream: Habitat 67 challenges the status quo. Disponibile in: https://www.academia.edu/25593354/Avant_Garde_the_confrontations_towards_the_mainstream_HABITAT_67_CHALLENGES_THE_STATUS_QUO. Consultato nell'Aprile 2022

Riferimenti
Sitografia

BoKlok. Disponibile su sito web BoKlok: https://www.boklok.co.uk/about-us/Innovation/. Consultato nel Febbraio 2022

Capsys. Disponibile su sito web Capsys corporation: http://www.capsyscorp.com/process.php#. Consultato nel Maggio 2022

casa abierta. Disponibile su sito web casa abierta: https://casa-abierta.com/post.php?t=5a8409236b01c. Consultato nel Dicembre 2021

Danny Forster & Architecture. Disponibile su sito web Danny Forster & Architecture: https://www.dannyforster.com/project/modular-hotel-ac-nomad-marriott-architecture-project-nomad-north-madison-square-park-new-york-city/.

Daub, J. (2022, Aprile 18). *Nakagin Capsule Tower Demolition | April 18*. Disponibile sul canale Youtube Only in Japan: https://www.youtube.com/watch?v=1LD2p794nPY. Consultato il giorno 19 Maggio, 2022.

David Baker Architects. Disponibile su sito web ufficiale David Baker Architects: https://www.dbarchitect.com/project_detail/203/The%20Union%20%20.html. Consultato nel Maggio 2022.

Demolition footage of the Nakagin Capsule Tower in Tokyo | Dezeen. (2022, Aprile 29). Disponibile sul canale Youtube della rivista Dezeen: https://www.youtube.com/watch?v=T886pUd3vQU. Consultato il 20 Maggio 2022.

DMD modular. Disponibile su sito web azienda DMD Modular: https://dmdmodular.com/. Consultato nel Dicembre 2021.

DMDmodular | The World's Tallest Modular Hotel. (2018, Dicembre 15). Disponibile sul canale youtube DMDmodular: https://www.youtube.com/watch?v=yfTEv4XcdZk

Eurostat. Disponibile su: https://ec.europa.eu/eurostat/data/database. Consultato il 22 Aprile 2022

Factory_OS. Disponibile su sito Web azienda Factory_OS: https://factoryos.com/. Consultato nel Gennaio 2022

Federlegno. Disponibile su: https://www.federlegnoarredo.it/it/servizi/centro-studi-dati-e-ricerche/rapporti-e-numeri-di-settore/4-rapporto-case-ed-edifici-in-legno. Consultato il 23 Aprile 2022

Gallanti, F., (2017, Agosto 2). Habitat '67 compie cinquant'anni. In *Abitare*. Disponibile su: https://www.abitare.it/it/eventi/2017/08/02/habitat-67-moshe-safdie-mostra/. Consultato il 16 Aprile 2022

Henry Ford Museum. Disponibile sul sito Web Henry Ford Museum: https://www.thehenryford.org/visit/henry-ford-museum/exhibits/dymaxion-house/. Consultato nel Novembre 2021.

Kelliher, F. (2019, Agosto 23). *Oakland's latest modular project stacks up*. San Francisco Business Times. Disponibile su: https://www.bizjournals.com/sanfrancisco/news/2019/08/23/holliday-development-factory-os-modular-oakland.html. Consultato il 3 Giugno 2022

Kisho Kurokawa Architect and associates. Nakagin Capsule Tower. 1972. Disponibile su Divisare: https://divisare.com/projects/17032-kisho-kurokawa-architect-and-associates-fala-nakagin-capsule-tower-1972. Consultato il 13 Maggio 2022

Nakagin Capsule Tower. Disponibile sul sito web Aleks Gontarz: https://agontarz.com/portfolio/case-study-nakagin-capsule-tower/. Consultato il 10 Novembre 2021

Nakagin Capsule Tower – Tokyo, Giappone. Disponibile sul sito web moreAEdesign: https://moreaedesign.wordpress.com/2010/09/14/more-about-nakagin-capsule-tower/. Consultato il giorno 05 Novembre 2021

Riferimenti
Sitografia

Nakagin Capsule Tower. (2020, Luglio 01). Disponibile sul sito web Ohayo: https://www.ohayo.it/cultura/architettura/nakagin-capsule-tower/. Consultato il giorno 03 Novembre 2021

Nakagin Capsule Tower in Tokyo / Kisho Kurokawa. (2021, Agosto 03). Disponibile sul sito web ArchEyes: https://archeyes.com/nakagin-capsule-tower-kisho-kurokawa/. Consultato il giorno 09 Novembre 2021

Potter, B. (2020, Novembre 16). Toyota's Prefab Homes. *Construction Physics*. Disponibile su: https://constructionphysics.substack.com/p/toyotas-prefab-homes?s=r. Consultato il 9 Aprile 2022

Rare photographs of the construction of Habitat 67. (2019, Maggio 12). Disponibile sul sito web Vintage everyday: https://www.vintag.es/2019/05/habitat-67-construction.html. Consultato il 30 Ottobre 2021

Roth, R. (2019, Agosto 26). *Housing development erected in West Oakland in 10 days.* Disponibile sul sito web di KTVU Fox 2: https://www.ktvu.com/news/housing-development-erected-in-west-oakland-in-10-days. Consultato il 4 Giugno 2022

Sekisui house. Disponibile sul sito web azienda Sekisui: https://www.sekisuihouse-global.com/. Consultato il 6 Aprile 2022

The Union Apartments. Disponibile sul sito web *The Union Apartments: https://theunionapts.com/floorplans/.* Consultato il 10 Giugno 2022

Riferimenti
Altri riferimenti

Franceschetti, M. (20 Ottobre 2020). *L'esperienza di Woodbeton nei processi di industrializzazione off-site.* Seminario all'interno del corso *Innovazione tecnologica nel progetto di architettura off-site*.

De Agostini, L. (17 Novembre 2021). *Timber cities*. Seminario all'interno del corso *Innovazione tecnologica nel progetto di architettura off-site*.

Milita M., (17 Novembre 2021). *Stora Enso Building Solutions*. Seminario all'interno del corso *Innovazione tecnologica nel progetto di architettura off-site*.

Muratore, F. (4 Dicembre 2020). *Intervista all'architetto Danny Forster.*

Piva, F. (20 Novembre 2020). *Processi di industrializzazione strutture in legno: dal disegno alla produzione, al cantiere.* Seminario all'interno del corso *Innovazione tecnologica nel progetto di architettura off-site*.

Politecnico di Torino

Tesi di Laurea Magistrale in
Architettura Costruzione Città

Flavia Muratore